



HAL
open science

Analyse technologique des conduites motrices du judoka en contexte écologique au regard de niveaux d'expertise. Épistémologie de la mesure, objectivation par actimétrie et EMG, propositions d'intervention.

Cédric Terret

► **To cite this version:**

Cédric Terret. Analyse technologique des conduites motrices du judoka en contexte écologique au regard de niveaux d'expertise. Épistémologie de la mesure, objectivation par actimétrie et EMG, propositions d'intervention.. Education. Université de Bordeaux, 2021. Français. NNT : 2021BORD0362 . tel-03562770

HAL Id: tel-03562770

<https://theses.hal.science/tel-03562770>

Submitted on 9 Feb 2022

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

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

THÈSE PRÉSENTÉE
POUR OBTENIR LE GRADE DE
DOCTEUR DE
L'UNIVERSITÉ DE BORDEAUX

ÉCOLE DOCTORALE : Société, Politique, Santé publique – EDSP2

SPÉCIALITÉ : Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives - STAPS

Par Cédric TERRET

**ANALYSE TECHNOLOGIQUE DES CONDUITES MOTRICES
DU JUDOKA EN CONTEXTE ÉCOLOGIQUE AU REGARD
DE NIVEAUX D'EXPERTISE**

**Épistémologie de la mesure, objectivation par actimétrie et EMG, propositions
d'intervention**

Sous la direction du Professeur Jacques MIKULOVIC
Et la co-direction du Professeur Julien MORLIER

Soutenue le 17 décembre 2021

Membres du jury :

Éric MARGNES	Professeur des Universités, Directeur du Département STAPS, Université de Pau et des Pays de l'Adour – <i>Président du jury et rapporteur</i>
Gilles BUI-XUÂN	Professeur Émérite, Faculté des Sports et de l'Éducation Physique, Université d'Artois - <i>Rapporteur</i>
Carole SÈVE	Inspectrice Générale de l'Éducation, du Sport et de la Recherche, groupe EPS – Professeure des Universités Honoraire - <i>Examinatrice et rapporteur de soutenance</i>
Léo GERVILLE-RÉACHE	Maitre de Conférences - HDR, Directeur de la Faculté des STAPS, Université de Bordeaux - <i>Examineur</i>
Caroline MARTIN	Maitresse de Conférences, Département STAPS, Université Rennes 2 - <i>Examinatrice</i>
Grégory MARTIN	Professeur Associé, Docteur en Géographie, Université Bordeaux Montaigne - Président du Comité Départemental de Gironde de Judo - <i>Examineur</i>
Jacques MIKULOVIC	Professeur des Universités, Directeur de l'Institut national supérieur formation et recherche, handicap et enseignements adaptés (INSHEA) - <i>Directeur</i>
Julien MORLIER	Professeur des Universités, Faculté des STAPS, Université de Bordeaux - <i>Co-directeur</i>

*« Jamais la nature ne nous trompe,
c'est toujours nous qui nous trompons. »*

Rousseau, Emile ou De l'éducation, 1762

Analyse technologique des conduites motrices du judoka en contexte écologique au regard de niveaux d'expertise.

Épistémologie de la mesure, objectivation par actimétrie et EMG, propositions d'intervention.

Résumé : Le judo est une activité d'opposition duelle dans laquelle l'incertitude provient de l'adversaire et la victoire basée sur une logique de score. Dans une conception sportive de l'activité, les combattants cherchent la fin du duel par le « Ippon ». Les conduites motrices convoquées, notamment l'ensemble des techniques nécessaires au combat s'avèrent complexes, il s'agit de les repérer et les analyser. Lors des phases debout, nous proposons de les modéliser autour d'un triptyque : saisies, déplacements et techniques de projection. L'analyse technologique de l'activité suppose la prise en compte de l'ensemble de ces paramètres.

Or, la littérature actuelle s'appuyant sur des mesures en biomécanique cantonne les recherches à des situations de coopération, lesquelles sont éloignées de la logique interne de l'activité. La raison principale provient des limites techniques des appareils de mesure qui ne permettent pas d'effectuer, à ce jour, ces mesures dans le contexte écologique de la situation de combat. Ces mêmes études se limitent également souvent à analyser un unique paramètre de la motricité du judoka. Enfin, la technique entendue comme idéale, en référence à celle du champion, reste la forme prédominante dans les différentes publications. Le cadre artificiel des mesures interroge donc la pertinence de ces dernières et invite le chercheur s'intéressant à l'analyse de l'activité dans son contexte écologique à se questionner.

Ainsi, dans un premier temps, cette recherche a pour ambition de collecter des données relatives à la technique debout, appréhendée dans sa complexité, et exécutée en situation écologique. Dans ce but, un outil de mesure innovant exploitant un appareil connecté, le « *Myo Armband* » de Thalmic Labs®, a été spécialement développé. En s'appuyant sur l'électromyographie de surface et l'actimétrie, il permet de mesurer l'activité du judoka en combat dans les trois composantes techniques du modèle. Trente sujets, tous spécialistes de la forme technique « *seoi-nage* », ont été sélectionnés. Ils sont répartis dans trois groupes distincts révélateurs des étapes « *contextuelle* » et « *expertise* » du curriculum conatif ainsi que d'une étape intermédiaire. La première témoigne d'un niveau de maîtrise technique fonctionnelle en contexte d'opposition.

