



Université  
Joseph Fourier

## MASTER « Sport, Santé, Société »

Spécialité « Mouvement, Performance, Santé, Ingénierie »

---

Parcours Professionnel « Ingénierie des Dispositifs de  
Réhabilitation et d'Entraînement »

---

UE ASTG54A1 Mémoire d'ingénierie

# PREVENTION de la LOMBALGIE COMMUNE du KAYAKISTE

---

APPROCHE PROPRIOCEPTIVE et POSTURALE

---



Frédéric JUILLAGUET  
Sous la direction de Gaël MERMET et Martial AUZEIL

---

Année universitaire 2012 – 2013









**PREVENTION de la LOMBALGIE  
COMMUNE du KAYAKISTE**

.....  
APPROCHE PROPRIOCEPTIVE et POSTURALE





# Remerciements

*Ce mémoire de recherche s'est concrétisé grâce à une équipe de talents humains et professionnels que je remercie chaleureusement et chronologiquement :*

Gaël MERMET, mon tuteur de mémoire (enseignant, Université Joseph Fourier, UFRAPS Grenoble), pour son suivi pédagogique ;

Nicolas VUILLERME (enseignant-chercheur, laboratoire AGIM, Grenoble, membre junior de l'Institut Universitaire de France) et Antoine PERRIER (doctorant en biomécanique, laboratoire TIMC/IMAG et AGIM, Grenoble) pour leur collaboration efficace ;

Claude DELGUEL (directeur Thera Band / Gymnic France) pour sa dotation matérielle ;

Antoine GARCIA ROCHE (bibliothécaire, Bibliothèque Universitaire de Médecine Pharmacie, Grenoble) pour sa réactivité bibliographique ;

Antoine PRADELS (podologue, doctorant en sciences, Grenoble) pour son aide logistique ;

Philippe DUMOULIN (directeur technique national adjoint), Jean-Christophe GONNEAUD (conseiller technique national), Laurent BROSSAT (conseiller technique régional), Maxime GOHIER (professeur de sport), Fédération Française de Canoë-Kayak, pour leur coordination organisationnelle et documentaire facilitatrices ;

Americo CATARINO et Laurent DEBIEU (entraîneurs), François BARBEY, Patrice BELAT, Martin BRODOUX, Baptiste COTTA, Hugo EZMIRO, David LINET, Camille RICHER,

Vivien THOBIE (kayakistes Seniors et U21), Equipe de France de Kayak-Polo, pour leur coopération protocolaire ;

Les entraîneurs et les athlètes des parcours d'excellence sportive de la Fédération Française de Canoë-Kayak, pour leurs réponses motivées au questionnaire ;

Aymen CHEIBI (ingénieur en statistiques, Université Joseph Fourier, Grenoble) pour sa constante disponibilité ;

Cyrille GINDRE (chercheur, volodalen.com), pour son concours iconographique ;

Guillaume BALCAEN, Fabien BONNEFOY-CUDRAZ, Richard CHARVET, Olivier PIGGIO (kinésithérapeutes, Centre de Traumatologie et de Rééducation Médi-Berriat, Grenoble), Antoine PRADELS (Centre de Podologie de l'Estacade, Grenoble), Thibault CHATELUS, Aymen CHEIBI, Jonathan SKRYPSKI, Sergio TOROSSIAN (patients) pour leur participation active ;

Akim KENZAI et Fathallah LEKAL (designers), pour leur réalisation graphique.

Crédit photos : Philippe DUMOULIN, FFCK

Crédit iconographique : Cyrille GINDRE, volodalen.com



# Sommaire



<b>I. INTRODUCTION</b>	11	<b>IV. REALISATION</b>	38
<b>II. ANALYSE</b>	12	1. <b>Caractéristiques du système</b>	38
1. <b>Généralités sur l'activité</b>	12	2. <b>Critères et indicateurs de réalisation</b>	38
2. <b>Approche biomécanique</b>	13	3. <b>Coordination et communication avec les partenaires</b>	39
2.1. Membres inférieurs	14	<b>V. EVALUATION</b>	40
2.2. Tronc	14	1. <b>Apports du dispositif expérimental</b>	40
2.3. Membres supérieurs	15	2. <b>Résultats des tests</b>	40
2.4. Globale	16	2.1. Groupe contrôle vs kayakistes	41
3. <b>Epidémiologie appliquée</b>	17	2.2. Kayakistes test initial vs test final	43
3.1. Revue de littérature	17	3. <b>Discussion</b>	46
3.2. Résultats du questionnaire envoyé	18	4. <b>Contrôle</b>	47
4. <b>Pathologie étudiée</b>	22	4.1. Relatif aux difficultés rencontrées	47
5. <b>Description technopathique</b>	22	4.2. Relatif à la problématique étudiée	47
6. <b>Lien pathologie - discipline – biomécanique – pagayeur</b>	22	<b>VI. CONCLUSION</b>	49
7. <b>Relation avec les concepts anatomo-physiologiques</b>	24	<b>VII. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b>	51
7.1. Considérations rachidiennes	24	<b>VIII. ANNEXES</b>	55
7.2. Considérations pelviennes	26	1. <b>Glossaire technique</b>	55
7.3. Considérations musculaires	26	2. <b>Questionnaire</b>	56
8. <b>Approche proprioceptive et posturale vs lombalgie</b>	27	3. <b>Résultats des tests statistiques</b>	60
8.1. Considérations proprioceptives	27	4. <b>Moyennes des mesures des kayakistes</b>	62
8.2. Considérations posturales	28		
8.3. Considérations musculaires	28		
8.4. Conséquences rééducatives	29		
<b>III. CONCEPTION</b>	31		
1. <b>Présentation de la démarche de prévention</b>	31		
2. <b>Composantes d'un programme moteur</b>	32		
3. <b>Mise en place du dispositif innovant</b>	34		
4. <b>Atelier postural et proprioceptif</b>	36		

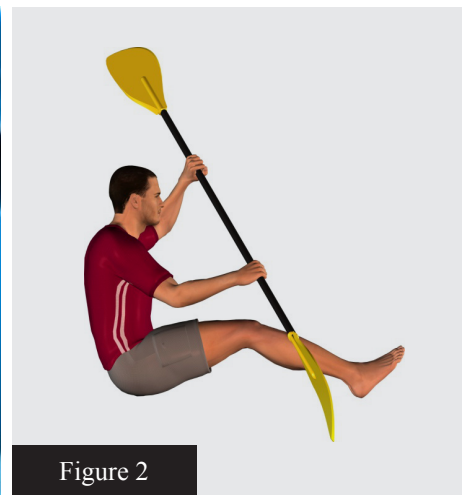


## I. INTRODUCTION

---

Educateur sportif et moniteur de canoë-kayak, nous avons emmagasiné, au cours de notre pratique, des expériences variées et orientées à la fois vers la compétition (clubs fédéraux, avec entraînements et stages), et vers la pratique de loisir (structures commerciales, avec initiation à la journée et séjours à la semaine).

Aujourd'hui, grâce à l'apport des connaissances en anatomie, physiologie et biomécanique, l'exercice de la profession de masseur-kinésithérapeute nous fournit un nouveau regard sur l'activité canoë-kayak. Nous nous sommes donc intéressés à la particularité de cette activité, un sport assis, avec des pathologies spécifiques, et même une pathologie affectant « monsieur tout le monde », la lombalgie commune (figure 1). Ce choix s'explique notamment par la position fréquente en rétroversion (figure 2) du kayakiste dans son embarcation. Cette observation personnelle pourrait être corrélée avec les douleurs rachidiennes relatives. Par ailleurs, selon les statistiques consultées, la lombalgie commune du kayakiste varierait entre 15 % et 31 % des blessures totales.



Est-il possible d'apporter des éléments nouveaux dans l'approche de l'entraînement ou de la prévention rachidienne du kayakiste? Pouvons-nous concevoir un dispositif spécifiquement adapté dans le but de prévenir ou de diminuer la lombalgie commune chez le kayakiste? Tels sont les questionnements qui nous ont guidé au cours de notre travail de recherche.

Dans cette optique, nous avons envoyé au préalable un questionnaire à destination des compétiteurs de la FFCK, afin de réaliser un état des lieux de la pratique et des pathologies relatives en canoë-kayak, ainsi que de leur prise en charge éventuelle en réhabilitation.

Nous avons ensuite mis en place un protocole expérimental de recherche comprenant successivement un test initial d'équilibre assis sur ballon, un atelier de prise de conscience (cinétique pelvienne) et de contrôle postural et proprioceptif, un dispositif innovant destiné à l'optimisation posturale et gestuelle du kayakiste, et enfin un test final d'équilibre assis sur swiss-ball.



## II. ANALYSE

---

### 1. Généralités sur l'activité

La Fédération Française de Canoë-Kayak regroupe différentes disciplines : slalom, course en ligne, descente, marathon, freestyle, paracanoë, dragon boat, va'a (pirogue polynésienne), wave-ski, ocean racing, kayak-polo, parmi les principales recensées.

Dans la discipline que nous présentons, le kayak-polo (photo 1), la position du pagayeur est assise, avec les 2 membres inférieurs légèrement fléchis, allongés, en avant (photo 2). Il est muni d'une pagaie double, avec certaines particularités au niveau de l'équipement : casque avec grille faciale de protection (cf. hockey sur glace), gilet de sauvetage rallongé (protection des crêtes iliaques et du sacrum), bateau plus court facilitant la maniabilité avec des pointes arrondies pour minimiser les conséquences des chocs inévitables.



Photo 1

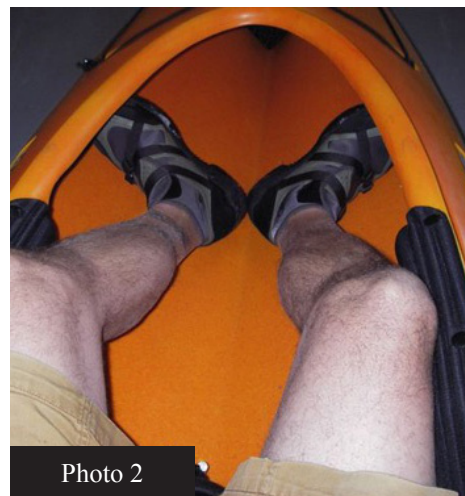


Photo 2



Photo 3

Il faut souligner aussi que le kayak-polo, discipline montante inscrite aux Jeux Mondiaux, est une spécialité française (championne du Monde en 2010). C'est donc un sport collectif (2 mi-temps de 10 minutes chacune, avec 2 équipes de 5 joueurs), et où l'esquimautage\* (cf. glossaire technique en annexe 1) est forcément « express », tant la rapidité technique, la dextérité au ballon et la stratégie de jeu sont prépondérantes. Pour schématiser, le kayak-polo se situe au carrefour du kayak, du basket, du water-polo et du football américain (photo 3).



Naviguer en kayak repose sur l'interaction permanente de quatre ingrédients : bateau, pagaie, athlète, milieu (photo 4). Il faut donc savoir prendre appui\* dans l'eau, transmettre son énergie, pour conduire sa trajectoire, en intégrant une triple problématique de direction, d'équilibre et de propulsion\*, tout en conservant une coordination optimale (photo 5).



Photo 4



Photo 5

Une particularité réside dans l'utilisation de la pagaie. Comme il n'existe aucun point fixe entre l'élément propulsif et l'embarcation, le corps du pagayeur est à la fois le moteur et l'élément de transmission des forces. Cette transmission est facilitée par différents calages : cale-genoux, cale-cuisses, cale-pieds, siège, sangle dorsale (d'après FFCK [25], figure 3). Lorsque l'interaction appui/transmission/conduite n'est pas optimale, des réactions compensatrices interviennent : roulis latéral du bateau, inclinaison du tronc, modification de l'angle de pale\*.

Ces réactions vont générer des perturbations de l'équilibre qu'il convient de réajuster avec le bagage technique, musculaire, mais aussi proprioceptif et postural, propre à chaque kayakiste.

Par ailleurs, l'équilibre est multiple (d'après FFCK, figure 4) : statique (maintien du poids du corps au-dessus du siège selon la résultante pesanteur versus poussée hydrodynamique, à l'intérieur du polygone de sustentation), dynamique (appui de la pagaie dans l'eau, en fonction des manœuvres effectuées), lié à la vitesse (courant, embarcation), aux difficultés techniques ou aux autres kayakistes (ajustement selon l'axe vertical, longitudinal (gîte\*) ou transversal (assiette\*)). En kayak, contrairement au canoë, l'instabilité directionnelle peut être compensée plus aisément par le coup de pagaie opposé.

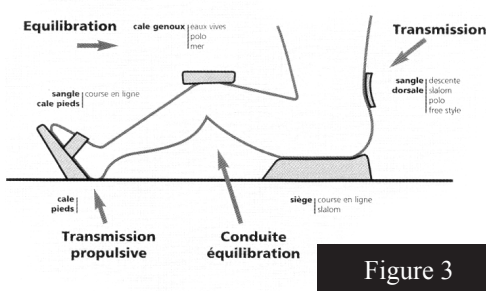


Figure 3

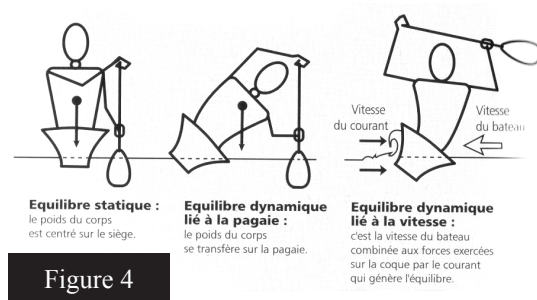
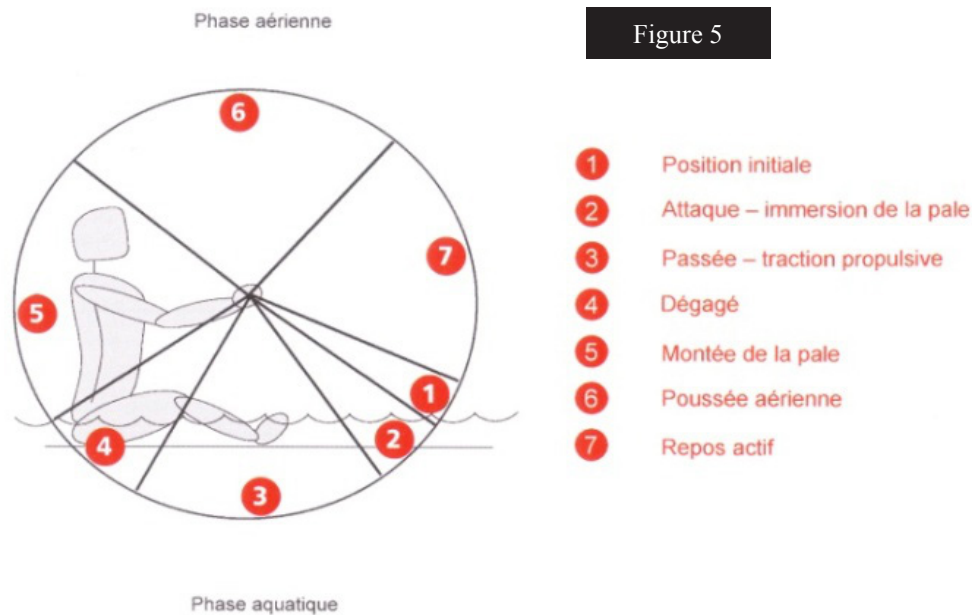


Figure 4

## 2. Approche biomécanique

Des aspects généraux précités de la discipline, découlent les caractéristiques biomécaniques spécifiques suivantes (d'après Keller et al.[35], figure 5) : la propulsion se décompose en phase aquatique (appui de la pale dans l'eau, avec bras de levier et inclinaison de la pagaie variables) et en phase aérienne (phase théorique de repos, avec giration de la pale d'un plan frontal à un plan sagittal). Pour diriger son embarcation, le kayakiste doit être efficace tout en se fatiguant le moins possible. Nous allons maintenant introduire successivement les différentes composantes de l'organisme assurant la conduite, la propulsion et la transmission au cours du pagayage.



## 2.1. Membres inférieurs :

Lors de la mise en jeu des membres inférieurs (à prédominance d'efforts isométriques) :

- le bassin (maintenu dans le siège et le dossier) et la coxo-fémorale en rotation externe et abduction, avec un angle de flexion fémur/tronc de  $90^\circ$ , représentent la charnière entre les membres inférieurs et le tronc;
- les genoux se positionnent en légère flexion de  $30^\circ$ ;
- les pieds (positionnés en abduction pour favoriser l'équilibre transversal) prennent appui sur les cale-pieds, avec des contractions cycliques en phase aquatique de propulsion (côté propulsion), afin de fixer le tronc et les membres supérieurs.

## 2.2. Tronc :

Lors des mouvements de pagaie, le tronc effectue quatre types de mouvements :

- la flexion et l'extension (amplitude entre  $20^\circ$  et  $30^\circ$ , selon l'athlète), qui ne doivent pas être recherchées, car freinatrices dans ce cas, sauf pour certaines manœuvres (rétropulsion, contre à la pagaie);
- la rotation (amplitude moyenne  $55^\circ$ ) participe à l'action motrice, pour la fixation des membres supérieurs;
- l'inclinaison (amplitude moyenne  $25^\circ$ ), dès la phase aquatique, peut être majorée en cas de gîte de l'embarcation (vague, opposition avec un autre bateau).

Retenons que ces différents types de mouvements n'agissent jamais isolément, ils se combinent toujours en deux ou trois composantes, selon la gestuelle recherchée et/ou les contraintes physiques et tactiques inhérentes à la phase de jeu.

### 2.3. Membres supérieurs :

Lors de la mise en jeu (plus complexe à décrire) des membres supérieurs :

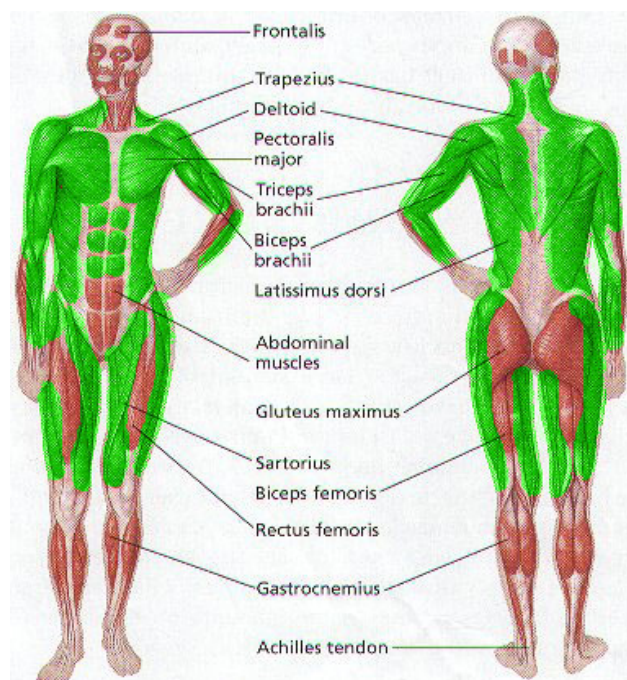
- l'épaule est en abduction de 55°, antépulsion à 120°, rétropulsion à 30°, rotation interne et externe aux amplitudes maximales;
- le bras et l'avant-bras se positionnent en extension (fréquemment) combinée à une abduction et circumduction, et en flexion combinée à une adduction;
- la main et l'avant-bras effectuent des mouvements complets de pronation/extension;
- le poignet se trouve souvent en extension complète (85°), avec une flexion et adduction du pouce quasi permanentes.

*Remarques :*

Au cours des différentes manœuvres, l'équilibration est déterminée par la tête et les yeux, qui permettent les différentes adaptations rachidiennes et pelviennes, ainsi que des autres articulations.

Bien que l'ensemble de la musculature soit sollicité pour le pagayage, il faut souligner l'implication spécifique de certains groupes musculaires (cf. [figure 6](#)), en contraction isométrique ou dynamique : fléchisseurs et extenseurs des membres supérieurs, fléchisseurs et rotateurs du tronc, psoas-iliaque notamment pour le bassin, adducteurs, quadriceps et ischio-jambiers pour les membres inférieurs. Le travail de maintien dynamique de la posture est capital aussi grâce à l'action synergique des muscles profonds du rachis.

Figure 6



## 2.4. Globale :

Le mouvement global se finalise par prise d'informations kinesthésiques, auditives et visuelles, et, par anticipation, par des ajustements optimaux et une posture adaptée.

Les coordinations nécessaires s'expriment par :

- la dissociation des membres inférieurs (calés dans la coque, et assurant la transmission des forces) et des membres supérieurs (assurant la conduite et la propulsion de l'embarcation), par l'intermédiaire du bassin ;
- une évolution en relâchement-contraction pour les membres supérieurs et les membres inférieurs au cours de leurs interactions.

La propulsion comprend une phase d'accrochage, une phase d'appui et une phase de transmission. La mobilisation segmentaire en translation (extension de jambe, de bras) et en rotation (tronc, bassin) est permise grâce à des appuis solides (calages), au tonus corporel (gainage), et au déclenchement, à l'orientation et à l'intensité des actions musculaires (gestuelle).

La qualité ainsi que la quantité de l'activité musculaire peuvent donc être analysées à travers les mouvements segmentaires coordonnés du pagayeur.