Eu égard à la complexité de conception d'un tel outil, une démarche de type « *bottom-up* » est utilisée ; aucune hypothèse motrice n'est envisagée *a priori*. Les données recueillies dans les trois composantes motrices ont pour objectif, par la comparaison des trois groupes, d'analyser la dynamique de progression des habiletés techniques. L'objectif n'est pas d'étudier les processus d'acquisition d'une technique, mais plutôt la dynamique de progression d'une habileté technique déjà acquise vers le stade de l'expertise. Un second objectif est également de valider les connaissances empiriques et professionnelles proposées par les experts grâce à leur objectivation. La finalité, sans pour autant adopter une démarche prescriptive, vise modestement à émettre quelques propositions d'intervention.

Au final, l'étude s'inscrit dans une conception Parlebasienne qui ambitionne d'étudier et d'analyser les conduites motrices au prisme d'une pluralité de sciences d'appui. Malgré la difficulté de cette approche eu égard à la pluridisciplinarité qu'elle nécessite, c'est dans cette philosophie que ce travail a été mené. L'approche technologique, la biomécanique, les théories de l'apprentissage ont été mobilisées. Une telle démarche engage préalablement une analyse fine des contours épistémologique de l'étude ainsi qu'une objectivation des limites méthodologiques.

Mots clés : *judo, technologie, écologie, biomécanique, apprentissage, épistémologie*

Technological analysis of judoka's motor behavior in an ecological context depending to levels of expertise.

Epistemology of measurement, objectivation by actimetry and EMG, educational proposals.

Abstract : Judo is a dual opposition activity in which the uncertainty arises from the opponent and the victory is based on a scoring logic. From a sporting conception of the activity, fighters seek out the end of the dual with an « *Ippon* ». Motor skills and, in particular, all techniques needed for combat are complex, we need to identify and analyze them. For the standing phases, we propose to model them around a triptych: grips, movements and projection techniques. A technological analysis of the activity assumes that all of those parameters are taken into account.

However, the current literature based on biomechanical measurements confines research to cooperation situations far removed from the internal logic of the activity. The main reason comes from technical limits of the devices which, to this day, do not allow measurements in the ecological context of the combat situation. Those studies are also often limited to the analysis of one single parameter of judoka's motor skills. Finally, the technique considered as ideal, as the champion's one, is often the predominant form in various publications. The artificial framework of the measurements puts into question their relevance and leads the researcher interested in the analysis of the activity in its ecological context to question himself.

Thus, initially, this research aims to collect data relating to the standing technique, understood in its complexity, and performed in an ecological situation. To do so, an innovative measurement tool using a connected device, the « *Myo Armband* » from Thalmic Labs[®], has been especially developed. Based on surface electromyography and actimetry, it measures the activity of the judoka in combat regarding the three technical components of the model. Thirty subjects, all specialists of the « *seoinage* » technical form, were selected. They are split into three distinct groups translating the « *contextual* » and « *expertise* » stages of the conative curriculum as well as an intermediate stage. The first testifies to a level of functional technical control in a context of opposition.

Considering the complexity of designing such a tool, a « *bottom-up* » type approach is used; no driving hypothesis is considered a priori. The aim of the data collected in the three motor components is, by comparing the three groups, to analyze the dynamics of progression of technical skills. The objective is not to study the process of acquiring a technique, but rather the dynamics of the technical skill's progression already acquired towards the stage of expertise. A second objective is also to validate the empirical and professional knowledge offered by the experts thanks to their objectification. The purpose, without adopting a prescriptive approach, modestly aims to make a few proposals for intervention.

Ultimately, the study falls within the Parlebasian conception which aims to study and analyze motor behavior through the prism of a plurality of supporting sciences. Despite the difficulty of this approach due to the multidisciplinary required, it is in this philosophy that this work was initiated. The technological approach, biomechanics, learning theories have been mobilized. However, such an approach supposes a detailed analysis of the epistemological scope of the study as well as an objectification of the methodological limits.