Pour les placements fondamentaux du geste global (en propulsion avant), nous dissocions les phases suivantes :

- rotation du tronc et du bassin (ceinture abdominale, grands dorsaux, pectoraux, lombaires, muscles de la cuisse) ;
- fixation de la main supérieure ;
- position et trajet de la main supérieure, avec cycles d'accélération-contractions coordonnées des muscles agonistes au mouvement (poignet-coude-épaule alignés pour développer plus de force) ;
- travail des jambes (la rotation des épaules se transmet au niveau du bassin et des jambes) ;
- planté de pagaie-accroche : rotation maximale de buste, optimisation de l'allonge avec appui le plus loin devant.

La glisse peut être altérée par des moments de force mal contrôlés sur la pagaie générant des rotations du bateau sur l'axe longitudinal (roulis), transversal (tangage), et vertical (dérapage), et contribuant à faire varier la valeur de la résistance à l'avancement de la carène.

Enfin, parmi les éléments constitutifs du style, on retrouve la synchronisation « bras supérieur/ inférieur » qui crée le point fixe de la pagaie, la synchronisation entre la rotation du buste et l'appui des jambes, les différentes amplitudes articulaires, la forme de l'appui dans l'eau (en plateau, en pic). Parmi les différents styles observés :

- le ligneux (course en ligne) est axé essentiellement sur la force musculaire en milieu stable (eau plate) et dans le plan sagittal (peu de rotations) ;



- le slalomeur (eau vive) va être en permanence dans une recherche d'équilibre en trois dimensions (allant parfois jusqu'à l'esquimautage) ;
- le poloïste (kayak-polo sur eau plate) est une synthèse de ces deux styles, il doit allier force musculaire de la course en ligne et disponibilité corporelle dans les trois dimensions, tout en répondant à la complexité de situations sans cesse renouvelées et changeantes de ce sport collectif.

### 3. Epidémiologie appliquée

#### 3.1. Revue de littérature :

Peu de travaux scientifiques ont étudié les blessures en canoë-kayak. Dans une enquête sur questionnaire avec 271 réponses des slalomeurs américains pendant les sélections olympiques, Krupnick et al.[37] mentionnent 18% de douleurs musculo-squelettiques, dont la majorité proviennent de tensions lombaires, apparues pour 56% à l'entraînement, 40% en loisir, et 4% en compétition. Dans une étude portant sur 392 kayakistes, Fiore et Houston [26] relatent que le nombre de jours passés à naviguer en kayak est un facteur prédictif de blessures. Outre les chocs, le stress traumatique et la sur-utilisation constituent les principaux mécanismes de blessures. Au tableau des plaintes médicales, on retrouve les ampoules (65%), les contractures musculaires (45%), les tensions lombaires (31%), les entorses et tendinopathies (28%), et les traumatismes subaquatiques (17%). Il souligne aussi que les blessures de sur-utilisation sont généralement chroniques et nécessitent généralement une période prolongée sans pratique du kayak. Eleftheriou [22] signale 15 à 25 % de blessures lombaires, avec prédominance en canoë, et des blessures à prédominance chronique chez les femmes vs aiguë chez les hommes. Dubois [17] mentionne une fréquence élevée d'atteintes lombaires ou thoraco-lombaires (82 %), apparaissant de préférence après l'entraînement, de manière progressive et quand le sujet est fatigué, et pour des slalomeurs pratiquant plus de 5 h par semaine. Concernant le rôle du kayak, il semble qu'on puisse parler de technopathie associée à sa pratique, puisque ce sport sollicite le rachis dans tous les axes (photos 6, 7, 8), et dans des amplitudes extrêmes, avec application de forces importantes multipliées par le bras de levier (dit de troisième classe, cf. figure 7), c'est-à-dire que la force à appliquer à la pagaie est supérieure à la résistance sur la pagaie, avec un bras de levier de force plus court que le bras de levier de la résistance à vaincre, constitué par le manche de la pagaie (Bouisset [5]). Bouvard [7] rapporte la prédominance des lésions du rachis, région la plus souvent symptomatique, en raison de la problématique entre segment fixe (membres inférieurs) et segment mobile (membres supérieurs et tronc), avec, à la jonction des deux segments, la charnière lombo-sacrée.



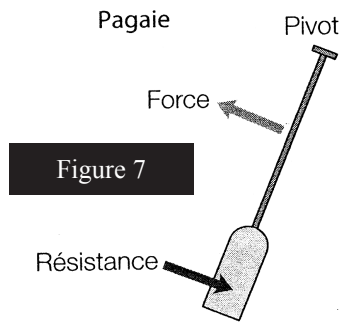
Photo 6



Photo 7



Photo 8



### 3.2. Résultats du questionnaire envoyé :

Nous avons adressé un questionnaire de 35 items (informations générales, pratique sportive, informations sur la blessure), par l'intermédiaire de la mission recherche de la Fédération Française de Canoë-Kayak aux 80 entraîneurs des Parcours d'Excellence Sportive qui les ont transmis aux 800 athlètes (cf. annexe 2). Ensuite, nous avons réceptionné et dépouillé 96 réponses. Pour l'âge : 61 % ont entre 15 et 24 ans, 32,6 % ont entre 25 et 39 ans, 6,3 % ont plus de 40 ans (figure 8). Pour le volume hebdomadaire d'entraînement : 30,1 % y consacrent jusqu'à 5h; 18,3 % y consacrent entre 6h et 10h ; 26,9 % y consacrent entre 11h et 15h ; 17,2 % y consacrent entre 16h et 20h ; 7,5 % y consacrent plus de 20h (figure 9).

Figure 8

#### Age des sportifs interrogés

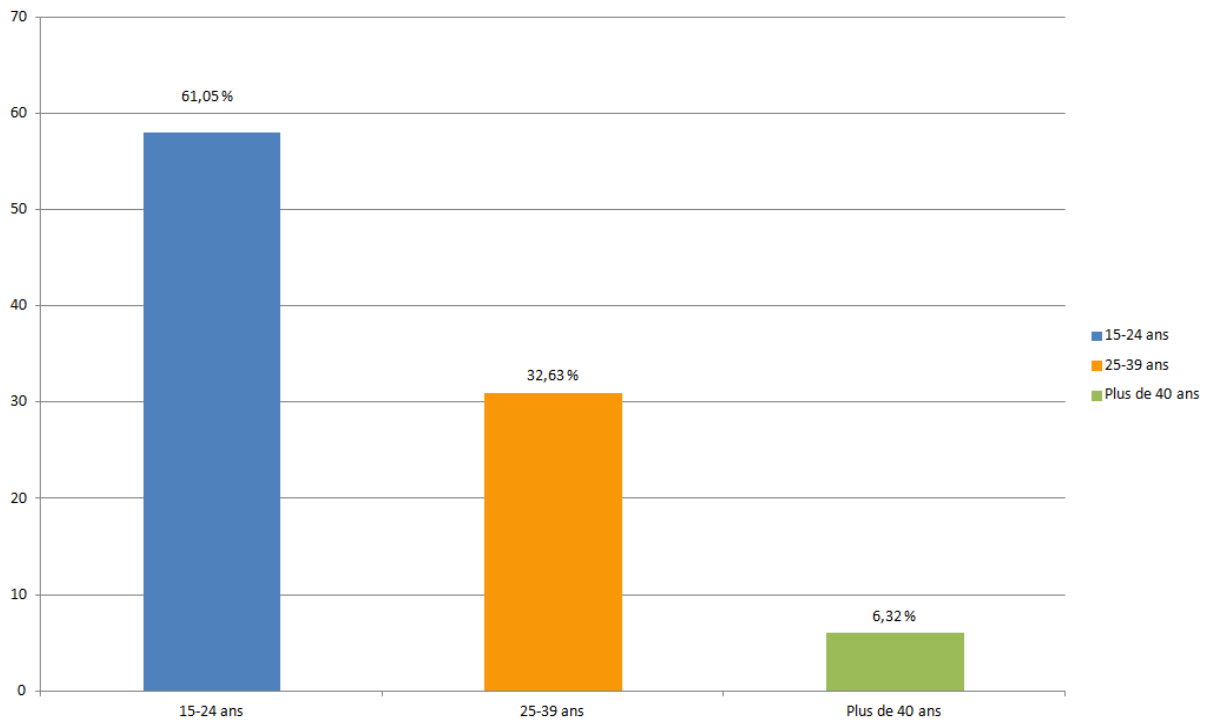
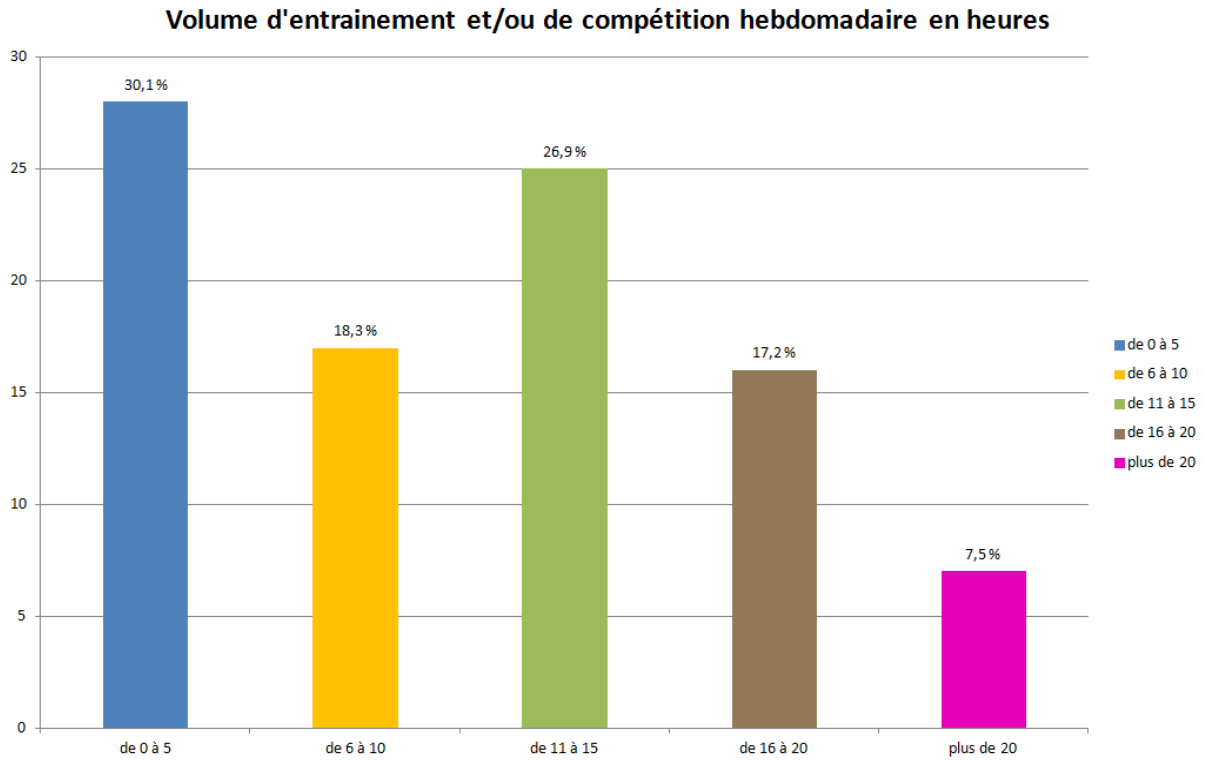


Figure 9



En cas de blessure, la partie du corps touchée est l'épaule (47,7%), le dos et les lombaires (18%), le poignet (12,6%), ou une autre partie (21,6%) (figure 10). Le temps d'interruption de leur pratique égale une semaine (13,3%), entre 2 et 4 semaines (34,7%), plus de 4 semaines (52%) (figure 11).

Figure 10

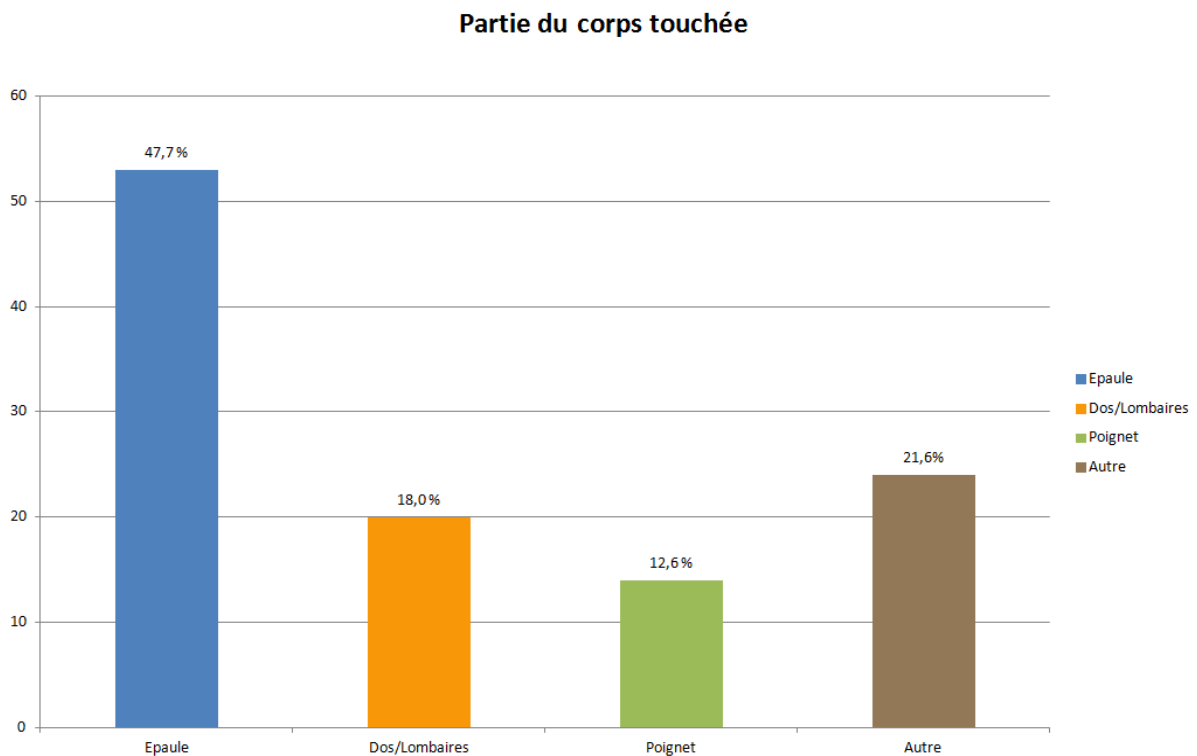
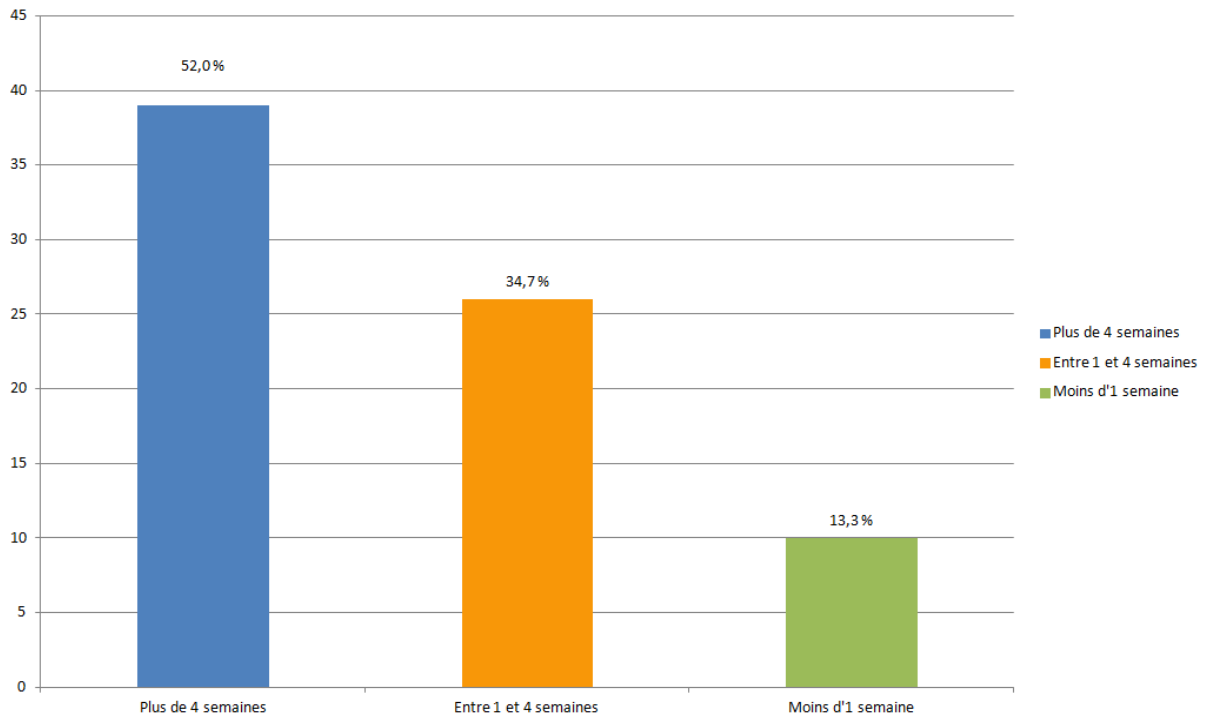


Figure 11

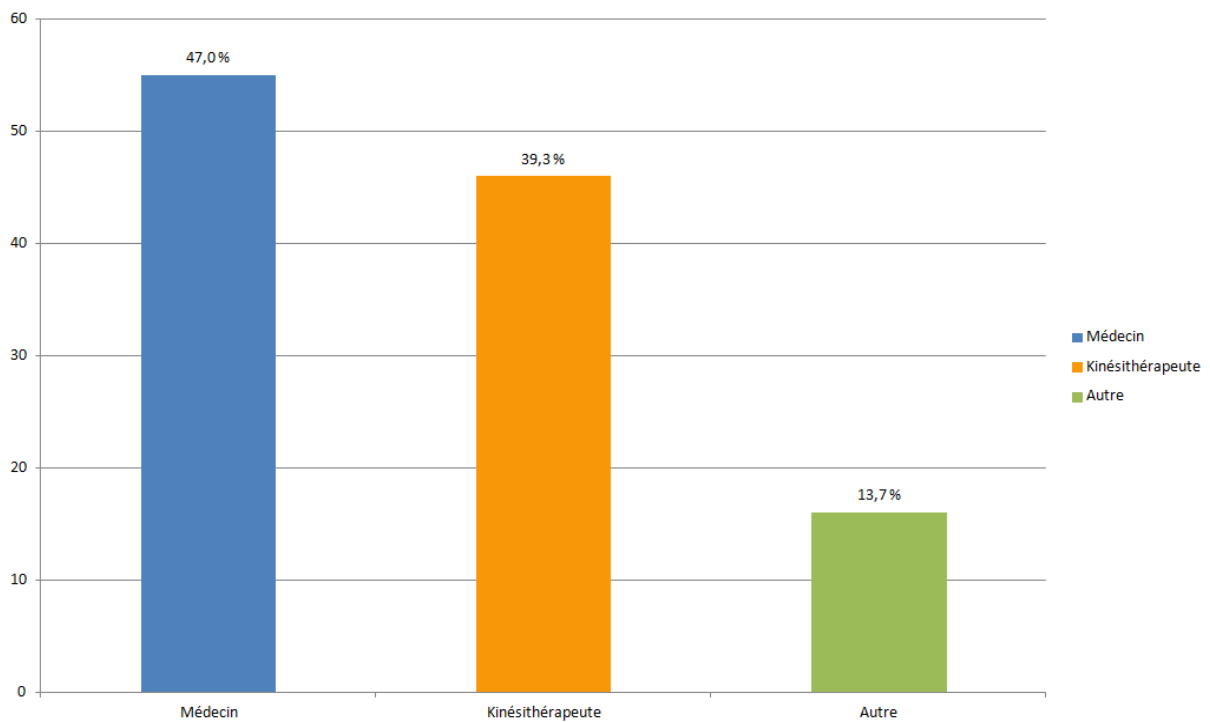
### Combien de temps avez-vous dû renoncer à votre activité?



L'athlète blessé a été pris en charge par un médecin (47 %), un kinésithérapeute (39,3 %), ou un autre professionnel (13,7 %) (figure 12).

Figure 12

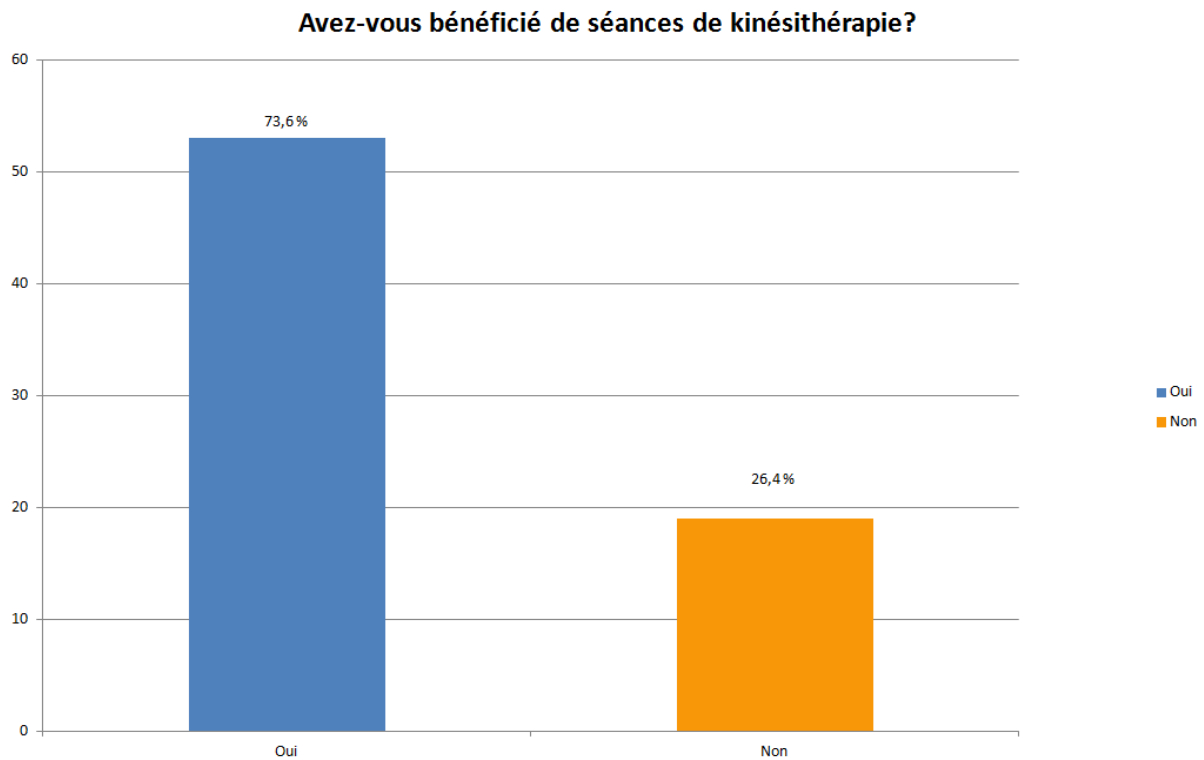
### Par qui avez-vous été pris(e) en charge ?





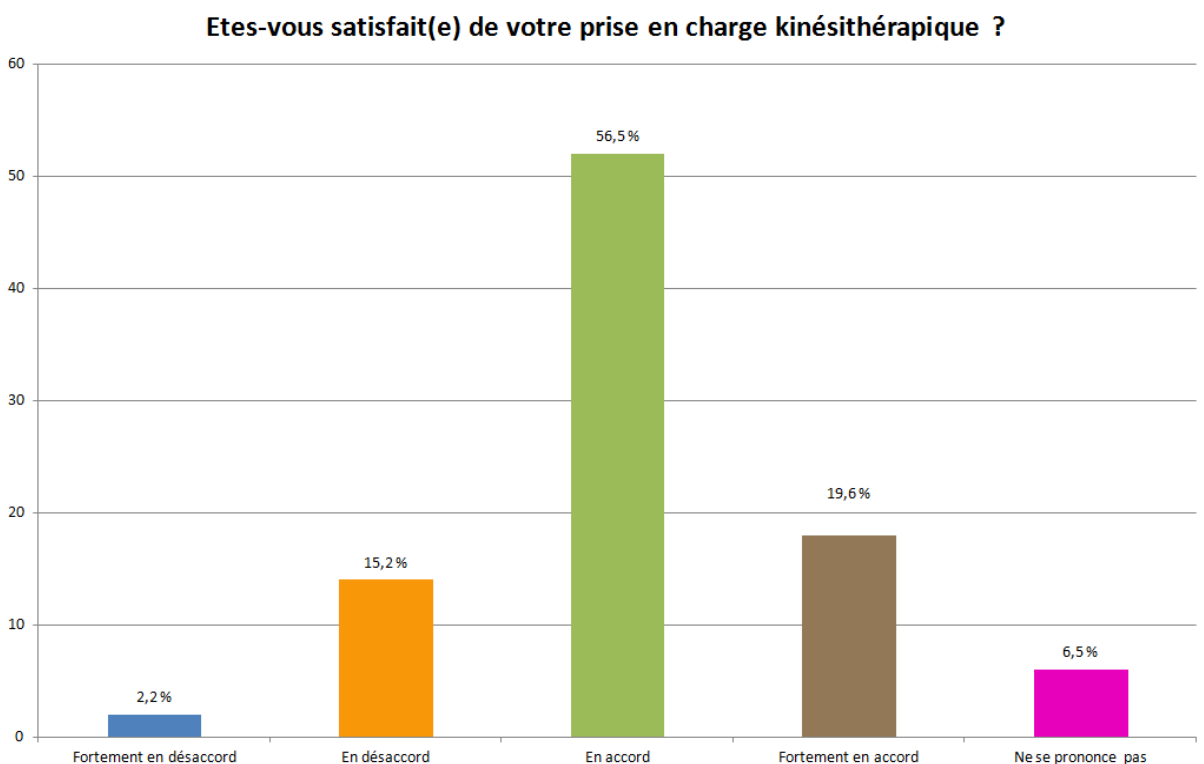
Pour la blessure considérée, l'athlète a bénéficié de séances de kinésithérapie (73,6 %) (figure 13).

Figure 13



Enfin, lorsqu'on l'interroge sur la satisfaction de sa prise en charge kinésithérapique, l'athlète est en accord (56,5 %) ou fortement en accord (19,6 %), soit en cumulant à 76,1 % favorable (figure 14).

Figure 14



#### **4. Pathologie étudiée**

Pour la mise en place et la conception de notre dispositif innovant, nous avons choisi d'étudier, parmi les différentes pathologies du kayakiste recensées précédemment, la lombalgie commune, c'est-à-dire non spécifique. Dans sa définition étiologique, selon Maigne [41], la lombalgie commune n'est pas liée à une affection autonome et évolutive (infection, tumeur, rhumatisme inflammatoire, douleur viscérale ou lésion fracturaire). Par ailleurs, la lombalgie commune est généralement rapportée à une/des lésion(s), le plus souvent discale(s), du rachis lombaire inférieur. La position observée la plus fréquente du kayakiste (en rétroversion) et les douleurs rachidiennes concomitantes ont été peu investiguées dans la littérature. Il nous est alors paru particulièrement pertinent de mener un travail de recherche dans cette direction.

#### **5. Description technopathique**

Concernant la compétition en canoë-kayak, il semble qu'on puisse parler de technopathie associée à sa pratique, puisque ce sport sollicite le rachis dans tous les axes, et dans des amplitudes extrêmes, avec application de forces importantes multipliées par le bras de levier (dit de troisième classe, cf. II.3.1.).

D'autre part, l'équipement du kayakiste (notamment les calages), la position contrainte permanente (assis, membres inférieurs allongés semi-fléchis), les incertitudes de navigation et de jeu collectif (rotations, inclinaisons, flexions, extensions de tronc fréquentes et rapides) créent une situation de surmenage musculaire (psoas, adducteurs, ischios-jambiers notamment), rachidien (charnière lombo-sacrée particulièrement) et pelvien (bassin en rétroversion continue). La position assise prolongée « enroulée » du kayakiste génère une « lourdeur » du bas du dos, comme le rappellent Esnault et Viel [23].

La navigation à la pagaie en kayak-polo génère donc une véritable technopathie liée à toutes ces caractéristiques inhérentes à l'activité, et majorées en pratique de haut-niveau (certains membres de l'Equipe de France s'entraînent jusqu'à 20 h par semaine). Nous voyons clairement que la région pelvienne notamment est en souffrance avec ces efforts brefs et répétés. Il importe donc tout particulièrement d'optimiser le geste du kayakiste en relation avec le bassin dans une optique thérapeutique préventive. Et à la lumière des articles précités, on s'aperçoit que la prise en charge par un kinésithérapeute est rarement envisagée, peu d'athlètes vont consulter suite à leurs douleurs lombaires. Un auteur, Eleftheriou [22], suggère des séances de renforcement musculaire. Pour Maigne [41], la gymnastique rééducative constitue la meilleure rééducation chez le lombalgique. Pour autant, elle ne doit pas être systématique et encore moins uniforme dans sa méthodologie. Par l'approche proprioceptive sur le contrôle postural pelvien, notre dispositif innovant se propose d'apporter des éléments spécifiques pour la prévention de la lombalgie commune du kayakiste.

#### **6. Lien pathologie - discipline – biomécanique – pagayeur**

Arlettaz et al. [2] ont montré que la pratique intensive du kayak semble favoriser le développement de la masse musculaire et améliorer la densité osseuse dans les régions préférentiellement sollicitées par ce sport (bras, tronc), ce qui peut être source de tensions et raideurs rachidiennes ou pelviennes. Pour Eleftheriou [22], les kayakistes hommes seraient davantage sujets aux lombalgies aiguës, et les femmes aux lombalgies chroniques. Pour Stone [56], la pratique du kayak pourrait surdévelopper les obliques au détriment des autres abdominaux, notamment lors des manœuvres de rotation de tronc, ce qui est susceptible de générer des blessures dans cette zone-là. Pour Keegan [34], la position N (correspondant au kayakiste, [figure 15](#)) favorise

Figure 15



la protrusion discale, et génère donc une compression nerveuse. Les douleurs lombalgiques semblent provenir de la diminution de l'angle tronc/cuisse. Bouisset et Maton [6] remarquent que lorsque des efforts sont effectués et répétés en position assise inconfortable pendant une durée trop longue, ils entraînent une traction postérieure sur le disque, jugée dangereuse.

La diminution de la lordose lombaire en kayak entraîne un déplacement du noyau pulpeux vers l'arrière, potentiellement dangereux, car accompagné d'une moindre résistance de l'anneau fibreux. Selon Dubois [17], en canoë-kayak, des forces importantes sollicitent les muscles posturaux du tronc, pouvant générer des contractures des paravertébraux notamment. Des détériorations discales dues aux chocs verticaux constituent aussi des micro-traumatismes répétés. De plus, l'accentuation de la cyphose dorsale peut être source de lombalgie, si elle se fixe.

Il semble qu'on puisse affirmer le rôle pathogène du kayak dans la survenue des rachialgies, puisque la fréquence de celles-ci augmente avec l'ancienneté, le niveau et surtout l'intensité de la pratique, tout comme la position assise prolongée (Esnault et Viel [23]). Cette fréquence est prévisible en raison de la sollicitation du rachis dans tous les axes, et dans des amplitudes extrêmes, avec des forces importantes appliquées (vitesse du courant, énergie cinétique de l'embarcation, multipliées par le bras de levier constitué par le manche de la pagaie).

Ces sollicitations extrêmes se composent de rotations forcées associées à des inclinaisons et flexions, qui atteignent la charnière dorso-lombaire. On les retrouve par exemple pour les appels\* tractés (photo 9) ou les propulsions circulaires\* (avec vissage opposé tronc-bassin).

Photo 9



## 7. Relation avec les concepts anatomo-physiologiques

### 7.1. Considérations rachidiennes

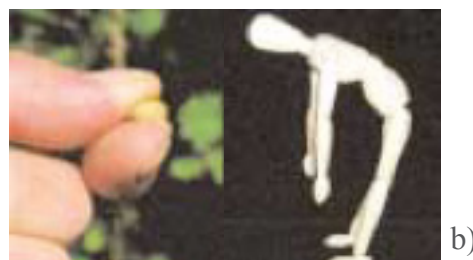
Bouisset [5] rappelle que la pression intradiscale a été reconnue pour être un facteur important de la pathologie du rachis lombaire. A l'intérieur de chaque disque intervertébral ou « coussinet élastique », il y a un anneau fibreux (constitué de lamelles fibreuses concentriques) qui dispose d'une résistance moindre en arrière (moins de lamelles). L'anneau est équivalent à une rotule enserrée par une rondelle et servant de pivot aux mouvements des corps vertébraux et le noyau est équivalent à un amortisseur hydraulique, qui répartit les pressions appliquées sur toute la surface interne de l'anneau fibreux. Selon Desnus [16], en cas de modifications de l'environnement ou de l'état physiologique, le rachis échappe à une régulation correcte par une proprioception trompeuse, une vision inutilisable et une douleur retardée par rapport à sa cause ou d'apparition tardive. Les principales règles de physiologie rachidienne comprennent le respect des courbures rachidiennes naturelles en charge, le parallélisme des plateaux (principe du lancer de noyau de cerise, [figure 16](#)), et l'évitement du surmenage des articulaires postérieures (colonne vertébrale en extension et en rotation).

Figure 16



a)

Figure 16

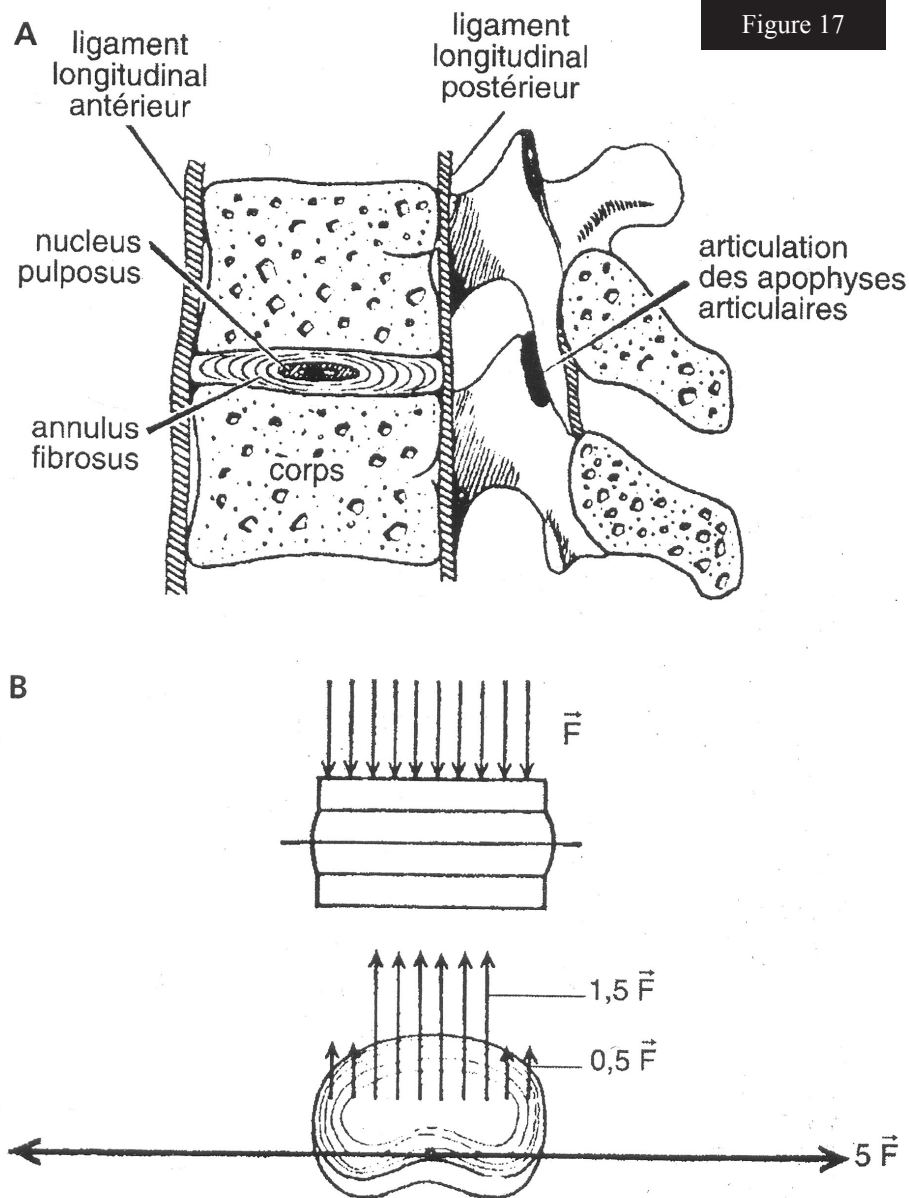


b)

a) Charnière lombo-sacrée verrouillée, plateaux vertébraux parallèles : échec du lancer de noyau de cerise.

b) Charnière lombo-sacrée non verrouillée, plateaux vertébraux non parallèles : réussite du lancer de noyau de cerise.

Dufour [18] mentionne que pour le disque intervertébral, les déséquilibres antérieurs (rétroversion de bassin du kayakiste) mettent une compression excessive sur celui-ci, avec le noyau rejeté vers l'arrière. Et Bouisset [5] note que si une force  $F$  est appliquée au corps vertébral, elle est reprise en compression avec une intensité  $1,5 F$  au centre du disque, et reprise en traction avec une intensité de  $5 F$  dans l'anneau, si le disque est normal ou peu dégénéré (figure 17).



Selon Estrade [24], le disque (considéré auparavant comme insensible) est en réalité innervé sur sa partie périphérique. Ainsi, les fibres de l'annulus peuvent se fendre précisément de façon radiale lors des mouvements de flexion (propulsion du kayakiste), et de façon circulaire lors des mouvements de rotation (manœuvre très fréquente en kayak). La répétition de contraintes, a priori atraumatiques, fait le lit de la lombalgie future. Marras et al. [42] constatent aussi que la pression vertébrale est plus importante chez un sujet lombalgique, par rapport à un sujet asymptomatique. Pour lui, les différences de pression vertébrale entre sujet lombalgique et sujet asymptomatique apparaissent liées aux différences de coactivation des muscles du tronc et des besoins perçus pour le système de stabilisation. Magnusson et al. [40] soulignent que des pressions soudaines peuvent générer d'importantes forces sur le rachis, et occasionner en conséquence des lombalgies. Les patients lombalgiques ont moins d'habiletés motrices pour

se protéger eux-mêmes des pressions soudaines. Enfin, Wilke et al. [66] mettent en évidence que le changement constant de position (effet « pumping », ou pompage) permet au disque, par alternance d'éloignement et de resserrement des plateaux vertébraux, de puiser sa substance nutritive liquidienne dans le milieu ambiant. En effet, et contrairement aux préconisations antérieures comme le rappelle Daulouède [11], le physiothérapeute peut utiliser cet effet de pompage lors de la prise en charge des lombalgies. Il faut en effet tenir compte de la courbure lombaire affectant la pression discale en modifiant la distribution des charges entre l'annulus et le nucleus d'une part, et entre le disque et les ligaments inter-apophysaires d'autre part, et en changeant aussi la tension des ligaments intervertébraux.

## **7.2. Considérations pelviennes**

Selon Portero [53], deux caissons (thoracique à dominante pneumatique, abdominal à dominante hydro-pneumatique) à géométrie et pression variables (selon les efforts effectués sur le tronc) forment un rempart antérieur stabilisant le tronc et permettent une meilleure répartition des contraintes. Cette stabilité peut être modifiée par des changements de position, notamment lorsque le sujet se penche en avant, comme lors de la propulsion en kayak. Cette position en avant augmente considérablement les contraintes sur le rachis lombaire, ainsi que la participation des caissons qui protègent le rachis. La région lombaire participe de fait à la mobilité du bassin, mais aussi du complexe lombo-pelvi-fémoral. Par conséquent, les mouvements de la hanche sont relativement indissociables de la mobilité lombaire. La région lombaire participe de ce fait à la mobilité du bassin, mais aussi du complexe lombo-pelvi-fémoral. Et les mouvements de la hanche sont souvent indissociables de la mobilité lombaire. De même pour Bennetot [4], le rachis est la structure soutenant, les hanches sont la structure portante. Ainsi chaque degré de mobilité perdu aura une répercussion immédiate sur la ceinture pelvienne dans sa totalité. Pour Noblet [45], lors de l'équilibre sagittal de la statique vertébrale (phénomène d'assiette), le bassin tient un rôle prépondérant. Lorsqu'il y a déplacement du centre de gravité vers l'avant, de puissantes contractions postérieures (spinales) s'avèrent nécessaires. Comme les muscles spinaux ont des bras de levier courts, une force musculaire importante est requise pour rattraper le déséquilibre. Ce phénomène peut être source de lombalgie chronique si les contractions deviennent permanentes. Les paramètres sagittaux doivent donc être répartis de manière harmonieuse pour assurer un équilibre ergonomique.

## **7.3. Considérations musculaires**

Dans leur revue de littérature, Vaillant et Vuillerme [61] rappellent qu'un déséquilibre des muscles du tronc entraîne un déséquilibre postural. Et chez le lombalgique, il faut plus de temps pour retrouver la stabilité posturale après un mouvement volontaire des bras, comme lors de la pratique du kayak. Il utilise moins fréquemment la mobilité lombaire pour répondre aux situations de déséquilibre qu'un sujet sain. Son temps de réaction et son temps pour retrouver un équilibre stable sont doublés par rapport au sujet sain. Selon Dufour [18], les lombalgiques ont, en grande majorité, une perte de l'extension des muscles lombaires, avec une usure précoce des entités anatomiques en présence (disque intervertébral, facettes articulaires, ligaments, muscles). Le ratio spinaux/abdominaux montre que les sujets sains ont des spinaux efficaces, alors que les lombalgiques ont plutôt des abdominaux prédominants. Selon Volckmann [64], les lombalgiques chroniques présentent souvent une dégénérescence des masses musculaires spinales, selon les connaissances actuelles avérées suivantes :



- les petits muscles du rachis sont très riches en fuseaux neuro-musculaires,
- les afférences de ces petits muscles coordonnent les muscles stabilisateurs plus gros,
- tout déficit de coordination entre les muscles intrinsèques et extrinsèques est source d'algie,
- une atrophie tonique et un déconditionnement sont extrêmement rapides pour les intrinsèques forts en cas d'immobilisation,
- les extenseurs du rachis sont préférentiellement atteints en cas de lombalgie chronique,
- le déficit des extenseurs et la rétraction-inhibition du quadriceps représentent une association morbide chez le lombalgique,
- l'activation des agonistes/antagonistes et la coordination musculaire programmée minorent la douleur du lombalgique chronique,
- les exercices en aérobie diminuent la douleur du lombalgique,
- le travail des extenseurs diminue significativement l'instabilité et la douleur,
- la prise en charge précoce détermine le succès en matière de lombalgie chronique.