Keywords : *judo, technology, ecology, biomechanics, learning, epistemology*

Laboratoire Cultures – Éducation – Sociétés (LACES EA 7437)
Université de Bordeaux - 3, Ter place de la Victoire - 33076 Bordeaux Cedex

REMERCIEMENTS

Paradoxalement, ces premiers mots sont aussi les derniers que suis amené à rédiger dans le cadre de cette thèse. Consignés au petit matin après une ultime nuit de relecture, ils m'offrent la possibilité, juste avant le dépôt officiel du manuscrit, de repenser aux années qui viennent de s'écouler. Que d'événements ont eu lieu depuis les jours où Julien m'interpellait régulièrement dans les couloirs de la « *fac* » en me disant : « *Terret, quand est-ce que tu démarres une thèse ?* ». S'il est bien connu que le parcours du thésard est long et semé d'embûches, il est vrai que je n'ai rien fait pour le simplifier. Au contraire, ceux qui me connaissent diront plutôt qu'à toujours vouloir m'embarquer sur de nouveaux projets, je ne me suis pas facilité la tâche. Ce n'est pas Jacques qui dira le contraire, lui qui s'est souvent inquiété à chaque fois que je m'embarquais vers une nouvelle aventure en parallèle de la thèse. Malgré tout, envers et contre tout, non sans difficulté mais avec une grande satisfaction, aujourd'hui je touche enfin au but ! Toutefois, lorsque je regarde dans le « *rétro* », je constate que jamais je n'aurais pu finaliser ce travail seul, ce fut avant tout un travail d'équipe ! Aujourd'hui, je tiens à remercier cette équipe de tout mon cœur car chacun de ses membres, chacun à son niveau, a contribué à ce beau projet.

Mes premières pensées vont à mes enfants, mes amours, Clara et Hugo, qui ont tous deux été très forts durant cette période. Même si les absences régulières de leur papa n'ont pas toujours été très faciles à vivre, ils ont toujours été d'un soutien inconditionnel. Ce soutien a été fondamental pour moi et m'a permis de m'accrocher dans les moments les plus difficiles.

Je tiens aussi à exprimer ma plus grande gratitude à ma maman, Michèle, dont le soutien a été continu, sans faille et de grande qualité. Son aide précieuse et son attention à mon égard m'ont permis de pouvoir très régulièrement travailler dans des conditions optimales.

Il en est de même pour ma compagne, Armelle, qui a le grand mérite de m'avoir soutenu et supporté durant toutes ces années consacrées à ce travail. Elle connaît bien l'exercice pour l'avoir éprouvé avec succès par deux fois, ainsi sa compréhension de ma situation lui a permis de m'accompagner au quotidien avec bienveillance et amour, et de me rassurer dans les périodes difficiles. De surcroît, elle a fait preuve d'une grande bravoure en lisant l'intégralité de ma production sur un sujet très éloigné de ses domaines de compétence.

Mes pensées vont également à Jacques et Julien, mes deux directeurs de thèse. Merci à Julien pour m'avoir poussé et encouragé à initier ce projet. Merci à Jacques d'avoir accepté dès

le début de nous accompagner dans cette aventure. Tous deux ont su parfaitement adapter leur suivi à mon profil de thésard atypique. Ils ont su me laisser l'autonomie nécessaire et m'ont fait entièrement confiance dans la construction et la réalisation du projet. Et surtout, malgré mes efforts intermittents, ils m'ont toujours soutenu et stimulé, et ne m'ont jamais abandonné dans l'épreuve malgré le potentiel risque de ne pas terminer. Avec une grande bienveillance, ils se sont inquiétés plus d'une fois pour moi notamment lorsque je mettais temporairement la thèse de côté pour me consacrer aux élections à la mairie, à la Région, au judo et même plus récemment à la FFSU. Aussi, aujourd'hui, parce qu'ils ont cru en moi et ne m'ont jamais abandonné, je les remercie mille fois.

Toute thèse nécessite une assistance technique car il est difficile de tout faire seul et surtout de tout savoir et tout comprendre. Aussi, je remercie infiniment mon cousin, Arnaud, pour le temps précieux qu'il m'a accordé, pour sa patience, sa réactivité et surtout son expertise et son appui technique. Je remercie également vivement Michel qui a relu l'intégralité de ma production, faisant preuve d'une très grande finesse et d'un grand sens des détails. Enfin, je remercie mon ami Léo pour sa patience, son soutien, sa pédagogie et sa réactivité, et surtout son appui technique précieux et incommensurable.

Ce travail n'aurait pu être mené sans un accueil des différentes structures qui m'ont ouvert chaleureusement leurs portes afin que je puisse réaliser mes mesures. Mille mercis à Steph et Cédric pour leur accueil au Pôle France, à Guigui et Steph à l'ASSM Saint-Médard, à Emilie au JCFL Gradignan, à Fred à l'ASPOM et à Christophe au Dojo Béglais. Et bien entendu mes remerciements s'adressent également à tous les judokas qui ont gentiment accepté de me servir de « *cobaye* » aux dépens d'une partie de leur entraînement.

Je voudrais aussi adresser un petit message à mes camarades des différentes instances dans lesquelles je suis impliqué car ils ont su faire preuve d'une très grande compréhension alors que, ces derniers temps, j'étais beaucoup moins présent. Je pense notamment à mes ami.e.s de la FFSU, du comité de judo et du conseil municipal.

Enfin, je souhaite également remercier l'Université de Bordeaux. En tant qu'institution, elle m'a proposé des aménagements très favorables sans lesquels ce travail n'aurait pas été impossible, mais aurait été bien plus complexe à mener.

Même s'ils n'ont pas directement contribué à mes recherches, j'ai également en ce moment une pensée toute particulière pour un certain nombre de personnes qui ont jalonné anciennement ou plus récemment mon parcours et qui comptent beaucoup pour moi. Tout

d'abord ma famille et notamment mon papa, Dominique, ma sœur, Amandine, mes grands-parents, mamie Julia, papi Marcel et mamie Ninette, et mon beau-père, Michel. J'ai une pensée spéciale pour mon grand-père, papi Henri, qui nous a quittés alors que j'étais doctorant, et dont je sais qu'il aurait été particulièrement fier de me voir soutenir. Une pensée également pour tou.te.s mes « *copain.ine.s* » de la « *fac* » qui ont jalonné mon parcours depuis maintenant huit ans : Francis, Ana, Karine, Didier(s), René, Pascal et Ingrid. Je pense un petit peu plus spécialement à mon amie chère, Corine, qui m'a fait confiance dès mon arrivée au STAPS, je pense à elle car je sais qu'elle passera très prochainement par les mêmes épreuves que celles que je vis actuellement. Enfin, j'ai aussi en ce moment une pensée pour mes ami.e.s, non cité.e.s jusqu'à présent, compagnons d'étude, rencontré.e.s dans le cadre professionnel ou sportif ou plus simplement ami.e.s du quotidien : Juju, Benj et Hervé, tou.te.s les copain.ine.s du manoir, Thibault, Greg, Jean-Pierre, Morgane et Julie, Vincent et François, Chloé, Amélie, Tessa et Carla, Jeff, Hervé et Xavier, et tous ceux que j'aurais oubliés.

Je voudrais ici avoir un mot plus particulier pour quatre personnes qui, si elles n'ont pas directement participé à mes travaux, ont indirectement contribué. En effet, les avoir croisés dans mon parcours de vie a influencé mon itinéraire qui m'a mené jusqu'à la thèse. Ces quatre personnes comptent beaucoup pour moi et ont eu un effet notable sur tout mon parcours bien au-delà de la thèse. Dans le cadre universitaire, je pense notamment à Jo et Antoine qui ont cru en moi et m'ont ouvert les portes de l'université alors que je n'étais encore qu'un « *minot* ». Depuis maintenant onze années, leur confiance et leur soutien est sans faille ce qui est réellement précieux. Dans le cadre du judo, on peut dire que mon parcours n'a pas toujours été très linéaire, et si aujourd'hui je suis en mesure de proposer cette thèse, c'est aussi grâce à deux enseignant.e.s qui m'ont particulièrement marqué. Tout d'abord Françoise, ma première « *prof* » qui malgré les conditions difficiles de pratique à l'époque a su me donner très tôt le goût du judo. Ensuite, Marc, mon enseignant au STAPS à Tarbes qui, alors que j'étais en train de perdre l'envie de la pratique et que j'étais prêt à me consacrer exclusivement au kayak, par sa passion et sa vision m'a redonné l'envie de pratiquer, de progresser, de comprendre, de continuer à apprendre et de transmettre. Grâce à lui, j'ai repris goût au judo et obtenu mon brevet d'État qui a facilité mon entrée à l'université. Et aujourd'hui, le judo dans le cadre universitaire contribue grandement à mon épanouissement personnel et professionnel.

Enfin, j'adresse également mes vifs remerciements aux membres du jury qui ont accepté de rapporter ma thèse : les professeurs Gilles Bui-Xuân et Eric Margnes, ainsi qu'aux examinateur.trice.s : Carole Sève, Caroline Martin, Léo Gerville-Réache et Grégory Martin, qui m'ont fait l'honneur d'accepter et d'être présent.e.s pour la soutenance.

SOMMAIRE

PREAMBULE - GENÈSE DE LA THÈSE	21
---	-----------

CHAPITRE I - INTRODUCTION.....	27
---------------------------------------	-----------

1.1) Quelques éléments culturels	27
1.1.1) Synthèse historique	27
1.1.2) Une pratique aux aspects pluridimensionnels	29
1.2) Modélisation de l'activité	31
1.2.1) Les « <i>traits pertinents</i> » du judo.....	31
1.2.1.1) Une activité duelle	31
1.2.1.2) Une activité à « <i>incertitude de l'adversaire</i> ».....	32
1.2.1.3) Une activité à score	33
1.2.1.4) Un sport de combat de préhension.....	34
1.2.1.5) Un « <i>système d'actions motrices</i> ».....	35
1.2.2) Les règles constitutives	36
1.2.2.1) Un objectif pour les combattants : la recherche du « <i>Ippon</i> »	37
1.2.2.2) Par des actions règlementées	38
1.2.2.3) En évoluant dans un temps contraint et sur un espace délimité et sécurisé	39
1.2.3) L'esprit et la signification essentielle.....	40
1.2.3.1) Des principes moraux et des rituels	41
1.2.3.2) Deux formes de combat	42
1.3) Conséquences sur un protocole en situation écologique	43