## **8. Approche proprioceptive et posturale vs lombalgie**

### **8.1. Considérations proprioceptives**

Selon Viel et Chanussot [63], la proprioception consiste en une manière d'éduquer le patient en modulant ses sensations de manière à déclencher un geste, ce qui signifie que les efférences sont subordonnées aux afférences. Il faut alors tenir compte de l'anticipation, ou pré-réglage de la tension active du muscle. La rééducation dite « proprioceptive » permet de jouer sur la plasticité moto-neuronale et du complexe muscle-tendon. Les exercices proprioceptifs permettent aussi de modifier la typologie musculaire extra ou intra-fusale, la raideur du tendon et des éléments élastiques situés au niveau des ponts actine-myosine et des caractéristiques des boucles réflexes segmentaires ou supra-segmentaires. Les changements de position du corps induisent des modifications de tension au niveau des muscles qui régissent l'attitude du corps. En grande part, ce sont des activités non conscientes, mais qui font appel à des informations visuelles, vestibulaires et somato-sensitives, selon la position du centre de gravité dans l'espace. Lorsqu'un entraînement satisfaisant les prépare, le phénomène de pré-réglage de la tension active et l'accroissement de la tension active dans les muscles anti-gravifiques permettent un travail proprioceptif efficace. Finalement, la rééducation proprioceptive se propose d'induire un déséquilibre, obligeant le patient à retrouver sa capacité de rétablissement de l'équilibre. En mécanique, la stabilité se définit comme la capacité d'un système dynamique à revenir vers son régime établi après en avoir été écarté par une perturbation. Par notre approche proprioceptive, nous recherchons l'état labile (stabilité), avec une connotation dynamique.

## 8.2. Considérations posturales

Pour Desai et Marshall [15], il y a une perturbation du centre des pressions lors de la réalisation d'exercices posturaux chez les sujets lombalgiques vs les sujets témoins, avec modification de l'activité musculaire paravertébrale induite par la douleur. Les individus lombalgiques montrent des capacités amoindries d'adaptation musculaire du tronc qu'il peut être opportun de travailler sur matériel instable, et notamment sur swiss-ball, pour ses déstabilisations dans les trois dimensions. De même, pour Johanson et al. [33], la fatigue des muscles lombaires entraîne un déficit de stabilité posturale. Les sujets lombalgiques utilisent préférentiellement une stratégie d'adaptation par les chevilles (aboutissant à une dégradation de la stabilité posturale), alors que les sujets sains utilisent une stratégie de contrôle multisegmentaire. Lorsque les sujets sains subissent une fatigue lombaire importante, on aboutit à la même dégradation de la stratégie de contrôle postural. Donc les modifications des afférences lombaires, par fatigue ou par douleur, portent atteinte aux capacités d'adaptation des stratégies de contrôle postural. Et pour Mok et al. [44], le sujet lombalgique utilise moins fréquemment sa mobilité lombo-pelvienne pour répondre aux situations de déséquilibre que les sujets sains, ce qui accroît la raideur des muscles spinaux. Par ailleurs, son contrôle postural est davantage compromis, avec un temps de retour à l'équilibre initial plus long que le sujet sain. Vaillant et Vuillerme [62] soulignent aussi que les modifications des afférences lombaires, par la douleur ou la fatigue, peuvent induire une incapacité à adapter les stratégies de contrôle postural. Il est particulièrement important pour le thérapeute de considérer cette altération de mobilité lombo-pelvienne pour la prise en charge. Plus largement, ils rappellent qu'un défaut de contrôle du mouvement pour les lombalgiques est constaté avec des amplitudes dans les trois plans de l'espace plus importantes. Ces auteurs notent aussi qu'il existe un lien entre déficit postural et déficit proprioceptif, avec une modification de la proprioception lombaire des fuseaux neuro-musculaires impliqués dans la perturbation du sens de repositionnement - erreurs de repositionnement plus importantes chez les sujets ayant une instabilité. Les lombalgiques ont aussi un seuil plus élevé de perception du mouvement.

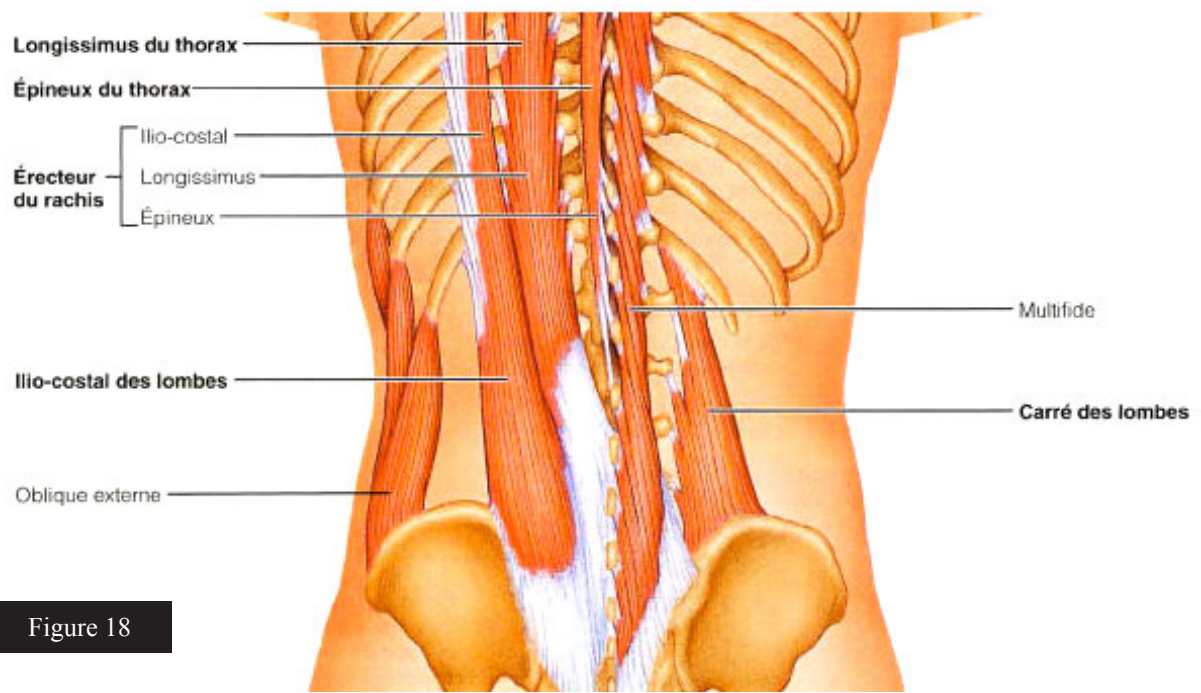
## 8.3. Considérations musculaires

Ziane [67] rappelle que les muscles profonds (fibres essentiellement de type I, lentes), sont peu volontaires, peu fatigables et s'atrophient en premier. Pour stimuler l'activité des muscles profonds, il faut stimuler la proprioception, en soumettant le sportif à des contraintes de placement postural, de déséquilibre physique et de vitesse progressivement croissante. Car tout dérèglement de la proprioception aboutit tôt ou tard à des lésions articulaires. Développer la proprioception, selon Ziane [68] est alors un moyen de prévention de nombreuses blessures articulaires. Pour Norris [46], l'action coordonnée des muscles lombaires (érecteurs du rachis) et abdominaux est essentielle pour la stabilité de la colonne lombaire. Pour Renkawitz et al. [54], une association significative entre un déséquilibre neuromusculaire des érecteurs du rachis et la lombalgie a été démontrée. Pour Estrade [24], l'effet protecteur des muscles spinaux sur la récurrence est aujourd'hui établi. Les érecteurs du rachis sont plutôt moteurs que stabilisateurs, et l'endurance de ces muscles prime sur la force pour la stabilisation. Pour les abdominaux, le transverse et l'oblique interne sont stabilisateurs, tandis que l'oblique externe et le droit de l'abdomen sont moteurs préférentiellement. Pour Duncan [19], l'activité musculaire des abdominaux semble supérieure lors d'exercices sur support instable (swiss-ball) par rapport au support stable. Selon Ainscough-Potts et al. [1], pour prévenir la récurrence douloureuse de la lombalgie, les abdominaux profonds (transverse de l'abdomen TA et oblique interne OI) servent à protéger la colonne lombaire. Et si on diminue la base d'appui du corps (par exemple en surélevant le pied sur un swiss-ball), on augmente l'activation de l'OI et du TA. Stone [58] relève que la pratique du kayak a tendance à surdévelopper les obliques au détriment des autres abdominaux, notamment lors des manœuvres de rotation de tronc, ce qui est susceptible de générer des blessures à ce niveau-là.



## 8.4. Conséquences rééducatives

Pour Noblet [45], la rééducation posturale spécifique vise à libérer la mobilité sagittale du bassin. Elle permet d'obtenir une adaptation correcte et un équilibre ergonomique. Il faut aussi veiller à conserver une souplesse sous-pelvienne et à limiter les excès de tensions musculaires responsables de positions vicieuses. Pour Bennetot [4], il est important d'avoir une vision globaliste dans la rééducation du lombalgique, et non plus restrictive. Oublier de traiter une hanche pour une lombalgie commune, revient à soigner les conséquences sans pour autant traiter la cause initiale. Pour Estrade [24], la liberté des hanches reste une piste à creuser, tant il semble que les lombalgiques ne disposent pas d'une même amplitude rotatoire et d'une même amplitude en extension que les sujets sains. Pour Maigne [41], la gymnastique rééducative constitue la meilleure rééducation. Elle ne doit pourtant pas être systématique et encore moins uniforme dans sa méthodologie. Il faut permettre au patient de (re)prendre conscience de sa mobilité lombo-pelvienne, et lui apprendre à l'exercer. L'exercice le plus simple à ce titre étant l'apprentissage de la bascule du bassin. Il est aussi indispensable de lui apprendre à limiter les efforts demandés à sa charnière lombo-sacrée, en mettant son rachis en position tout en se servant au maximum de ses membres inférieurs. Les « ajustements posturaux » et proprioceptifs concilient protection du segment lésé et déverrouillage relatif de la région tout en excluant les mouvements extrêmes. Et pour Dufour [18], il faut rééquilibrer le système en travaillant de façon passive, puis active, sur la récupération de l'extension lombaire. Pour éviter la kinésiophobie, le verrouillage lombaire suit les principes suivants : immobilisation volontaire du rachis, position intermédiaire, cocontraction spinaux/abdominaux, utilisation de la mobilité des membres inférieurs. En position assise, le maintien au fond d'une chaise avec un renfort lombaire maintient la lordose lombaire. Il est important de sentir les ischions rouler en avant (position neutre ou antéversée du bassin, par réduction de la rétroversion). Il est capital enfin de comprendre qu'il faut passer le moins de temps possible « avachi » en flexion du rachis, afin de protéger les disques intervertébraux. Le maintien actif de l'érection du rachis est réalisé avec l'action des spinaux. Chaque programme de rééducation doit préparer et améliorer les capacités motrices inhérentes à la stabilisation active lombaire, plutôt que d'accroître simplement la force musculaire du tronc. Après un programme de rééducation lombaire, l'occurrence de déséquilibre de la région lombaire décroît proportionnellement. Pour Krabak et Kennedy [36], une atteinte prolongée de la région lombaire induit une atrophie des muscles posturaux profonds et un programme de rééducation adapté pour les blessures de la colonne lombaire devrait inclure des objectifs d'amélioration de la souplesse et de la force, avec une progression vers le fonctionnel puis des exercices spécifiques à la pratique sportive. Le programme de rééducation devrait se concentrer sur les muscles profonds suivants : multifides (figure 18) en cocontraction avec les abdominaux. Pour Ziane [68], en vue d'améliorer l'activité des muscles profonds (toniques), il faut stimuler la proprioception, en soumettant le sportif à des contraintes de placement postural, de déséquilibre physique et de vitesse progressivement croissante. On peut aussi perturber un système d'équilibration (vue, oreille interne), ou réaliser des enchaînements sur swiss-ball ou sur sol meuble (tapis mous, sable...).



### III. CONCEPTION

---

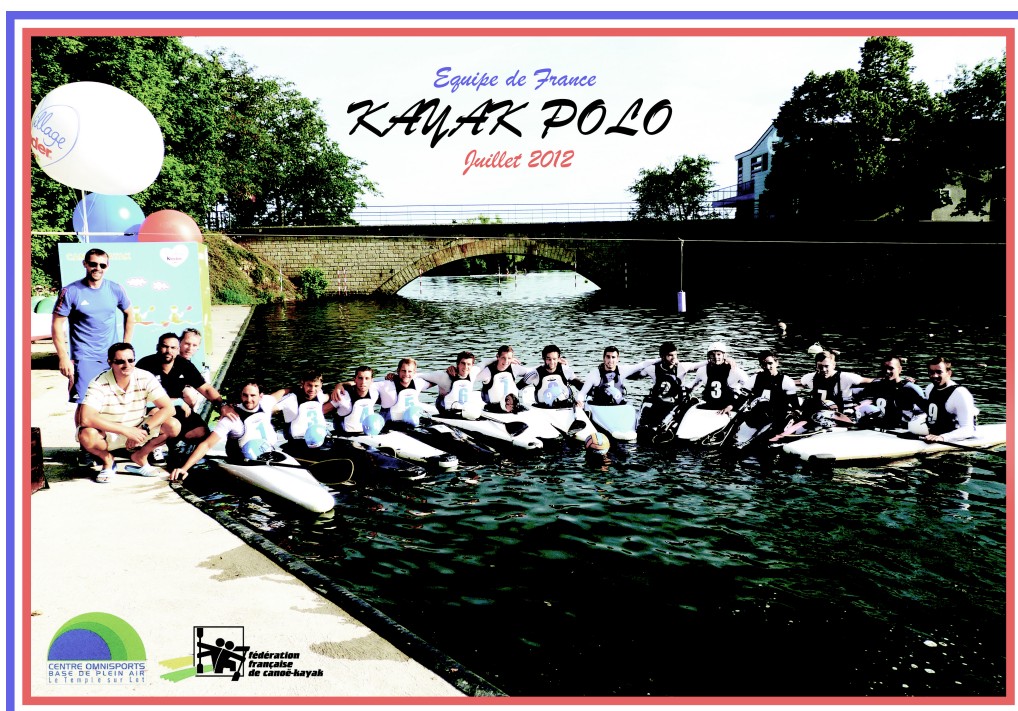
#### 1. Présentation de la démarche de prévention

En canoë-kayak, nous avons ressenti personnellement au cours des entraînements, puis observé extérieurement sur certains pratiquants, pendant plusieurs années, le phénomène de fatigue articulaire qui se manifeste dans la région lombaire des kayakistes en post-entraînement ou en post-compétition. Grâce à cette connaissance des exigences de l'activité, nous visualisons la cyphose dorsale du pratiquant lors de la sortie de l'embarcation, avec le bassin positionné en rétroversion.

La démarche de prévention que nous proposons repose sur une bonne technique sportive et surtout sur la réduction de l'entraînement pendant les phases de croissance rapide, selon Haddad et al. [30]. Nous gardons en tête que pour le rachis sportif, selon Rodineau [55], la prise en charge thérapeutique obéit à certaines règles, mais doit avant tout être personnalisée en fonction du profil, des enjeux et des aspirations sportives du patient. Elle peut être aussi le siège fréquent de l'expression d'agressions d'ordre supérieur (stress), notamment au niveau des charnières cervico-dorsales et dorso-lombaires par somatisations, selon Brunet-Guedj [8].

Nous avons contacté six mois auparavant le conseiller technique national chargé de mission recherche à la FFCK et le directeur des Equipes de France de kayak-polo afin de proposer notre étude. Ces premiers contacts ont abouti à un intérêt particulier porté pour notre démarche de prévention. Puis, nous sommes partis travailler avec l'Equipe de France de Kayak-Polo (seniors et moins de 21 ans, soit 14 sujets) à l'occasion d'un stage préparatoire aux Championnats du Monde 2012 au Centre Omnisports de Temple-sur-Lot du 17 au 22 juillet 2012 (photo 10). Notre démarche a été présentée dans un premier temps aux deux entraîneurs nationaux afin d'en développer les intérêts potentiels et d'aborder aussi les contraintes temporelles pour le planning du stage.

Photo 10



En début de stage, nous avons exposé dans un second temps aux athlètes notre protocole de recherche et notre démarche de prévention, et nous leur avons proposé de participer chaque jour à un atelier de rééducation sur la cinétique pelvienne, et cela pour chacun des kayakistes sélectionnés. Ces situations variées de proprioception sur un ballon permettent de valider une progression dans l'apprentissage du contrôle postural. Huit kayakistes ont été tirés au sort, à parité égale entre les moins de 21 ans et les seniors, leur âge variant entre 18 ans et 31 ans, leur poids se répartissant de 70 kg à 85 kg, et leur taille s'échelonnant entre 1,71 m et 1,88 m. Un test initial et un test final ont été enregistrés, avec une séance quotidienne de 10 min sur le dispositif innovant conçu, en plus de l'atelier postural sur ballon. Ce protocole sur deux ballons avec appuis ischiatiques et talonniers est fonctionnel et nouveau pour tous, et se rapproche le plus fidèlement possible de la position en bateau sur l'eau (photo 11). Ce test a été élaboré pour sa spécificité avec l'activité (équilibre assis instable, avec les jambes à l'horizontale), il est reproductible, identique pour tous, et enregistré avec fiabilité sur le logiciel PostureWin (photo 12).

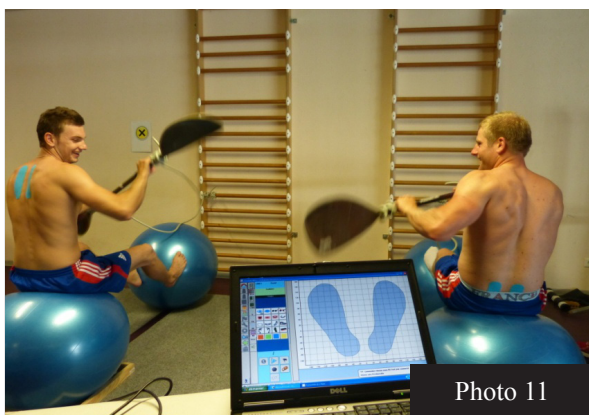


Photo 11

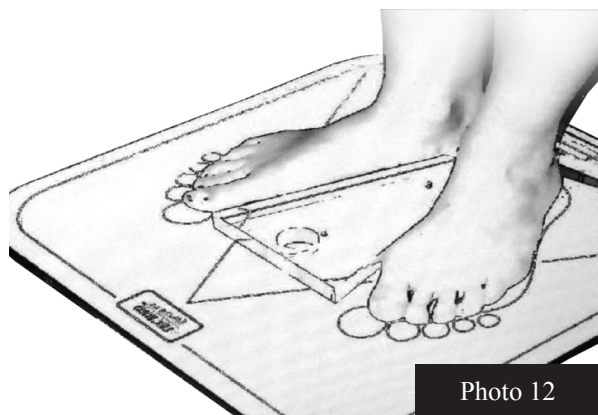


Photo 12

## 2. Composantes du programme moteur

Janin [32] remarque que lors de la réalisation d'un mouvement, la régulation des activités posturo-cinétiques (posture orthostatique, équilibre, locomotion) est indispensable pour que les segments corporels gardent leur cohésion et pour que leur jeu soit parfaitement harmonieux malgré les différentes perturbations que le corps peut subir (Massion [43]). Par ailleurs, le contrôle de ces activités sous-entend la constitution d'une architecture posturale impliquant une organisation et une mise en jeu des structures nerveuses responsables du contrôle moteur (ajustement des schèmes posturaux, réalisation d'enchaînements musculo-articulaires responsables du mouvement, Paillard [49]). C'est en fait une coordination des différents paramètres impliqués dans la mise en jeu des activités posturo-cinétiques (éléments biomécaniques, contrôles nerveux centraux et réflexes et systèmes informationnels) qui permet de répondre consciemment ou inconsciemment et de manière efficace à l'intention déterminante ou aux modifications environnementales (Bouisset et Maton [6]). La réalisation de cette performance motrice dépend directement de la stabilité, de l'équilibre et de la configuration posturale de la base d'appui (Bouisset [5]). Les afférences sensorielles provenant des récepteurs sensoriels cutanés plantaires, conjointement à celles provenant des propriocepteurs de l'appareil musculo-ostéo-articulaire, des propriocepteurs céphaliques de l'appareil vestibulaire, des capteurs rétiniens, des récepteurs sensoriels des muscles oculo-moteurs et aussi des récepteurs stomato-gnathiques, sont directement impliquées dans le contrôle des activités posturocinétiques (Dupui et Montoya [20], figure 19).



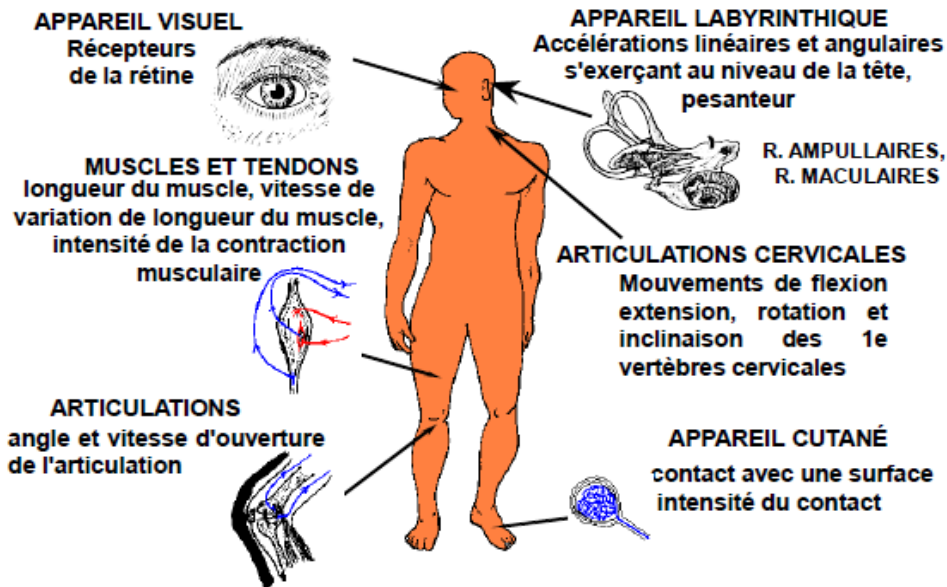


Figure 19

Selon Paillard [49], en matière de régulation posturale, il existe une cascade de dispositifs hiérarchisés assurant le soutien antigravitaire du corps en station érigée :

- premier niveau, par le jeu des réflexes myotatiques élémentaires ;
- deuxième niveau, par le jeu des réactions compensatrices intervenant en marge des faibles oscillations de l'équilibre statique du corps ;
- troisième niveau, par l'appel à des réactions de rattrapage plus élaborées lorsque l'écart ou la brusquerie des changements de contraintes externes décode les capacités compensatrices du niveau précédent ;
- quatrième niveau, par le recours aux réactions de repositionnement, de redressement du corps en position érigée et lorsque la rupture d'équilibre a débordé les capacités de rattrapage.

Pendant notre atelier de rééducation, les athlètes sont initiés individuellement à la dynamique du bassin (cinétique pelvienne), en inclinaison latérale, en rétroversion/antéversion et en circonvolutions (mouvement global), d'abord sur plan dur avec la paume des mains sous les ischions (photos 13, 14, 15, 16, 17,18), puis sur ballon (photos 19, 20) avec d'autres variantes (rebonds pour créer un effet « pumping », cf. Daulouède [11] et Wilke et al.[66]).

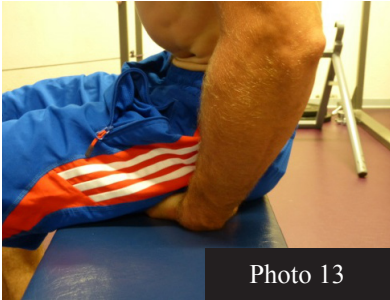


Photo 13



Photo 14

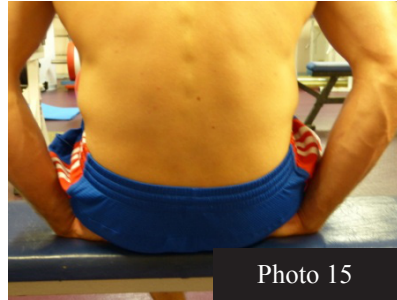


Photo 15



Photo 16



Photo 17

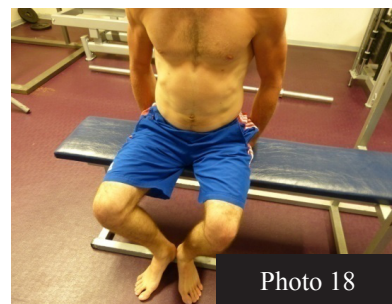


Photo 18



Photo 19



Photo 20

Ensuite, lorsque cette cinétique est en cours d'acquisition, nous intégrons aussi un travail collectif à deux ou trois kayakistes, au moyen d'un swiss-ball central où sont posés leurs talons, pendant qu'ils exercent leur équilibre de bassin (photos 21, 22, 23). Puis le travail évolue en complexité (passes avec le ballon de polo), ce qui sollicite plus globalement les autres entrées sensorielles de l'équilibration, en intégrant une dimension ludique et en se rapprochant de la problématique sportive.



Photo 21



Photo 22



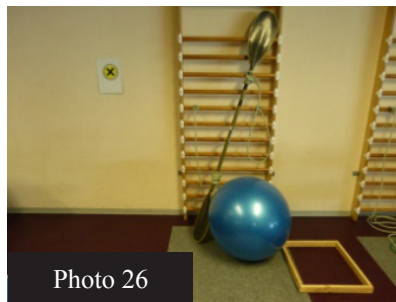
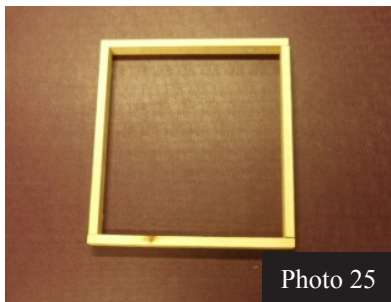
Photo 23

### 3. Mise en place du dispositif innovant

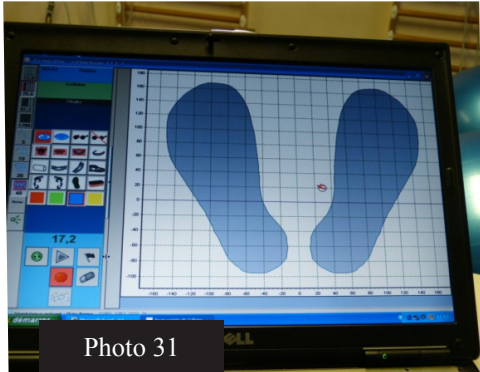
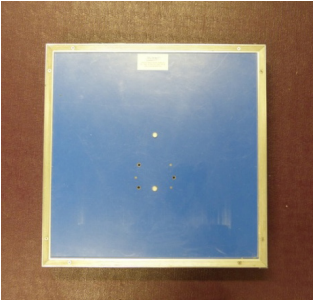
Le dispositif innovant est constitué d'une pagaie en carbone de compétition, de deux élastiques tubulaires couleur argent (résistance moyenne, cf. figure 20), d'un espalier de rééducation et de deux swiss-ball diamètre 65 cm pourvus de cadres stabilisateurs au sol (photos 24, 25, 26).

	Yellow	Red	Green	Blue	Black	Silver	Gold
25 %	0,5	0,7	0,9	1,3	1,6	2,3	3,6
50 %	0,8	1,2	1,5	2,1	2,9	3,9	6,3
75 %	1,1	1,5	1,9	2,7	3,7	5,0	8,2
100 %	1,3	1,8	2,3	3,2	4,4	6,0	9,8
125 %	1,5	2,0	2,6	3,7	5,0	6,9	11,2
150 %	1,8	2,2	3,0	4,1	5,6	7,8	12,5
175 %	2,0	2,5	3,3	4,6	6,1	8,6	13,8
200 %	2,2	2,7	3,6	5,0	6,7	9,5	15,2
225 %	2,2	2,9	4,0	5,5	7,4	10,5	16,6
250 %	2,6	3,2	4,4	6,0	8,0	11,5	18,2

Figure 20



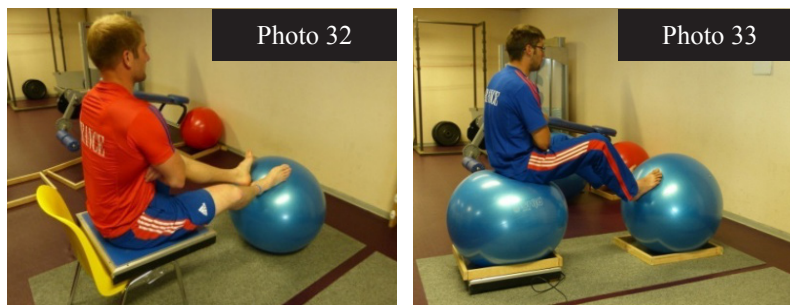
Notre dispositif reconstitue la position du kayakiste avec les pieds posés sur le ballon avant, les genoux fléchis, les hanches en rotation externe, flexion et abduction (position identique en kayak), et les ischions en appui au sommet du ballon (photos 27, 28, 29). Nous avons installé ce dispositif dans la salle de musculation du Centre Omnisports de Temple-sur-Lot. Lorsque le test initial sur plate-forme stabilométrique (photos 30, 31) est validé, l'athlète réalise quotidiennement 10 min de pagayage en propulsion avant sans s'arrêter.



Il est confronté notamment à une problématique d'équilibration en gîte et en assiette sur son ballon (avec nécessité de positionner le bassin en inclinaison et rétroversion/antéversion). A la



fin de la semaine, le dernier jour, l'athlète valide le test final sur plate-forme stabilométrique pour un dernier enregistrement des variables mesurées (photos 32, 33).



Lors de la pratique avec le dispositif expérimental, les athlètes ont réussi à s'affranchir d'un, voire de deux stabilisateurs installés (pour la première séance) sous chaque ballon (ischiatique et talonnier) pour conserver un équilibre compatible avec la perturbation générée par le pagayage avec le système pagaie-élastique-espalier. Leur aisance gestuelle est améliorée, avec un meilleur placement du bassin sur le ballon ischiatique et une meilleure adaptation aux déséquilibres induits par le mouvement de pagayage du tronc qui « parasite » l'équilibre lombo-pelvien sur support instable.

Pour Stone [57], l'entraînement sur swiss-ball permet l'utilisation de muscles tels les abdominaux, contribuant à stabiliser la position du kayakiste, selon l'amplitude de mouvement recherchée. Et les exercices sur swiss-ball sont notamment recommandés aux kayakistes lombalgiques, et cela particulièrement en prévention. Au début, il est nécessaire de se focaliser sur la qualité du geste effectué, avec peu de répétitions et de séries. Grosgeorges [28] recommande aussi l'entraînement sur swiss-ball qui permet la contraction des abdominaux, contribuant à stabiliser la position du kayakiste, selon l'amplitude de mouvement recherchée. Stanton et al. [56] notent aussi que l'entraînement sur swiss-ball apporte une amélioration significative sur la stabilité posturale. Norris [47] souligne que le programme de rééducation comprend nécessairement quatre étapes : réhabilitation, stabilisation statique, stabilisation dynamique, et activités fonctionnelles. Le dispositif innovant peut alors être perçu comme une approche et un modèle simplifié des situations motrices vécues en kayak.

#### **4. Atelier postural et proprioceptif**

La mise en oeuvre de notre dispositif innovant s'est au préalable accompagnée d'un atelier quotidien ayant les objectifs suivants :

- amélioration de la mobilité du bassin (antéro-postérieure, médio-latérale, globale par circonvolutions) ;
- apprentissage de l'auto-étirement du rachis sur antéversion de bassin, du relâchement des épaules et du tronc, travail de pompage intervertébral (légersrebonds sur ballon avec pieds immobiles au sol) ;
- stimulation de la proprioception sur petits ballons, avec un ou deux équipiers, et lancer de ballon ;
- étirements (photos 34, 35, 36, 37, 38) des ischios-jambiers, du quadriceps, du carré des lombes et des spinaux, des fessiers, du psoas et des pelvi-trochantériens (Stone, 2013 ; Lecocq, 2000) ;



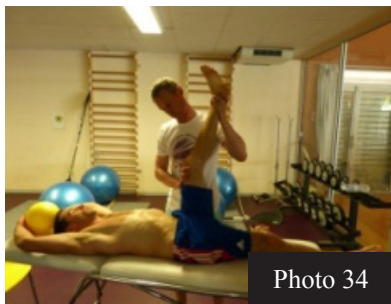


Photo 34

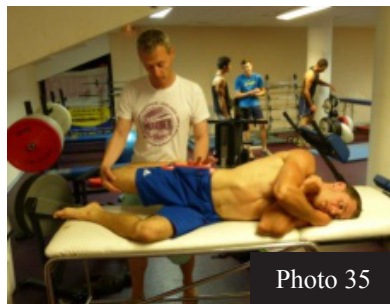


Photo 35



Photo 36



Photo 37



Photo 38

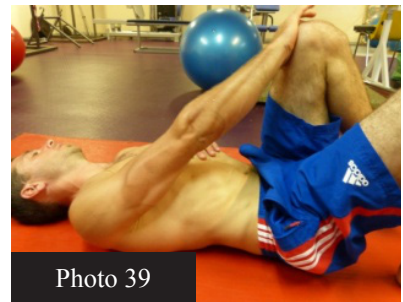


Photo 39

- renforcement des abdominaux profonds (photo 39) en respectant les principes suivants :

l'effort sur l'expiration en trois temps (d'après Guillaume et Xhardez [29] : expiration thoracique active avec abaissement du thorax, expiration abdominale active, bascule du bassin en rétroversion), contraction active du périnée au préalable et maintien de cette contraction périnéale pendant l'effort. La poussée vers le bas ainsi que la descente des côtes et du diaphragme durant les exercices et les efforts quotidiens sont néfastes. C'est pourquoi la position raccourcie des muscles droits de l'abdomen est fortement déconseillée pendant le travail expiratoire (Lécolier [39]).

Cet atelier est instauré dans un but de prévention primaire de la lombalgie avec prise de conscience du rôle du bassin, voire même de passage à la chronicité, selon les prérogatives de la masso-kinésithérapie définies par la Haute Autorité de Santé [31]. Comme le préconise Brunet-Guedj et al. [8], il est primordial « d'assurer le placement et le fonctionnement du rachis dans un schéma dynamique global, d'entretenir les capacités de souplesse des articulations pelviennes, de permettre le déroulement correct des cyphoses et des lordoses rachidiennes et d'autoriser la meilleure qualité de la fonction musculaire ». Notre atelier à visée de proprioception et de contrôle postural favorise la détente des chaînes musculo-aponévrotiques paravertébrale, pelvienne et des membres inférieurs, la tonicité de la sangle musculaire pelvi-trochantérienne et la qualité fonctionnelle de la sangle abdominale.

En conclusion, cet atelier permet la prise de conscience, la motricité fine et l'assimilation de cette mobilité du bassin associant le complexe lombo-pelvien avec le rachis et le tronc. Dans une perspective plus générale, on peut donc appréhender cet atelier (cf. Colle [9]) comme le nécessaire apprentissage de la maîtrise des gestes techniques au sens large d'un complément indispensable, chez des athlètes en bonne condition physique et afin de disposer d'un rachis souple et fort. De la même manière, Bard [3] remarque que la prévention des lésions rachidiennes peut s'effectuer par une préparation physique conciliant une flexibilité et une musculature du rachis adaptées au sport considéré.

## IV. REALISATION

---

### 1. Caractéristiques du système

Nous avons choisi d'introduire un système de contrôle postural assis avec instabilité distale, en libérant les épaules grâce à des résistances élastiques progressives. Ces élastiques offrent une résistance minimale au début du mouvement qui augmente progressivement jusqu'à la fin du geste (Curraladas et Calais-Germain [10]). Cette résistance permet de respecter la physiologie articulaire et les composantes de rotation des mouvements, elle permet d'affiner la rééducation proprioceptive, tout en assurant un travail de contrôle postural et tout en se rapprochant du geste fonctionnel (Delaire et Forster [14]), avec une approche ludique, pratique et simple d'utilisation. Pour notre dispositif, nous avons choisi une résistance tubulaire de force intermédiaire (couleur argent), dans le but de privilégier prioritairement le travail d'équilibration sur les deux ballons.

### 2. Critères et indicateurs de réalisation

Deux tests sont mis en place (sur plate-forme d'enregistrement stabilométrique), le premier et le dernier jour du stage. Le sujet testé est installé sur deux swiss-ball, l'un pour les appuis ischiatiques, l'autre pour les appuis talonniers.

Pour chaque test (initial et final), on a installé la plate-forme de stabilométrie sur la chaise puis sous le swiss-ball ischiatique, et elle est reliée au logiciel informatique Posture Win. Le plateau rigide de cette plate-forme (50 cm × 50 cm) repose sur plusieurs transducteurs qui transforment la force appliquée en signaux électriques. Ensuite, la mesure des forces et des moments exercés au niveau de la plate-forme permet d'en déduire les coordonnées du centre des pressions et de suivre les variations dans le temps. L'enregistrement simultané des variations du centre de gravité et des variations du centre des pressions montre au niveau de ce dernier des variations de plus forte amplitude et de plus haute fréquence. On admet que dans les conditions d'un équilibre quasi-statique (oscillations de basse fréquence), les variations du centre des pressions sont corrélées à celles du centre de gravité (Degache [12]).

Parmi les données fournies par le logiciel Posture Win, nous avons choisi d'analyser la surface totale balayée et la vitesse moyenne des oscillations. Chaque test (initial et final) comprend 4 séries de 3 mesures enregistrées pendant 26 secondes (Pinsault [52]). Le sujet doit rester en équilibre statique bras croisés devant le torse, avec le regard horizontal et fixé sur une cible située à 1,50 m devant lui. Pour chaque test, les 4 séries de 3 mesures se déroulent dans un ordre aléatoire et non prévisible, comprenant la position assis sur chaise les yeux ouverts, assis sur chaise les yeux fermés, assis sur ballon les yeux ouverts, assis sur ballon les yeux fermés. Parmi les différents paramètres mesurés, nous avons sélectionné pour notre analyse statistique la surface  $S$  (exprimée en millimètres carrés, elle délimite une aire dans laquelle se concentrent 90 % des positions échelonnées du centre des pressions) et la vitesse  $V$  moyenne (exprimée en mm/s) des oscillations mesurées. La surface représente probablement la donnée la plus rigoureuse pour évaluer les difficultés d'équilibre (Degache [12]). Parmi les autres paramètres relevés par le logiciel, on répertorie la longueur  $L$  (distance moyenne en mm parcourues par le centre de pression), le  $X$ -moyen (roulis, ou désaxation latérale du centre de pression), le  $Y$ -moyen (désaxation sur l'axe antéro-postérieur), la longueur en fonction de la surface  $LFS$  (chemin parcouru par le centre des pressions par unité de surface, qui donne une idée de l'énergie dépensée par le sujet pour contrôler son équilibre).

Enfin, nous avons aussi comptabilisé le nombre d'échecs survenus en position yeux fermés et sur ballon, variable qui va s'avérer particulièrement utile pour le groupe contrôle.

### **3. Coordination et communication avec les partenaires**

Nous avons été en contact régulier avec la Fédération Française de Canoë-Kayak, et notamment avec la cellule Information, Performance, Recherche, à la fois pour la diffusion du questionnaire, pour la mise en place et la réalisation du protocole, et pour des recherches documentaires annexes. En accord avec le conseiller technique national, une diffusion ultérieure du dispositif technique innovant aux structures fédérales pourra être réalisée grâce aux différents supports fédéraux de communication. Pour notre fournisseur TheraBand (résistances élastiques progressives), nous avons transmis le protocole de recherche qui a été accepté pour son intérêt et son originalité.

## V. EVALUATION

### 1. Apports du dispositif expérimental

La progression des kayakistes est constatée de visu lors de la pratique avec le dispositif expérimental. Les athlètes ont réussi à s'affranchir d'un, voire de deux stabilisateurs installés (pour la première séance) sous chaque ballon (ischiatique et talonnier) pour conserver un équilibre compatible avec la perturbation générée par le pagayage avec le système pagaie-élastique-espalier. Leur aisance gestuelle est améliorée, avec un meilleur placement du bassin sur le ballon et une meilleure adaptation aux déséquilibres du tronc, induits par le mouvement de pagayage, et parasitant l'équilibre lombo-pelvien sur support instable. Notre dispositif s'inscrit dans le cadre de la démarche globale de l'entraîneur, notamment pour les coordinations motrices (figure 21), et plus spécifiquement pour la souplesse dynamique générale, selon Gohier [27]. Rappelons que la coordination motrice est la capacité à réaliser un geste bien défini et précis grâce à l'action conjuguée du système nerveux central et de la musculature squelettique, avec un maximum d'efficacité (réussite de l'objectif visé), d'efficacité (coût énergétique maîtrisé) et de fiabilité (taux de reproductibilité élevé).