CHAPITRE II - CADRE THÉORIQUE	45
--	-----------

2.1) Contours du cadre théorique.....	45
2.1.1) Une centration sur les phases d'opposition debout	45
2.1.2) Une centration sur la composante technique.....	46

2.2) Le concept de technique	48
2.2.1) Technique et technologie	48
2.2.1.1) Étymologie et philosophie de la technique	48
2.2.1.2) La technologie : une rationalisation de la technique.....	49
2.2.2) Techniques du corps.....	50
2.2.3) Techniques sportives et technologie dans le champ des STAPS	51
2.2.3.1) Techniques sportives.....	51
2.2.3.2) La technologie dans le champ des STAPS	52
2.2.4) Concepts associés à la technique.....	55
2.2.4.1) Habiletés techniques	55
2.2.4.2) Structure, forme et fonction	57
2.2.4.3) Apprentissage.....	58
2.2.5) Vers une modélisation de la technique en judo.....	61
2.3) Mesures par la biomécanique de la motricité des judokas	63
2.3.1) Objectifs des mesures	63
2.3.2) Les outils de mesure	64
2.3.2.1) Les dynamomètres et plateformes de force	65
2.3.2.2) L'électromyographie de surface	67
2.3.2.3) Les systèmes vidéo de capture du mouvement.....	68
2.3.2.4) Les technologies magnéto-inertielle.....	70
2.3.3) Les contextes de mesure.....	72
2.2.3.1) Mesures sur sujets isolés.....	72
2.2.3.2) Mesures avec un partenaire en contexte de coopération.....	74
2.2.3.3) Mesures en contexte écologique	76
2.3.4) Analyse quantitative : un faible nombre d'études.....	77
2.4) Modélisation de la motricité du judoka	79
2.4.1) Postures, équilibre et déplacements	80
2.4.1.1) Postures et équilibre : le « <i>shisei</i> ».....	80
2.4.1.2) Déplacements.....	83
2.4.2) Les saisies : le « <i>kumi-kata</i> ».....	85
2.4.3) Les projections et les chutes.....	89
2.4.3.1) Les techniques de projection : les « <i>nage-waza</i> ».....	90
2.4.3.2) Les techniques de chute : les « <i>ukemi</i> »	96
2.4.4) En fonction des niveaux d'expertise	98
2.5) Conclusion : une absence d'études en contexte écologique	102

CHAPITRE III - OBJECTIFS ET PROBLÉMATIQUES..... 107

3.1) Contours épistémologiques	107
3.1.1) Une approche technologique praticienne et scientifique.....	108
3.1.2) Une approche écologique	109
3.1.3) Une nécessaire maîtrise de l'objet « <i>technique</i> »	111
3.1.4) Un objet : les techniques, porté par des sujets singuliers	112
3.1.5) Les innovations technologiques comme source d'espoir	114
3.1.6) Une analyse pluridisciplinaire inspirée de l'approche Parlebasienne	116
3.2) Objectifs de recherche et problématiques	119
3.2.1) Une méthodologie innovante et singulière.....	119
3.2.1.1) Une prise en compte de la logique interne.....	119
3.2.1.2) Une prise en compte de la complexité	120
3.2.2) Une approche comparative.....	121
3.2.2.1) Une comparaison de différents niveaux de maîtrise.....	121
3.2.2.2) Une comparaison avec les données professionnelles.....	122
3.2.3) Synthèse : une démarche inductive allant vers des conclusions de terrain	122
3.2.3.1) Résumé des objectifs de recherche et problématiques.....	122
3.2.3.2) Une démarche inductive ou « <i>bottom-up</i> »	123
3.2.3.3) Une prise de risque pour le chercheur.....	124
3.2.3.4) Des conclusions tournées vers l'intervention	125

CHAPITRE IV - OUTIL ET PROTOCOLE DE MESURE 127

4.1) Choix de l'appareil de mesure.....	127
4.1.1) Recherche d'un appareil de mesure	127
4.1.1.1) Cahier des charges de l'appareil	127
4.1.1.2) Choix de la catégorie d'appareil	128
4.1.2) Le « <i>Myo Armband</i> » de Thalmic Labs®	131
4.1.2.1) Présentation du bracelet	132
4.1.2.2) Intérêt suscité pour l'élaboration de l'outil.....	133
4.1.2.3) Description et caractéristiques du brassard.....	134
4.1.2.4) Données collectées.....	136
4.1.3) Publications scientifiques utilisant le « <i>Myo Armband</i> » comme outil	141
4.1.4) Conclusion sur le choix de l'appareil.....	142