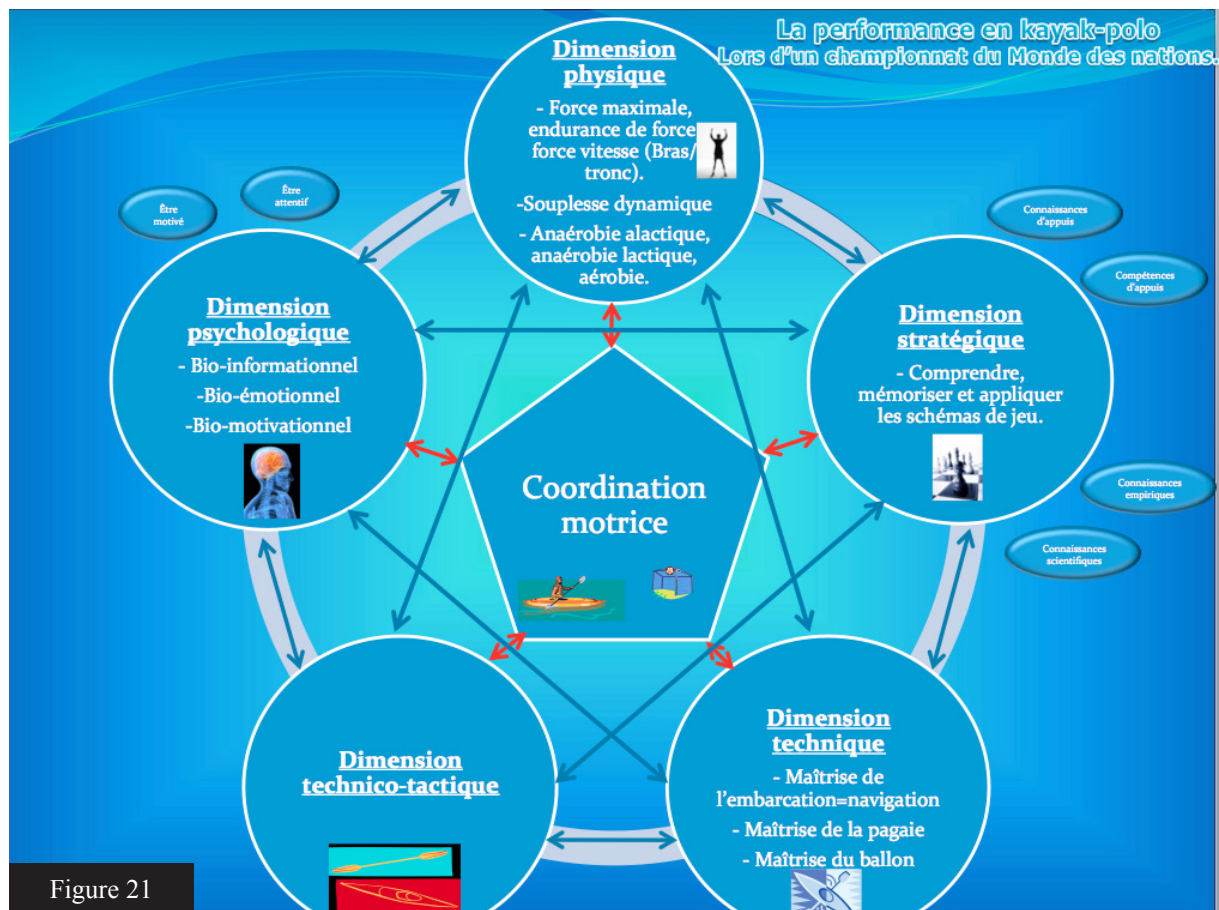


Figure 21

### 2. Résultats des tests

Nous avons réalisé deux études statistiques, la première entre un groupe de sujets contrôle et le groupe de kayakistes (test initial), et la deuxième entre les kayakistes du test initial et du test final (cf. annexe 3).

## 2.1. Première étude statistique : groupe sujets contrôle vs groupe kayakistes

*Description de la prise des mesures et des tests statistiques réalisés.*

Nous avons pris des mesures sur 8 kayakistes choisis de manière aléatoire et indépendante (3 mesures par kayakiste). De la même façon, nous avons pris des mesures sur 9 sujets contrôle. Le but était de comparer les deux groupes à travers l'étude des deux variables surface et vitesse moyenne après avoir réalisé quatre tests différents : chaise yeux ouverts (YO), chaise yeux fermés (YF), ballon yeux ouverts, ballon yeux fermés. Pour étudier les différences entre les deux groupes, nous avons eu recours au test de comparaison de moyennes entre les populations «kayakistes» et «non-kayakistes». Nous avons alors choisi de faire des tests de comparaison de moyennes entre échantillons indépendants, et des tests de comparaison de variance.

*Outil statistique utilisé :* Test de comparaison de moyennes entre deux échantillons indépendants. Ce test statistique comprend deux hypothèses :

- H0 (hypothèse nulle): Il y n'a pas de différence de moyenne ( $p\text{-value} > 0.05 = \alpha$ ),
- H1 (hypothèse alternative): Il y a une différence de moyenne, ( $p\text{-value} < 0.05 = \alpha$ ).

Dans tous les cas (paramétrique et non paramétrique), ce test ne nécessite pas l'égalité de taille des deux échantillons comparés, mais il existe des conditions d'application si nous voulons le réaliser pour un cas paramétrique (test T de Student = test paramétrique de comparaison de deux moyennes pour des échantillons de taille inférieure à 30, ce qui est effectivement notre cas). Dans le cas non paramétrique, le test U de Mann-Whitney ou Mann-Whitney-Wilcoxon (test non paramétrique de comparaison de deux moyennes de deux échantillons indépendants) est applicable.

*Conditions d'application dans le cas paramétrique :*

a) Normalité des distributions :

La distribution des populations (avec les deux échantillons à comparer) suit la loi normale, et cette condition se vérifie avec le test de Shapiro (test statistique pour vérifier la normalité de la distribution de la population dont nous avons tiré l'échantillon).

Les hypothèses de ce test sont les suivantes :

H0: Loi normale de la distribution de population échantillonnée ( $p\text{-value} > 0.05 = \alpha$ ),  
H1: Pas de normalité de la distribution de population échantillonnée ( $p\text{-value} < 0.05 = \alpha$ ).

b) Egalité des variances :

Les variances des populations doivent être comparables, cela se vérifie avec le test de comparaison de variances précité (test de comparaison des variances de Fisher-Snedecor).

Les hypothèses de ce test sont les suivantes :

H0: Egalité des variances des 2 échantillons ( $p\text{-value} > 0.05 = \alpha$ ),  
H1: Différence des variances des 2 échantillons ( $p\text{-value} < 0.05 = \alpha$ ).

NB: l'égalité de variances influence le test de Student pour le calcul de p-value du test. Si les conditions d'application du cas paramétrique ne sont pas toutes vérifiées, nous sommes automatiquement dans le cas non paramétrique.



- Résultats du test de Shapiro (test d'adéquation à la loi normale)

	Surface (mm <sup>2</sup> )	Vitesse moyenne (mm/s)
<b>Chaise YO</b>	Pas de normalité	Pas de normalité
<b>Chaise YF</b>	Pas de normalité	Pas de normalité
<b>Ballon YO</b>	Pas de normalité	Pas de normalité
<b>Ballon YF</b>	Normalité	Pas de normalité

- Résultats du test de comparaison de variances (Fisher-Snedecor)

	Surface (mm <sup>2</sup> )	Vitesse moyenne (mm/s)
<b>Chaise YO</b>	Pas d'égalité de variances	Pas d'égalité de variances
<b>Chaise YF</b>	Pas d'égalité de variances	Pas d'égalité de variances
<b>Ballon YO</b>	Pas d'égalité de variances	Pas d'égalité de variances
<b>Ballon YF</b>	Egalité de variances	Egalité de variances

Plus la variance d'une population est grande, plus les valeurs dans cette population sont écartées. Donc si les variances ne sont pas égales, alors les populations ne sont pas distribuées de la même façon.

- Résultats du test de comparaison de moyennes (Student ou Mann-Whitney-Wilcoxon)

En suivant les résultats des tableaux précédents, nous savons dans quel cas nous allons effectuer le test de comparaison de moyennes. Si nous avons «normalité» et «égalité de variances» alors nous sommes dans le cas paramétrique (test de Student). Sinon, nous sommes dans le cas non paramétrique (test de Mann-Whitney-Wilcoxon).

	Surface (mm <sup>2</sup> )	Vitesse moyenne (mm/s)
<b>Chaise YO</b>	Pas de différence	Différence significative
<b>Chaise YF</b>	Différence significative	Différence significative
<b>Ballon YO</b>	Différence significative	Différence significative
<b>Ballon YF</b>	Pas de différence	Différence significative

### Constatations et interprétations :

Nous avons réussi à rejeter H<sub>0</sub>: «il n'y a pas une différence entre les deux moyennes» dans 6 tests (sur 8). Pour la variable vitesse moyenne des oscillations (mesurée en mm/sec), il y a une différence significative entre les kayakistes et les non-kayakistes dans toutes les conditions.

**Autrement dit, les kayakistes ont une vitesse plus réduite dans toutes les conditions.** Pour la variable surface des oscillations (mesurée en mm<sup>2</sup>), les exercices chaise YF et ballon YO

montrent la différence significative de maîtrise entre les kayakistes et les non-kayakistes. Autrement dit, **les kayakistes produisent moins d'oscillations (antéro-postérieures et médio-latérales) en conditions chaise YF et ballon YO**. L'exercice chaise YO est l'exercice le plus simple, ce qui explique que nous ne sommes pas arrivés à trouver une différence significative entre les deux groupes. L'exercice ballon YF est le plus difficile à réaliser. Néanmoins, nous ne sommes pas arrivés à trouver une différence de contrôle postural entre les kayakistes et les autres. Peut-être est-ce dû à la difficulté de l'exercice ayant empêché les kayakistes d'être meilleurs que les non-kayakistes (pour les sujets contrôle ayant réussi). Comme la moitié des sujets du groupe contrôle n'ont pas réussi l'exercice ballon YF, on a introduit une variable aléatoire appelée «nombre d'échecs dans l'exercice ballon YF». Dans l'exercice ballon YF, il y a 12 échecs de mesure dans le groupe contrôle (sur 27), en mesurant chacune des deux variables surface et vitesse moyenne. Ce qui aboutit à 55.5% de réussite dans cette configuration pour les sujets contrôle. Par contre, l'exercice ballon YF a été réussi à 100% dans le groupe de kayakistes (figure 22).

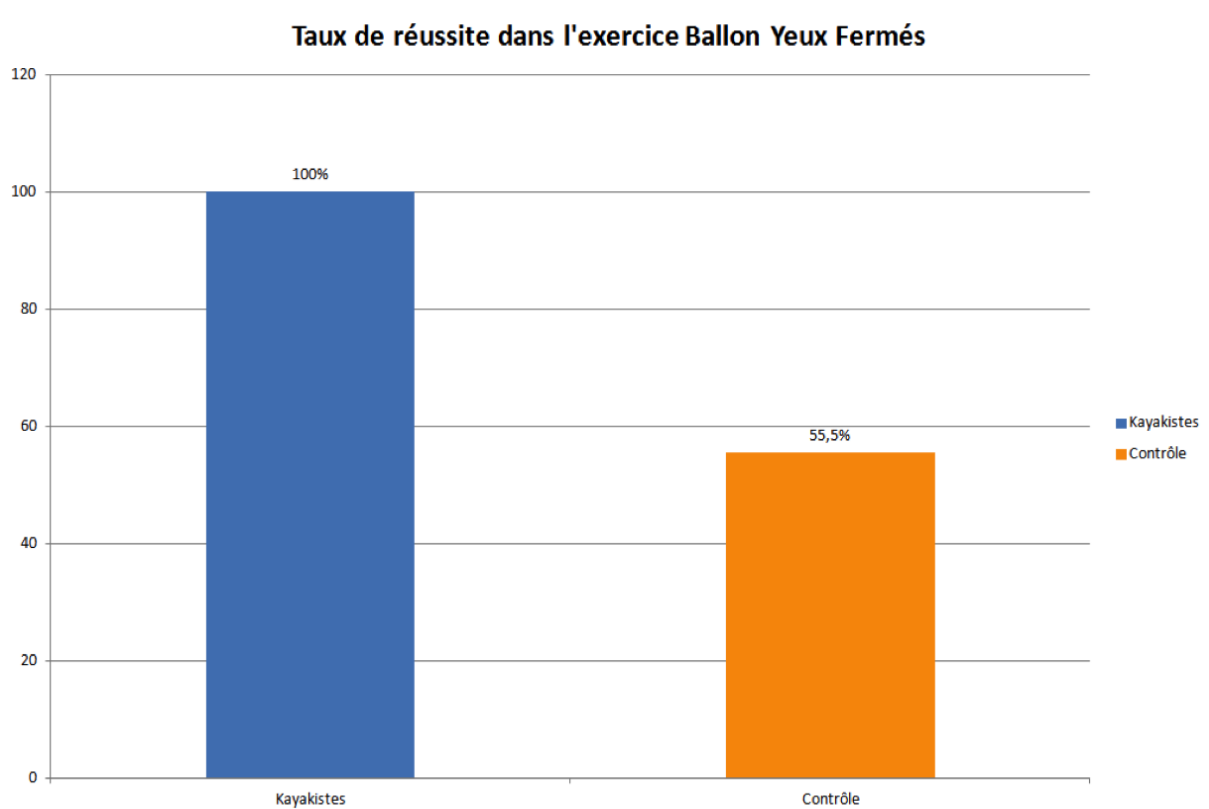


Figure 22

### *Conclusion :*

**Nous trouvons une différence significative en faveur du groupe kayakiste (vs groupe contrôle) pour la surface et pour la vitesse moyenne au niveau du contrôle postural au cours des quatre tests (chaise YO, chaise YF, ballon YO, ballon YF).**

### **2.2 Seconde étude statistique : groupe kayakistes (test initial) vs groupe kayakistes (test final)**

*- Description de la prise de mesures et des tests statistiques effectués :*

Nous avons mesuré deux variables aléatoires (surface et vitesse moyenne) sur 8 kayakistes, dans quatre tests différents (chaise YO, chaise YF, ballon YO, ballon YF). Pour chaque kayakiste, et avec chaque test, nous avons effectué trois prises de mesures (résultats des moyennes présentés en annexe 4). Le but des tests statistiques est de montrer qu'il y a une différence significative entre les deux prises de mesures pour tous les kayakistes et pour chaque test. Il s'agit d'effectuer un test de comparaison de moyennes sur des échantillons appariés (par paires, donc échantillons de valeurs prises deux fois sur les mêmes individus). Nous allons réaliser ce test de comparaison de moyennes quatre fois (car quatre tests différents) pour chaque variable (surface et vitesse moyenne). Par exemple, si nous prenons le test ballon YF et la variable surface, le test statistique consiste à comparer le premier échantillon de valeurs de la variable surface avec le deuxième échantillon de valeurs de la même variable. Le but du test statistique consiste à montrer qu'il existe une différence significative entre les deux échantillons comparés. Nous utilisons le T-test ou test de Student dans le cas paramétrique, et le test U de Wilcoxon-Mann-Whitney dans le cas non-paramétrique.

#### *- Conditions d'application des tests*

Dans le cas paramétrique, il faut vérifier les conditions suivantes sur les échantillons: variable quantitative, indépendance des observations, échantillons de populations avec distribution normale, échantillons de populations avec variances égales. Le test alternatif au test de Student lorsque les conditions de son application ne sont pas vérifiées correspond au cas non-paramétrique: Lorsque les échantillons ne suivent pas la loi normale et que les variances ne sont pas égales, on est bien dans le cas non paramétrique et on applique le test U de Wilcoxon-Mann-Whitney. Par exemple, lors du test chaise YO par exemple, nous voulons comparer les deux échantillons mesurés sur la variable surface (surface 1 et surface 2) correspondant aux deux mesures. Surface 1 est l'échantillon qui contient toutes les valeurs des premières mesures prises sur tous les kayakistes. Surface 2 est l'échantillon qui contient toutes les valeurs des deuxièmes mesures prises sur tous les kayakistes. Pour réaliser le test statistique de Student, il faut vérifier si surface 1 et surface 2 remplissent les conditions d'application de ce test. Sinon, nous sommes dans le cas non-paramétrique et nous réalisons le test de Wilcoxon-Mann-Whitney. Cette procédure est répétée pour tous les échantillons.

#### *- Condition d'égalité des tailles des échantillons et solution en cas où elle n'est pas vérifiée :*

L'autre contrainte détermine la condition d'égalité des tailles des échantillons pour réaliser ces tests, car les échantillons sont appariés. Pour cela, si un échantillon est de taille plus petite que l'autre, nous considérons qu'il manque des données et nous le complétons par la moyenne de ses valeurs jusqu'à ce sa taille devienne égale à celle de l'autre échantillon (plus grand).

#### *- Mise en pratique des tests statistiques :*

Les hypothèses d'un test de comparaison des moyennes de deux échantillons appariés sont:

H0 (hypothèse nulle) : pas de différence entre les deux moyennes,

H1 (hypothèse alternative) : différence entre les deux moyennes.

Le but du test est de rejeter H0. On calcule la p-value et on la compare au risque  $\alpha = 0.05$ .

Si  $p\text{-value} < \alpha$ , alors on rejette H0. Sinon, on ne rejette pas H0.

Nous avons utilisé le logiciel de calculs statistiques R pour finaliser ces tests.

#### *- Résultats des tests statistiques :*

Voici le tableau récapitulatif des résultats (selon le risque  $\alpha$ ) des 8 tests effectués :



p-value>alpha: OUI=égalité (pas de différence)  
p-value<alpha: NON=pas d'égalité (différence)

► Donc on voudrait voir plutôt plus de NON que des OUI.

	Surface (mm <sup>2</sup> )	Vitesse moyenne (mm/s)
<b>Chaise Yeux Ouverts</b>	OUI	OUI
<b>Chaise Yeux Fermés</b>	OUI	OUI
<b>Ballon Yeux Ouverts</b>	NON	OUI
<b>Ballon Yeux Fermés</b>	NON	NON

*Conclusions :*

**1. Nous avons réussi à rejeter H<sub>0</sub>: «il n'y a pas une différence entre les deux moyennes» dans 3 tests statistiques sur 8 tests statistiques calculés au total.**

**2. Il y a une différence significative entre les valeurs de la variable «surface» entre la première et la deuxième mesure pour les deux tests ballon yeux ouverts et ballon yeux fermés.**

**3. Il y a aussi une différence significative entre les valeurs de la variable vitesse moyenne entre la première et la deuxième mesure dans le test ballon yeux fermés.**

*Remarques :*

L'analyse individuelle des résultats des moyennes des kayakistes (entre test initial et test final) montre les résultats suivants :

- pour la variable surface :

1. Test Chaise Yeux Ouverts, 6 sur 8 (75 %) ont amélioré leur score ;
2. Test Chaise Yeux Fermés, 6 sur 8 (75 %) ont amélioré leur score ;
3. Test Ballon Yeux Ouverts, 6 sur 8 (75 %) ont amélioré leur score ;
4. Test Ballon Yeux Fermés, 8 sur 8 (100 %) ont amélioré leur score.

- pour la variable vitesse moyenne :

1. Test Chaise Yeux Ouverts, 5 sur 8 (62,5 %) ont amélioré leur score ;
2. Test Chaise Yeux Fermés, 4 sur 8 (50 %) ont amélioré leur score ;
3. Test Ballon Yeux Ouverts, 6 sur 8 (75 %) ont amélioré leur score ;
4. Test Chaise Yeux Fermés, 7 sur 8 (75 %) ont amélioré leur score.

Pour les deux variables retenues, le score maximum de 100% (surface) et 75% (vitesse moyenne) est validé avec le test le plus discriminant, ballon yeux fermés. On enregistre aussi des améliorations supérieures à 50% avec les autres tests, en dépit de la fatigue accumulée au fil du stage.

### 3. Discussion

Pour la première étude statistique, le pourcentage d'échecs sur ballon yeux fermés est voisin de 50 %, avec 4 sujets contrôle kinésithérapeutes sur 9 qui ont l'habitude d'utiliser le ballon et ont donc développé une expertise sur swiss-ball. On peut conjecturer que ce pourcentage aurait sans doute été supérieur avec des sujets à 100 % novices sur ballon. Le résultat le plus probant est représenté par la différence significative dans les quatre tests pour la vitesse moyenne en faveur des kayakistes. Cela signifie que les kayakistes, lorsqu'ils sont déséquilibrés, ont un meilleur retour, plus progressif, à l'équilibre initial, avec une vitesse moyenne mieux ajustée, par rapport aux sujets du groupe contrôle.

Pour la deuxième étude statistique, la variable surface est améliorée significativement, sur ballon, à la fois yeux ouverts et yeux fermés, et la variable vitesse moyenne est améliorée significativement sur ballon yeux fermés. La progression constatée des kayakistes, dans ces conditions de mesures, peut être corrélée au meilleur placement et à la mobilité optimisée de leur bassin. En effet, placement et mobilité du bassin ont été travaillés quotidiennement pendant l'atelier postural et proprioceptif. La mobilité antéro-postérieure (par le travail en antéversion/rétroversion du bassin) diminue les oscillations antéro-postérieures. Et la mobilité médio-latérale (par le travail de bascule du bassin) diminue les oscillations latérales. Au final, la stabilité générale est améliorée. Les kayakistes ont donc développé à l'issue du protocole sur le dispositif innovant une aptitude supérieure à l'équilibre entre le test initial et le test final. Avec moins d'oscillations du centre des pressions et une vitesse moyenne de rattrapage du déséquilibre optimisée, notamment dans la situation la plus délicate (ballon yeux fermés), nous pouvons affirmer un degré d'expertise augmenté pour le contrôle postural des kayakistes à l'aide du dispositif innovant.