4.2) Élaboration de l’outil de recueil de données	145
4.2.1) D’un appareil connecté à un réel outil de mesure	145
4.2.2) Solutions techniques.....	146
4.2.2.1) Identification des brassards.....	146
4.2.2.2) Synchronisation des horloges et horodatage.....	148
4.2.2.4) Synchronisation de l’horodatage avec la capture vidéo.....	151
4.2.2.5) Simplification de la présentation des données	153
4.2.2.6) Essais et validation.....	154
4.2.3. Synthèse de l’outil.....	155
4.3) Constitution des groupes de sujets	157
4.3.1) Trois groupes de niveau	157
4.3.1.1) En référence au curriculum conatif.....	157
4.3.1.2) Groupe 3 : étape experte	158
4.3.1.3) Groupe 1 : étape contextuelle	159
4.3.1.4) Groupe 2 : étape intermédiaire.....	160
4.3.2) Caractéristiques générales des sujets.....	160
4.3.2.1) Des compétiteurs.....	160
4.3.2.2) De sexe masculin	161
4.3.3) Choix de la technique étudiée	161
4.3.3.1) Les formes de « <i>seoi-nage</i> »	161
4.3.3.2) Intérêts des formes de « <i>seoi-nage</i> ».....	163
4.3.3.3) « <i>Tokui-waza</i> » ou « <i>technique spéciale</i> »	164
4.3.4) Taille des groupes.....	165
4.3.5) Synthèse et sélection des sujets.....	167
4.3.5.1) Synthèse des critères	167
4.3.5.2) Méthode de sélection des sujets.....	167
4.3.5.3) Méthode de sélection des « <i>uke</i> »	168
4.3.5.4) Limite : des âges distincts	169
4.4) Protocole de recueil de données	170
4.4.1) Cadre de pratique	170
4.4.1.1) Respect de la logique interne	170
4.4.1.2) Utilisation du « <i>randori</i> »	170
4.4.1.3) Utilisation des « <i>geiko</i> ».....	171
4.4.2) Protocole.....	173
4.4.2.1) Matériel	173
4.4.2.2) Préparation et appareillage des sujets	174

4.4.2.3)	Consignes aux sujets	176
4.4.2.4)	Synchronisation horloges / données / vidéo.....	177
4.4.2.5)	Rôle du chercheur pendant la séance de mesure.....	178
4.4.2.6)	Nombre de séquences par sujet.....	178
4.4.2.7)	Synthèse de la chronologie d'une séance de mesure	179
4.4.2.8)	Pré-traitement des fichiers de données	179
4.4.3)	Limites du protocole.....	180
4.5)	Synthèse méthodologique.....	181

CHAPITRE V - TRAITEMENT DES DONNÉES ET RÉSULTATS..... 183

5.1)	Synthèse et choix des données recueillies	183
5.1.1)	Synthèse quantitative des données	183
5.1.2)	Choix des séquences retenues	185
5.1.3)	Sélection des données.....	187
5.1.4)	Test statistique privilégié	189
5.2)	Données relatives aux déplacements	190
5.2.1)	Données sélectionnées.....	190
5.2.2)	Séquençage des données	191
5.2.3)	Traitement du signal.....	193
5.2.4)	Traitement des données	194
5.2.5)	Résultats	196
5.2.6)	Vérification de l'hypothèse	197
5.3)	Données relatives aux saisies	198
5.3.1)	Données sélectionnées.....	198
5.3.2)	Séquençage des données	199
5.3.3)	Traitement du signal.....	200
5.3.2.1)	Données brutes.....	200
5.3.2.2)	Deux méthodes de traitement d'un signal EMG.....	201
5.3.2.3)	Traitement du signal par méthode <i>RMS</i>	202
5.3.2.1)	Traitement du signal par redressement et lissage	202
5.3.4)	Traitement des données	204
5.3.4.1)	Contraction maximale, pourcentage de contraction maximale.....	204
5.3.4.2)	Comparaison « <i>bras fort</i> » / « <i>bras faible</i> »	204
5.3.5)	Résultats pour les deux méthodes	206

5.3.6)	Vérification de l'hypothèse	207
5.4)	Données relatives aux projections	208
5.4.1)	Données sélectionnées.....	208
5.4.2)	Séquençage des données	211
5.4.3)	Traitement du signal.....	213
5.4.4)	Traitement des données et résultats.....	214
5.4.4.1)	Phase de placement	214
5.4.4.2)	Phase de projection	217
5.4.5)	Vérification de l'hypothèse	219
5.5)	Synthèse des résultats	221

CHAPITRE VI- ANALYSE ET PROPOSITIONS D'INTERVENTION 223

6.1)	Approches biomécanique et technologique	225
6.1.1)	Présentation du questionnaire.....	225
6.1.1.1)	Élaboration du questionnaire	225
6.1.1.2)	Diffusion des questionnaires et profil des enquêtés.....	227
6.1.1.3)	Traitement des données.....	227
6.1.2)	Analyse des déplacements.....	228
6.1.2.1)	Approche biomécanique	228
6.1.2.2)	Approche technologique	230
6.1.3)	Analyse des saisies	231
6.1.3.1)	Approche biomécanique	231
6.1.3.2)	Approche technologique	233
6.1.4)	Analyse de « <i>seoi-nage</i> »	235
6.1.4.1)	Approche biomécanique	235
6.1.4.2)	Approche technologique	238
6.1.4.3)	Analyse qualitative du geste	240
6.1.5)	Synthèse	241
6.2)	Théories de l'apprentissage moteur	242
6.2.1)	Progression chiffrée du niveau de maîtrise technique.....	242
6.2.2)	Approche dynamique des apprentissages moteurs.....	243
6.2.2.1)	Analyse théorique	243
6.2.2.2)	Conséquences pédagogiques.....	244
6.2.3)	Curriculum conatif	245

6.2.3.1)	Analyse théorique	245
6.2.3.2)	Conséquences pédagogiques.....	247
6.3)	Propositions d'intervention	248
6.3.1)	Entretiens semi-directifs.....	248
6.3.1.1)	Enquêtés et structure de l'entretien.....	248
6.3.1.2)	Bilan des entretiens	249
6.3.2)	Pistes relatives à l'intervention	250
6.3.2.1)	Des composantes techniques non encore explorées.....	251
6.3.2.2)	Des situations contextualisées, complexes, avec opposition	251
6.3.2.3)	Des <i>feedback</i> précis et ciblés	252
6.4)	Limites	253
6.4.1)	Limite liée à l'âge des sujets	253
6.4.2)	Limite liée à la taille des groupes.....	253
6.4.3)	Limite liée à la définition de l'expertise.....	254
6.4.4)	Limite liée au bassin géographique.....	254
6.4.5)	Limite liée à la définition de la complexité.....	255

CHAPITRE VII - CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES... 259

BIBLIOGRAPHIE 265

LISTE DES TABLEAUX ET TABLE DES FIGURES 293

PRÉAMBULE

GENÈSE DE LA THÈSE

Enseignant d'EPS, formateur d'enseignant, et entraîneur, je me suis toujours naturellement intéressé dans mes pratiques personnelles et professionnelles à l'analyse de la motricité. En effet, au travers des techniques, la motricité est à mon sens au cœur des pratiques sportives et un élément essentiel à constamment perfectionner chez les élèves, les athlètes, les futurs enseignants ou entraîneurs. Même si la prestation physique d'un élève ou la performance d'un athlète sont par essence « *multifactorielles et systémiques* » (Paillard 2010), la motricité reste l'élément fondamental au cœur de toute pratique sportive. C'est ma conception et ce qui anime mes pratiques professionnelles au quotidien. Des travaux scientifiques se sont d'ailleurs intéressés à cette capacité d'analyse de la motricité, à cet « *œil du maquignon* » (Loquet 2006) que développent par l'expérience les enseignants (Gouju 2006) et entraîneurs experts (Mouchet 2014).

Dans un cadre plus académique, si l'on souhaite dépasser la pratique professionnelle experte pour chercher à contribuer modestement à sa progression, il est possible d'étudier la motricité et notamment les techniques sportives selon plusieurs approches scientifiques. C'est cette démarche qui m'a animé il y a quelques années pour analyser selon une approche historique et anthropologique les techniques en canoë-kayak (Terret et al. 2017). En tant qu'expert et entraîneur dans cette activité, je voyais apparaître de temps à autre de nouvelles techniques chez les athlètes, et je m'étais alors interrogé sur les processus conduisant à leur émergence. Ce type de questionnement fait partie du quotidien de chaque enseignant et de chaque entraîneur, mais après quelques années d'expérience de terrain, il m'était apparu

intéressant de chercher à dépasser l'analyse empirique pour théoriser et modéliser mes réflexions.

Aussi lorsque Julien Morlier, enseignant-chercheur en biomécanique et à l'époque directeur du STAPS m'a incité à engager une thèse, j'ai souhaité m'orienter vers une démarche analogue dans mon autre sport de prédilection : le judo. Également spécialiste de cette activité¹, les mêmes questionnements sur la motricité et la technique m'animaient, mais je souhaitais les aborder sous un autre regard scientifique. Bien que n'ayant pas de formation initiale spécialisée en biomécanique², mis à part la formation reçue durant mes études en STAPS, j'ai commencé à explorer la littérature s'intéressant au judo dans ce domaine. En effet, cette science me paraissait particulièrement appropriée pour l'analyse des techniques et donc adaptée pour espérer répondre à mes interrogations et aspirations.

Avec un regard néophyte et vierge de tous préjugés, j'ai ainsi débuté mes lectures par les publications les plus récentes pour remonter progressivement vers les plus datées. Si la première étude en biomécanique est une thèse dans la fin des années 60 s'intéressant à l'impact lors des chutes (Deusinger 1968), suivie de rares travaux dans les années 70, les recherches n'ont réellement commencé à se développer qu'à compter des années 80. La première d'entre elles que j'ai pu répertorier s'intéressant réellement à l'analyse des techniques de projection, a été proposée lors d'un congrès au Japon en 1983 (Tezuka et al. 1983). Cette communication proposait une analyse cinématique des techniques de projection que sont « *tai-otoshi* » et « *harai-goshi* ». En France, les premiers travaux se développent à compter du début des années 1990 au sein du laboratoire du STAPS de Poitiers. La première étude publiée comparait la technique « *uchi-mata* » exécutée par dix judokas à l'aide de mesures cinématiques et dynamométriques (Trilles et al. 1990).