Cependant, nous pouvons souligner que la performance enregistrée au test final a été amoindrie par la fatigue de cette semaine intensive - stage préparatoire aux Championnats du Monde (jusqu'à 3 séances quotidiennes), comme le remarque Degache [12]. Et selon Paillard T. [51], la perte de force peut atteindre 30 % de la contraction maximale volontaire du sujet pour les séances intensives (analogues à l'entraînement en kayak-polo), avec de plus altération des entrées sensorielles et des sorties motrices du contrôle postural. Pour cette raison-là, nous estimons que la progression au test final est sous-estimée en raison de la charge d'entraînement très importante pendant le stage.

Nous avons aussi procédé à un test de Sorensen (endurance des extenseurs du tronc) dont nous éludons les résultats en raison de l'épuisement musculaire des kayakistes manifesté dans cette zone-là, et de leur baisse de résultats entre test initial et test final. Seuls trois sur huit ont diminué leur temps au test de Sorensen (photo 40), quatre sur huit ont augmenté leur temps et un kayakiste n'a pas pu le réaliser. A ce sujet, Vuillerme et al. [65] ont montré que la fatigue des extenseurs du tronc détériore le contrôle postural. Différentes stratégies posturales de compensation sont alors mises en jeu pour limiter la désorganisation posturale, ce qui peut expliquer la progression partielle constatée au test final, en dépit de la fatigue générale accumulée au cours du stage pour l'ensemble du groupe.

Photo 40



## 4. Contrôle

### **4.1. Relatif aux difficultés rencontrées par les athlètes (feed-back)**

Pour les points négatifs, les kayakistes de l'Equipe de France auraient souhaité bénéficier d'une présentation en amont du protocole, avant le stage (par mail par exemple). Le protocole a été envoyé au directeur des Equipes de France qui en a informé les entraîneurs avant le stage. Puis, l'information a été relayée aux athlètes de vive voix lors de la réunion de présentation du premier jour de stage. Certains kayakistes nous ont fait part de la forme des sièges induisant une propension importante à la position en rétroversion. Ils ont été unanimes à nous informer de la fatigue importante du stage qui s'ajoute à celle des cinq week-ends précédents de compétitions (Championnat de France et Tournoi des As). Par ailleurs, les séances ont été prises sur leur temps de récupération (souvent trois séances quotidiennes d'entraînement), ce qui constitue une difficulté supplémentaire.

Pour les points positifs, certains ont intégré une prise de conscience réelle de la position du bassin grâce à l'atelier de proprioception lombo-pelvienne. D'autres nous ont fait part de leur progression à l'équilibre sur 2 ballons entre le test initial et le test final sur plate-forme stabilométrique. Tous ont remarqué l'intérêt de ce travail spécifique sur le dispositif innovant avec les deux ballons, notamment pour le gain d'équilibre dynamique, avec moins d'oscillations posturales antéro-postérieures et médio-latérales, pour la fluidité gestuelle et l'économie musculaire corrélées, et pour la nette amélioration du coup de pagaie.

Enfin, tous les kayakistes ont été unanimes dans leur ressenti pour la difficulté de réalisation en condition sur ballon yeux fermés (plus d'oscillations posturales et davantage de mouvements parasites créés), et donc de son intérêt pour la performance.

### **4.2. Relatif à la problématique étudiée**

De manière générale, toutes les données sensorielles (visuelles, proprioceptives et labyrinthiques) sont intégrées au niveau du cervelet pour adapter en permanence les commandes motrices au contrôle postural. Pour le contrôle de la posture assise, l'intégration de multiples informations sensorielles privilégie la vision (sans doute la plus puissante, la plus stabilisante, pour laquelle on parle de « béquille visuelle »).

Autrement dit, nous pouvons penser qu'avec des informations visuelles aussi prédominantes, l'effet de manipulations autres sur le contrôle de la posture assise pourrait être minime, voire nul en condition yeux ouverts. Nos résultats statistiques montrent que c'est effectivement le cas,

donc il n'y a pas de différences entre le test initial et le test final les yeux ouverts.

Par contre, en l'absence d'information visuelle, le sujet doit optimiser l'utilisation d'autres informations sensorielles et de systèmes neuromusculaires disponibles. Les cadres stabilisateurs pour assurer l'équilibre dynamique des sujets ont été particulièrement utiles, notamment en position assise sur ballon avec les yeux fermés. Si nous manipulons expérimentalement les facteurs sensoriels et neuromusculaires, le contrôle de la posture assise s'en trouve largement modifié.

Les résultats statistiques montrent que le contrôle en position assise est affecté, donc il existe des différences significatives entre le test initial et le test final les yeux fermés.

## VI. CONCLUSION

---

La position assise du kayakiste favorise la rétroversion et est pourvoyeuse de lombalgie commune. A travers cette approche, nous avons eu pour but de concevoir et de mettre en œuvre un dispositif simple, spécifique et adapté afin de prévenir ou de diminuer l'occurrence de cette pathologie pour la pratique du canoë-kayak.

Notre protocole expérimental comprend un test initial d'équilibre assis sur swiss-ball, un atelier de prise de conscience et de contrôle postural et proprioceptif, un dispositif innovant destiné à l'optimisation (gestuelle et rachidienne) du kayakiste, et enfin un test final d'équilibre assis sur swiss-ball. Des mesures de la surface (en mm<sup>2</sup>) et de la vitesse moyenne (en mm/s) sont pratiquées à l'aide d'une plateforme stabilométrique et traitées ensuite statistiquement.

Lors d'une première étude statistique du groupe kayakiste vs groupe contrôle, nous constatons une différence significative en faveur du groupe kayakiste pour la surface et pour la vitesse moyenne au niveau du contrôle postural au cours des quatre tests (chaise yeux ouverts, chaise yeux fermés, ballon yeux ouverts, ballon yeux fermés). Lors d'une seconde étude statistique des kayakistes entre test initial et test final, nous avons montré une différence significative entre les deux moyennes de trois tests statistiques sur huit, pour la surface entre la première et la deuxième mesure du test ballon yeux ouverts et ballon yeux fermés, et pour la vitesse moyenne entre la première et la deuxième mesure du test ballon yeux fermés. Par ailleurs, l'analyse individuelle des résultats des moyennes des kayakistes (entre test initial et test final) démontre que pour les deux variables retenues dans notre étude (surface et vitesse moyenne), le score maximum de 100% (surface) et 75% (vitesse moyenne) est validé avec le test le plus discriminant, ballon yeux fermés, ce qui est très probant. On enregistre aussi des améliorations supérieures à 50% avec les autres tests, en dépit de la fatigue accumulée au fil du stage.

Par conséquent, les résultats des tests statistiques pratiqués montrent une amélioration significative ( $p$ -value < 0.05) des performances stabilométriques des athlètes grâce à notre dispositif innovant mis en place, adapté à la pratique du kayak, en association avec l'atelier postural et proprioceptif.

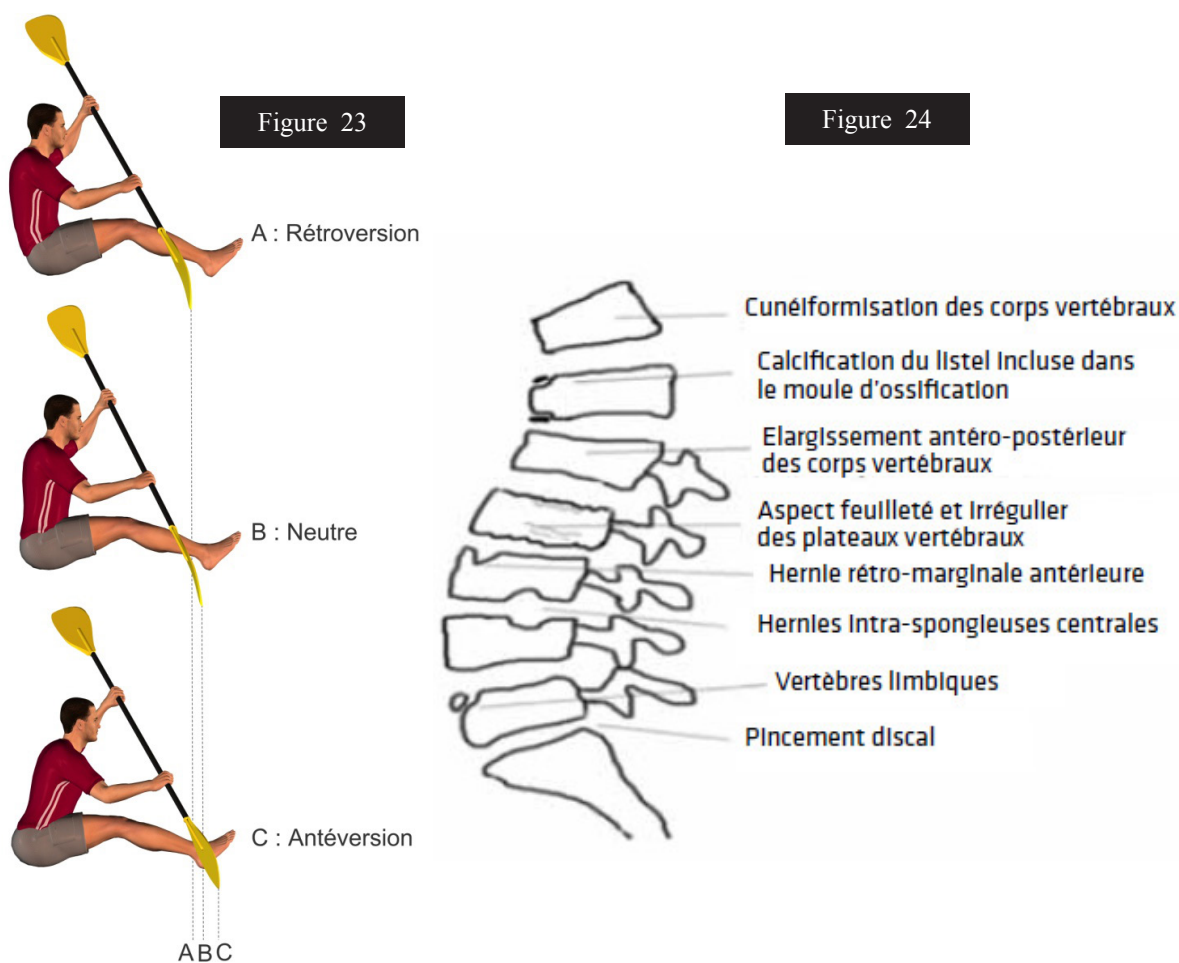
Cette progression sur une semaine de stage reste désormais à valider sur une saison, une olympiade, une carrière. C'est pourquoi ce type de protocole (relativement simple à mettre en place) nous paraît pertinent à introduire en début de saison, par exemple au sein d'un pôle d'excellence sportive, puis à reproduire en fin de saison pour constater la progression des paramètres surface et vitesse moyenne sur une plate-forme stabilométrique. Pour cela, il nous paraît opportun de promouvoir et de mettre en place la plus large utilisation de ce dispositif innovant, en raison de sa simplicité, au sein des structures fédérales du canoë-kayak. En effet, un espalier, des élastiques et deux ballons peuvent trouver place facilement dans la salle de musculation du pôle ou le local du club. La collaboration la plus large des acteurs sportifs (Haddad et al.[30]) pourrait alors être mise en œuvre, en accord avec la Fédération Française de Canoë-Kayak, notamment pour les sportifs mineurs accédant au haut-niveau en canoë-kayak.

Notre démarche de prévention de la lombalgie du kayakiste peut se déployer en trois volets :

- en préparation physique dans un but de prévention des blessures, en favorisant un développement de la souplesse lombaire selon Gohier [27], une harmonisation des tensions musculaires, une limitation des attitudes vicieuses et des mouvements parasites selon Rodineau [55], et une économie gestuelle dans la technique de navigation selon Krabak et Kennedy [36] ;

- pour l'entraînement, en autorisant une moindre fatigabilité à l'effort (rendement optimisé du coup de pagaie, cf. [figure 23](#)) et en fournissant une aide ciblée et spécifique aux techniciens du canoë-kayak en vue de la détection de talents en haut-niveau ;

- dans le cadre du suivi médical, en permettant de déceler précocement des pathologies rachidiennes de type dystrophie vertébrale de croissance (DVC) ou maladie de Scheuermann, maladie des hyperpressions sur le corps vertébral ([figure 24](#)) caractérisée par trois signes pathognomoniques (cyphose rigide, cunéiformisation des corps vertébraux, période de croissance).



Le ressenti de chacun est aussi à prendre en compte dans l'évaluation de la progression à la fois technique, mais aussi proprioceptive et posturale. Ce travail ciblé et individualisé de contrôle postural en position assise, d'entraînement proprioceptif du bassin, d'amélioration technique de la gestuelle et de prévention de la lombalgie commune nous apparaît nécessaire en vue de maintenir l'intégrité rachidienne du kayakiste et d'optimiser la performance à haut-niveau. Nous préconisons donc ce suivi à la fois en kayak-polo, mais aussi pour les autres disciplines fédérales du canoë-kayak, où la position assise prolongée est susceptible de favoriser la fixation du bassin en rétroversion et d'entraîner en corollaire des lésions rachidiennes à l'étage lombaire notamment. Assimiler, s'approprier, se perfectionner, acquérir une expertise de la cinétique pelvienne grâce à notre approche posturale et proprioceptive pourrait alors constituer un atout supplémentaire pour maximiser une progression personnalisée et motivante de chaque kayakiste, dans son environnement sportif spécifique.



## VII. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

---

- [1] AINSCOUGH-POTTS A.-M. et al., The response of the transverse abdominis and internal oblique muscles to different postures, in *Manual Therapy*, 2005 : 54-60.
- [2] ARLETTAZ A. et al., Evaluation des masses musculaires et des densités osseuses régionales chez des kayakistes de haut niveau, in *Science et Sports*, 2003 : 19, 199-201.
- [3] BARD H., Rachis et sport : épidémiologie, principales pathologies et prévention, in *Profession Kiné*, 36, septembre 2012 : 70-75.
- [4] BENNETOT D., Traiter la lombalgie commune : « l'œuf ou la poule », in *Profession Kiné*, 36, septembre 2012 : 21-26.
- [5] BOUISSET S., Capacité posturo-cinétique stabilisation et performance motrice, in Rougier et Lacour, *Posture & Equilibre*, Solal, Marseille, 2006 : 37-62.
- [6] BOUISSET S., MATON B., *Muscles, posture et mouvement*. Paris, Herman, 1996.
- [7] BOUVARD M. et al., Traumatologie du canoë-kayak en eaux vives, 10<sup>ème</sup> congrès *Société Française de Traumatologie du Sport*, 1999.
- [8] BRUNET-GUEDJ E. et al., *Médecine du Sport*, 7<sup>ème</sup> édition, Paris, Masson, 2006 : 126-130.
- [9] COLLE F., La lombalgie chez le sportif, in *Santé, Sport, Préparation Physique*, 2006 : 16-17.
- [10] CURRALADAS J., CALAIS-GERMAIN B., *Rééducation en résistance progressive*, Désiris, Méolans-Revel, 2008.
- [11] DAULOUEDE C., Voyage au cœur du disque, in *Sport et Vie*, 125, mars-avril 2011, 20-21.
- [12] DEGACHE F., Ivre de fatigue, in *Sport et Vie*, 137, mars-avril 2013, 10-17.
- [13] DELAIRE M., FORSTER J., La résistance élastique progressive : historique et principes de base, in *Kinésithérapie la Revue*, 2009 : 94 : 30-33.
- [14] DELAIRE M., FORSTER J., Modalités d'utilisation des résistances élastiques progressives, in *Kinésithérapie la Revue*, 2009 : 94 : 34-41.
- [15] DESAI I., MARSHALL P.-W., Acute effect of labile surfaces during core stability exercises in people with and without low-back pain, in *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 2010: volume 20(6), 1155-1162.
- [16] DESNUS B., Lombalgie commune aiguë : le patient expert, in *La Revue du Praticien*, 2006 : 20, 744/745 : 993-994.
- [17] DUBOIS F., Approche de la pathologie rencontrée lors de la pratique du kayak, in *Thèse de Médecine*, 1987 : 34-36.
- [18] DUFOUR D. et al., Ecole du dos : prévention des lombalgies, in *Kinésithérapie Scientifique*, 2012 : 529 : 33-41.
- [19] DUNCAN M., Muscle activity of the upper and lower rectus abdominis during exercises performed on and off a Swiss ball, in *Journal of Body Work and Movement Therapies*, 2009: 13 : 364-367.
- [20] DUPUI P., MONTROYA R., Approche physiologique des analyses posturographiques statiques et dynamiques, *Physiologie, Techniques, Pathologies*, in *Posture et Equilibre*, Solal, Marseille,



2003 : 13-29.

[21] DURAND F. et al., Le discours technique en canoë-kayak, FFCK, 2005.

[22] ELEFThERIOU K., Canoeing injuries and kayaking injuries, in *The Sports Injury Doctor*, 2012.

[23] ESNAULT M., VIEL E., Stretching, Etirement par chaînes musculaires illustrées, Masson, 2002 : 92-100.

[24] ESTRADÉ J.-L., Quoi de neuf depuis la conférence de consensus sur les lombalgies?, in *Kinésithérapie Scientifique*, 2012 : 536 : 63-66.

[25] FFCK, Animer pour gagner, 2002 : 38-42.

[26] FIORE D.C., HOUSTON J.D., Injuries in whitewater kayaking, in *British Journal Sports Medicine*, 2001 : 35, 235-241.

[27] GOHIER M., Les facteurs de la performance en kayak-polo, in *Echo des Pôles*, FFCK, juillet 2012, 19 : 9-14.

[28] GROSGEORGES B., A propos de l'utilisation des fit-balls pour améliorer le gainage, in *Sport Santé Préparation Physique*, 26, novembre 2004.

[29] GUILLARME G., XHARDEZ Y., Rééducation abdomino-expiratoire par le concept abdo-MG, in *Kinésithérapie Scientifique*, 2007 : 476 : 35-49.

[30] HADDAD A. et al., Actualités rhumatologiques en médecine du sport, Elsevier, 2010 : 196-197.

[31] HAUTE AUTORITE DE SANTE, Référentiel concernant la rééducation en cas de lombalgie commune, 2011.

[32] JANIN M., Sensibilité et motricité podales : leur influence sur le contrôle des activités posturo-cinétiques de sujets sains et pathologiques, Thèse STAPS, Université Toulouse, 2009 : 9-14.

[33] JOHANSON E. et al., The effect of acute back muscle fatigue on postural control strategy in people with and without recurrent low-back pain, in *European Spine Journal*, 2011 : 20, 2152–2159.

[34] KEEGAN J.-J., Alterations of the lumbar curve related to posture and seating, in *Journal of Bone Joint Surgery*, 1953: 35A (3), 589-603.

[35] KELLER D. et al., Le canoë-kayak, Chiron, 2005 : 73-96.

[36] KRABAK B., KENNEDY D.J., Functional rehabilitation of lumbar spine injuries in the athlete, in *Sports Medical Arthroscopic Revue*, volume 16, 1, mars 2008, 47-54.

[37] KRUPNICK et al., Injuries sustained during competitive white-water paddling: a survey of athletes in the 1996 Olympic trials, in *Wilderness Environmental Medicine*, 1998 : volume 9, 14-18.

[38] LECOCQ J. et al., Traumatologie du sport et technopathies, Intérêt du stretching musculo-aponévrotique dans la prévention et le traitement des lombalgies du sportif, in *Science et Sports*, 2000 : 15, 295-301.

[39] LECOLIER D., Evaluation et renforcement musculaire des abdominaux dans le cadre des lombalgies communes (1, 2), in *Kinésithérapie Scientifique*, 2012 : 528, 60-62, 529 : 58-60.

- [40] MAGNUSSON M.L. et al., Unexpected load and asymmetric posture as etiologic factors in low back pain, in *European Spine Journal*, 1996: 5, 23-35.
- [41] MAIGNE R., Douleurs d'origine vertébrale : comprendre, diagnostiquer et traiter, Elsevier, 2006.
- [42] MARRAS W.S. et al., Spine loading in patients with low back pain during asymmetric lifting exertions, in *The Spine Journal*, 2004: 4, 64-75.
- [43] MASSION J. De Marey à nos jours : un siècle de recherche sur la posture et le mouvement, in Rougier et Lacour, collection Posture et Equilibre, Solal, Marseille. 2006 : 17-36.
- [44] MOK N.-W. et al., Changes in lumbar movement in people with low-back pain are related to compromised balance, in *Journal of Orthopaedics Sports and Physiotherapy*, 2010 : 40(7), 439-446.
- [45] NOBLET S., Etude morphologique du complexe lombo-pelvien du sportif dans le plan sagittal, in *Kinésithérapie Scientifique*, 2009 : 500 : 30-46.
- [46] NORRIS C.M., Spinal stabilisation, 3. Stabilisation Mechanisms of the Lumbar Spine, in *Physiotherapy*, 1995: volume 81, no 3 : 138-145.
- [47] NORRIS C.M., Spinal stabilisation, 5. An Exercise Program to Enhance Lumbar Stabilisation, in *Physiotherapy*, 1995: volume 81, no 3 : 138-145.
- [48] OLIVIER N. et al., Bénéfices à court terme d'un programme de réentraînement à l'effort pour lombalgies chroniques, in *Science et Motricité*, 2007 : 61, 73-87.
- [49] PAILLARD J., Le pilotage du moteur musculaire : la contribution des neurosciences à l'étude des activités physiques et sportives, in *Eléments de Neurobiologie des comportements moteurs*, INSEP, Paris. 1982 : 9-35.
- [50] PAILLARD J., Les niveaux sensori-moteur et cognitif du contrôle de l'action, in *Recherches en activités physique et sportives*, 1985 : 147-163.
- [51] PAILLARD T., Revue des effets de la fatigue générale et locale sur le contrôle postural, in *Neurosciences and Biobehavioral Reviews*, 36, 2012 : 162-176.
- [52] PINSULT N. et al., Test-reliability of cervicocephalic relocation test to neutral head position, in *Physiotherapy Theory and Practice*, 2008: 24(5), 380-391.
- [53] PORTERO P., La colonne vertébrale : organisation anatomique, in *Santé, Sport, Préparation Physique*, 11, avril 2005.
- [54] RENKAWITZ T. et al., The association of low back pain, neuromuscular imbalance and trunk extension strength in athletes, in *The Spine Journal*, 2006: Issue 6, 673-683.
- [55] RODINEAU J., Rachis et Sport, 28ème Journée de Traumatologie du Sport, Elsevier, 2011.
- [56] STANTON R. et al., The effect of swiss ball training on core stability and running economy, in *Journal of Strength and Conditional Research*, 2004:18(3), 522-528.
- [57] STONE J., Fun and fitness with the Swiss Ball, in *Kayak Session*, 2011: 38, 68.
- [58] STONE J., Chronic injuries, in *Kayak Session*, 2012: 41, 74.
- [59] STONE J., Back pain and kayaking, in *Kayak Session*, 2013: 45, 66.
- [60] THOUMIE P., MEVELLEC E., Physiologie de l'équilibration, in *Association Nationale des*

*Médecins Spécialistes en Rééducation, Médecine Physique et Réadaptation*, no 59, 2ème trimestre 2001.

[61] VAILLANT J., VUILLERME N., Rachis lombaire : douleur, proprioception, posture (1), in *Kinésithérapie Scientifique*, 2011 : 524 : 43-44.

[62] VAILLANT J., VUILLERME N., Rachis lombaire : douleur, proprioception, posture (2), in *Kinésithérapie Scientifique*, 2011 : 525 : 65-67.

[63] VIEL E., CHANUSSOT J.-C., Les dérives de la rééducation proprioceptive : analyse critique, in *Kinésithérapie Scientifique*, 2008 : 492, 105-106.

[64] VOLCKMANN P., La lombalgie chronique : principes rééducatifs actuels dans la prise en charge des lombalgies chroniques, in *Kiné Actualité*, 2012 : 1273, 20-23.

[65] VUILLERME N. et al., Trunk extensors muscles fatigue affected understurbed postural control in young healthy adults, in *Clinical Biomechanics*, 22: 489–494.

[66] WILKE H.-J. et al., New In Vivo Measurements of Pressures in the Intervertebral Disc in Daily Life, in *Spine*, 1999: Volume 24, Issue 8, 755-757.

[67] ZIANE R., Muscles superficiels et muscles profonds : prise en compte en préparation physique, in *Sport, Santé, Préparation Physique*, 2009 : 24.

[68] ZIANE R., La proprioception : fonctions d'un sixième sens, in *Sport Santé Préparation Physique*, 2004 : 4.

## VIII. ANNEXES

---

### 1. Glossaire technique

<b>Appel :</b>	coup de pagaie destiné à déplacer le bateau latéralement.
<b>Appui :</b>	utilisation dynamique de la pagaie pour conserver l'équilibre du bateau.
<b>Assiette :</b>	horizontalité du bateau dans le sens longitudinal.
<b>Attaque :</b>	début de l'immersion de la pale dans l'eau pendant le coup de pagaie.
<b>Contre-gîter :</b>	modifier le sens de la gîte, rétablir l'inclinaison du bateau suite à une gîte.
<b>Déhanché :</b>	redressement du bateau à l'aide d'un coup de hanche ; sert notamment pendant l'esquimautage.
<b>Dégagé :</b>	sortie de la pale de l'eau en fin de propulsion.
<b>Ecart :</b>	manœuvre d'écartement de la pointe, par appui de la pale dans l'eau en se servant de l'effet de levier.
<b>Gîter :</b>	incliner latéralement le bateau.
<b>Pale :</b>	partie plus ou moins plate de la pagaie, servant à prendre appui sur l'eau.
<b>Passée dans l'eau :</b>	temps de propulsion de la pagaie dans l'eau.
<b>Portance :</b>	volume du bateau permettant d'être plus ou moins porteur sur l'eau.
<b>Propulsion :</b>	action consistant à faire avancer droit le bateau à l'aide de la pagaie.
<b>Propulsion circulaire :</b>	idem, en faisant tourner le bateau.
<b>Rétropulsion :</b>	manœuvre de recul du bateau avec le dos de la pale, de l'arrière vers l'avant.



## 2. Questionnaire : les blessures en canoë-kayak

---

### • Informations générales

---

1. **Sexe** :  M  F
2. **Poids** : ..... kg
3. **Taille** : ..... cm
4. **Age** :  15-24 ans  25-39 ans  plus de 40 ans

### • Pratique sportive :

---

5. **Ancienneté de la pratique** :  - de 5 ans  entre 5 et 10 ans  + de 10 ans
6. **Type d'embarcation** :  canoë  kayak  autre
7. **Discipline** :  slalom  course en ligne  descente  kayak polo  
 autre
8. **Niveau** :  loisir  compétition  professionnel
9. **Compétiteur** :  départemental  régional  national  international
10. **Volume d'entraînement et/ou de compétition hebdomadaire** : ..... heures/semaine
11. **Avez-vous déjà été blessé ?**  oui  non  
Si oui, combien de fois ? .....
12. **Bénéficiez-vous d'une protection ?**  strapping / tape  attelle  autre
13. **Utilisez-vous cette protection pour :**  
 prévenir une blessure ?  oui  non  
 protéger une ancienne blessure ?  oui  non  
 autre, préciser : .....

### 14. Cette protection vous semble utile pour prévenir une blessure

Fortement en désaccord	En désaccord	En accord	Fortement en accord	Ne se prononce pas
<input type="checkbox"/> <sub>1</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>2</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>3</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>4</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>5</sub>

**15. Cette protection vous semble efficace pour protéger une ancienne blessure**

Fortement en désaccord	En désaccord	En accord	Fortement en accord	Ne se prononce pas
<input type="checkbox"/> <sub>1</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>2</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>3</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>4</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>5</sub>

**16. Cette protection vous semble nécessaire pour prévenir une blessure**

Fortement en désaccord	En désaccord	En accord	Fortement en accord	Ne se prononce pas
<input type="checkbox"/> <sub>1</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>2</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>3</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>4</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>5</sub>

**17. Cette protection vous semble nécessaire pour protéger une ancienne blessure**

Fortement en désaccord	En désaccord	En accord	Fortement en accord	Ne se prononce pas
<input type="checkbox"/> <sub>1</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>2</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>3</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>4</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>5</sub>

**18. Effectuez-vous des exercices spécifiques?**  oui  non

**a. Si oui, lesquels :** .....

.....

**b. Si non, vous accepteriez de les effectuer**

Fortement en désaccord	En désaccord	En accord	Fortement en accord	Ne se prononce pas
<input type="checkbox"/> <sub>1</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>2</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>3</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>4</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>5</sub>

**A quelle fréquence hebdomadaire ?**  1 fois  2 fois  plusieurs fois

**19. Des exercices spécifiques pour prévenir des blessures vous semblent utiles**

Fortement en désaccord	En désaccord	En accord	Fortement en accord	Ne se prononce pas
<input type="checkbox"/> <sub>1</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>2</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>3</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>4</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>5</sub>

**20. Des exercices spécifiques pour prévenir des blessures vous semblent nécessaire**

Fortement en désaccord	En désaccord	En accord	Fortement en accord	Ne se prononce pas
<input type="checkbox"/> <sub>1</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>2</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>3</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>4</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>5</sub>

**21. Des exercices spécifiques pour protéger une ancienne blessure vous semblent utiles**

Fortement en désaccord	En désaccord	En accord	Fortement en accord	Ne se prononce pas
<input type="checkbox"/> <sub>1</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>2</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>3</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>4</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>5</sub>

**22. Des exercices spécifiques pour protéger une ancienne blessure vous semblent nécessaires**

Fortement en désaccord	En désaccord	En accord	Fortement en accord	Ne se prononce pas
<input type="checkbox"/> <sub>1</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>2</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>3</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>4</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>5</sub>

**23. Vous savez comment effectuer ces exercices correctement**

Fortement en désaccord	En désaccord	En accord	Fortement en accord	Ne se prononce pas
<input type="checkbox"/> <sub>1</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>2</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>3</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>4</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>5</sub>

**24. Vous avez besoin d'une aide pour apprendre à effectuer ces exercices correctement**

Fortement en désaccord	En désaccord	En accord	Fortement en accord	Ne se prononce pas
<input type="checkbox"/> <sub>1</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>2</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>3</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>4</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>5</sub>

**25. Vous avez besoin d'une aide pour effectuer ces exercices correctement**

Fortement en désaccord	En désaccord	En accord	Fortement en accord	Ne se prononce pas
<input type="checkbox"/> <sub>1</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>2</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>3</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>4</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>5</sub>

**• Informations sur la blessure :**

26. Contexte de la blessure :  échauffement  entraînement  musculation  
 compétition  autre

27. Blessure :  ancienne  nouvelle

28. Combien de temps avez-vous dû renoncer à votre activité ?

moins d'1 semaine  entre 1 et 4 semaines  plus de 4 semaines

29. Type de blessure :  accidentelle  progressive

30. Partie du corps touchée :  épaule  dos/lombaires  poignet  autre

31. Votre blessure est plutôt due à une cause :

externe (matériel, rivière)  
 interne (difficulté technique, prise de risque, fatigue)



32. Par qui avez-vous été pris(e) en charge :

médecin                       kinésithérapeute    autre

33. Avez-vous entrepris des démarches pour vous faire soigner ?                       oui    non

34. Avez-vous bénéficié de séances de kinésithérapie ?                       oui    non

35. Etes satisfait(e) de votre prise en charge kinésithérapique ?

Fortement en désaccord	En désaccord	En accord	Fortement en accord	Ne se prononce pas
<input type="checkbox"/> <sub>1</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>2</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>3</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>4</sub>	<input type="checkbox"/> <sub>5</sub>

• Pourquoi ? .....

.....

.....

.....

### 3. Résultats des tests statistiques

```
#####  
# Annexe 3.1 : Exemple du test de comparaison de moyennes entre "le groupe des kayakistes" Vs les  
# sujets de #contrôle" (échantillons indépendants)  
# On utilise le langage R pour faire nos tests statistiques. On fixe le risque alpha=0.05.  
#Pour chaque test statistique: Si p.value > alpha=0.05 alors on ne rejette pas #H0.  
#Si p.value < alpha=0.05 alors on rejette H0.  
# Un commentaire dans R commence toujours par #  
# On prend l'exemple de la variable surface dans l'exercice chaise YO, mesurés sur les deux groupes:  
#kayakistes Vs groupe contrôle.  
#On commence par préparer nos échantillons en mettant les valeurs sous forme d'un vecteur dans R.  
# le vecteur "surface_controle_CYO" correspond à l'échantillon du groupe contrôle.  
surface_controle_CYO<-  
c(4.30,3.90,3.90,3.50,1.50,6.30,5.90,5.50,4.10,2.20,2.00,2.60,10.50,2.80,3.70,1.00,2.70,2.80,4.80,2.50,4.  
20,6.20,5.40,2.50,3.20,20,3.90)  
# le vecteur "surface_kayak_CYO" correspond à l'échantillon du groupe des kayakistes.  
surface_kayak_CYO<-  
c(6.60,3.80,4.50,7.20,5.70,3.50,5.50,17.90,4.00,1.70,6.40,6.60,2.60,3.40,0.80,1.50,0.60,2.90,2.80,6.90,4.  
30,2.60,1.40)  
#On affecte le vecteur " surface_controle_CYO" à "s1", et le vecteur " surface_kayak_CYO" à "s2",  
#afin de réduire la longueur des noms des deux vecteurs.  
s1<-surface_controle_CYO  
s2<-surface_kayak_CYO  
#la commande length donne la longueur du vecteur.  
length(s1) #27  
length(s2) #23  
#Grâce à la commande shapiro.test, on fait le test d'adéquation à la loi normale. Ce test a deux  
#hypothèses: H0: loi normale Vs H1: pas de loi normale.  
shapiro.test(s1)$p.value #0.007605152<0.05 donc pas de loi normale  
shapiro.test(s2)$p.value #0.0001046503<0.05 donc pas de loi normale  
#On fait un test de comparaison des variances (Fisher-Snedecor) grâce à la commande var.test:  
#Les hypothèses de ce test sont les suivantes :  
#H0: Les variances des 2 échantillons sont égales.  
#H1: Les variances des 2 échantillons sont différentes.  
var.test(s1,s2)$p.value  
#On obtient une p-valeur= 0.003970116 < alpha=0.05, donc on rejette H0 :  
#les variances des 2 échantillons ne sont pas égales.  
#Comparaison de deux moyennes dans le cas paramétrique pour 2 échantillons indépendants.  
#H0: Les moyennes sont égales  
#H1: Les moyennes ne sont pas égales  
t.test(s1,s2,var.equal=F)$p.value  
#p-value = 0.4477637 > 0.05, donc on ne peut pas rejeter H0,  
#et on conclut qu'il n'y a pas une différence.  
#Bien sûr, on ne tient pas compte de ce résultat car on n'est pas dans le cas paramétrique.  
#On passe alors au test suivant:  
#Comparaison de deux moyennes: échantillons indépendants avec un test non paramétrique (de  
#wilcoxon). On effectue ce test lorsqu'on a pas une loi normale ou on n'a pas une égalité de #variances.  
#H0: Les moyennes sont égales  
#H1: Les moyennes ne sont pas égales  
wilcox.test(s1,s2,paired=F)  
#"paired=F", pour dire "non appariés", c'est à dire "indépendants"  
#p-value = 0.599 > 0.05, donc on ne rejette pas H0,  
#et on conclut qu'il y a pas de différence entre les deux moyennes comparées.  
#####
```

```

####Annexe 3.2 : Exemple du test de comparaison de moyennes entre "kayakistes avant le protocole" Vs
#"kayakistes après le protocole" (échantillons appariés)
#Cet exemple donne le squelette du code R pour tous les autres tests dans le même contexte.
###On prend l'exemple de l'exercice chaise YO:
#On commence par préparer les échantillons sous forme de vecteurs dans R:
#surface1 contient les mesures des kayakistes sur la variable Surface avant le protocole
surface1<-
c(6.60,3.80,4.50,7.20,5.70,3.50,5.50,17.90,4.00,1.70,6.40,6.60,2.60,3.40,0.80,1.50,0.60,2.90,2.80,6.90,4.
30,2.60,1.40)
#surface2 contient les mesures des kayakistes sur la variable Surface après le protocole
surface2<-
c(1.90,2.50,0.70,7.00,4.90,3.80,5.10,3.20,7.10,4.70,5.90,3.50,1.90,2.30,2.60,0.50,2.10,7.00,3.30,2.40,0.9
0,1.70)
#On calcule les longueurs des échantillons par la commande length pour les comparer:
length(surface1) #23
length(surface2) #22
#On a trouvé que la longueur de surface1 est supérieure à celle de surface2.
#Pour cela, on complète l'échantillon surface2 par la valeur de sa moyenne jusqu'à que sa longueur
#devient égale à celle de surface1.
surface1<-surface1
surface2<-c(surface2,mean(surface2))
#On effectue ensuite le test d'adéquation à la loi normale (expliqué dans l'annexe 1 dessus) pour la
#différence surface1-surface2.
shapiro.test(surface1-surface2)$p.value
#p-value=0.0008398099<0.05, donc pas de loi normale.
var.test(surface1,surface2)$p.value
#p-value=0.008973612<0.05, donc pas d'égalité de variances.
#Donc on est bien dans le cas du test non paramétrique. La commande suivante (t.test) ne sert à #rien, car
on ne l'utilise que dans le cas paramétrique (test de Student):
t.test(surface1,surface2,paired=T)$p.value
#On passe automatiquement au test de Wilcoxon par la commande suivante. "paired=T" veut dire
#"appariés"
wilcox.test(surface1,surface2,paired=T)$p.value
#p-value=0.2179685>0.05, donc pas de différence.

```

#### 4. Moyennes des mesures des kayakistes

kayakiste 1	Moyenne Surface en mm <sup>2</sup>	Moyenne V_ moyenne en mm/s
CYO1	4,97	5,93
CYF1	6,27	5,67
BYO1	662,57	21,43
BYF1	1686,40	46,10
CYO2	1,70	4,13
CYF2	1,93	3,83
BYO2	157,20	14,10
BYF2	455,30	34,30

kayakiste 2	Moyenne Surface en mm <sup>2</sup>	Moyenne V_ moyenne en mm/s
CYO1	5,47	5,20
CYF1	6,60	5,57
BYO1	722,97	33,43
BYF1	2930,57	44,73
CYO2	5,23	4,57
CYF2	28,87	8,60
BYO2	963,33	25,53
BYF2	2347,77	42,07

kayakiste 3	Moyenne Surface en mm <sup>2</sup>	Moyenne V_ moyenne en mm/s
CYO1	9,13	7,33
CYF1	12,87	7,00
BYO1	268,63	21,07
BYF1	1424,90	39,67
CYO2	5,13	7,00
CYF2	6,07	6,70
BYO2	314,00	18,33
BYF2	520,47	30,67

kayakiste 4	Moyenne Surface en mm <sup>2</sup>	Moyenne V_ moyenne en mm/s
CYO1	4,90	6,67
CYF1	10,37	6,53
BYO1	568,57	18,60
BYF1	2034,13	31,43
CYO2	4,70	8,07
CYF2	5,47	7,87
BYO2	339,40	22,33
BYF2	749,63	34,60

kayakiste 5	Moyenne Surface en mm <sup>2</sup>	Moyenne V_ moyenne en mm/s
CYO1	2,27	6,47
CYF1	5,33	6,60
BYO1	242,47	17,70
BYF1	1000,53	31,67
CYO2	2,10	7,45
CYF2	3,43	7,87
BYO2	207,70	14,53
BYF2	538,83	24,17

kayakiste 6	Moyenne Surface en mm <sup>2</sup>	Moyenne V_ moyenne en mm/s
CYO1	1,67	5,23
CYF1	11,83	5,43
BYO1	339,23	15,77
BYF1	1740,10	38,30
CYO2	1,73	4,57
CYF2	3,40	4,60
BYO2	120,10	14,90
BYF2	364,23	23,10

kayakiste 7	Moyenne Surface en mm <sup>2</sup>	Moyenne V_ moyenne en mm/s
CYO1	4,67	4,87
CYF1	6,03	5,13
BYO1	313,67	15,23
BYF1	1355,10	39,37
CYO2	5,15	6,90
CYF2	6,55	7,25
BYO2	113,57	16,40
BYF2	480,63	28,73

kayakiste 8	Moyenne Surface en mm <sup>2</sup>	Moyenne V_ moyenne en mm/s
CYO1	2,00	5,35
CYF1	6,13	6,33
BYO1	1597,15	44,90
BYF1	2080,73	46,00
CYO2	1,67	5,10
CYF2	3,10	5,30
BYO2	119,23	14,77
BYF2	683,37	37,80















---

## **PREVENTION de la LOMBALGIE COMMUNE du KAYAKISTE**

.....  
APPROCHE PROPRIOCEPTIVE et POSTURALE  
.....

Résumé :

Selon les statistiques consultées, la lombalgie commune du kayakiste varie entre 15 % et 31 % des blessures totales (18% selon notre questionnaire). Pouvons-nous concevoir un dispositif spécifiquement adapté au kayakiste pour l'entraînement, dans le but de prévenir ou de diminuer la lombalgie commune chez le kayakiste?

Pour cela, nous avons mis en place un protocole expérimental de recherche comprenant successivement un test initial d'équilibre assis sur ballon, un atelier de prise de conscience et de contrôle postural et proprioceptif, un dispositif innovant destiné à l'optimisation (gestuelle et rachidienne) du kayakiste, et enfin un test final d'équilibre assis sur swiss-ball. Nous avons évalué la surface des oscillations et la vitesse moyenne de réajustement à l'équilibre, sur chaise ou sur ballon, avec les yeux ouverts ou fermés.

Nos résultats montrent qu'il y a une différence en faveur des kayakistes comparés aux sujets contrôle pour la variable vitesse et pour la variable surface. Les kayakistes ont une meilleure vitesse de réajustement au déséquilibre que les sujets contrôle, et une surface d'oscillations plus faible. Pour ce premier test, les kayakistes ont obtenu 100 % de réussite sur ballon les yeux fermés contre 55 % pour les sujets contrôle, ce qui traduit pour les premiers une expertise posturale.

Pour le second test, entre le début et la fin du stage, les kayakistes ont nettement progressé puisqu'il y a une différence significative pour la surface et pour la vitesse moyenne : ils ont appris à diminuer significativement leurs oscillations et à mieux réagir aux déséquilibres. Ce dispositif a donc permis, conjointement à l'atelier de travail proprioceptif et postural, d'améliorer significativement les performances posturales et proprioceptives des kayakistes.

.....  
Mots-clés : kayak, proprioception, posture, lombalgie, prévention.  
.....