Au-delà de ce bref historique, en réalisant cette recherche bibliographique prospective, je m'aperçois que toutes ces études, même les plus récentes, ont pour point commun, dans la majorité des cas, l'analyse de techniques projection dans des situations présentant une absence totale d'opposition de la part d'un quelconque adversaire³. Pour exemple, dans certains cas, les

¹ Entraîneur DEJEPS, responsable d'une structure de haut niveau universitaire, dirigeant de club et de comité départemental, ceinture noire 3° « *dan* » (4° « *dan* » en prévision).

² J'ai effectué des Master dans des domaines éloignés de la biomécanique : un master professionnel de Management des entreprises avec un mémoire en marketing, et un master recherche en STAPS avec un mémoire en sociologie des organisations.

³ Dans toutes les études recensées.

techniques sont mesurées sur des judokas seuls manipulant un ergomètre⁴ ou en situations de coopération avec leur partenaire⁵. Je suis dans un premier temps quelque peu frustré par ces lectures, car elles ne font pas écho à ma représentation du judo. En effet, ayant une conception sportive de l'activité (Margnes 1996), l'essence du judo réside à mon sens dans l'opposition entre deux adversaires⁶, et malheureusement, du fait des contraintes liées aux mesures, les études ne prennent pas en compte dimension. Cette conception a probablement pour origine mes fonctions d'enseignant et d'entraîneur qui m'amènent à être profondément attaché à la logique interne des activités, c'est-à-dire ce qui en fait leur essence et qui les distingue d'une autre pratique sportive. J'ai donc naturellement dans un premier temps cherché à comprendre pourquoi, en biomécanique, les études n'exploitent pas les situations d'opposition. Ce premier questionnement m'a conforté sur l'idée de poursuivre ce travail de recherche afin d'éventuellement proposer une première étude en biomécanique s'intéressant au judo en contexte écologique, c'est-à-dire en situation « *réelle* » et avec opposition. Bien qu'initialement non spécialiste de la biomécanique, je suis alors retourné naturellement vers Julien pour débiter ce travail.

Julien a répondu favorablement à ma demande. Connaissant mes sensibilités, il a alors soumis l'idée d'une co-direction afin que mes travaux n'aient pas exclusivement une approche biomécanique, mais aient également une valence axée sur l'enseignement et l'entraînement. En effet, je suis profondément attaché à l'utilité des recherches pour les pratiques professionnelles. Cependant, je suis aussi bien conscient que cette notion d'utilité sociale de la recherche fait largement débat dans le milieu universitaire (Gozlan 2015) et que toutes ne sont pas nécessairement destinées à être ré-exploitées. Pour autant, pour mes recherches personnelles, mon souhait était de pouvoir apporter une contribution, même très modeste, à l'intervention en judo. Aussi, la biomécanique me paraît une approche scientifique adaptée pour comparer entre individus des niveaux de pratiques, des niveaux d'habiletés révélateurs de l'appropriation des techniques, et éventuellement en tirer des pistes pour l'enseignement et l'entraînement dans l'activité.

Nous nous sommes ainsi tournés vers Jacques Mikulovic, alors directeur de l'École Supérieure du Professorat de d'Éducation⁷ d'Aquitaine et qui s'est intéressé dans certains de

⁴ Pour exemple : Blais et al. 2007.

⁵ Pour exemple : Blais et Trilles 2004.

⁶ Il existe également des conceptions plus traditionnelles basées sur la conception philosophique et sur la méthode d'éducation initialement conçue par Jigoro Kano.

⁷ Devenue depuis Institut National Supérieur du Professorat et de l'Éducation.

ses travaux à la pédagogie conative. Celle-ci, adossée à un modèle curriculaire, définit différentes étapes d'apprentissage allant du stade émotionnel au stade de l'expertise⁸. Après avoir rencontré Jacques, il nous est apparu intéressant d'envisager mon projet de recherche en croisant la biomécanique avec différents stades d'apprentissages, en analysant différents niveaux d'habileté, dans le but de pouvoir exploiter les résultats vers un versant enseignement et entraînement.

En débutant ce projet, même si j'envisageais que la biomécanique prenne une place importante notamment au travers du recueil de données, mon objectif n'était en aucun cas de rédiger une thèse purement de biomécanique. En effet, je n'en suis pas initialement expert, mais surtout ma volonté est alors d'aborder la motricité du judoka au travers d'une approche différente et personnelle. Une thèse est portée par un « *apprenti-chercheur* » ayant une trajectoire, une histoire, une formation, des conceptions et des valeurs (Di Filippo et al. 2012), et il me paraît indispensable que ces dernières prennent une place importante dans la démarche et qu'elles se perçoivent dans la production finale. En tant que produit des STAPS, en tant que formateur dans la filière, et en tant que défenseur de leur place dans le système universitaire, j'aspire humblement à ce que mes travaux répondent à plusieurs critères et enjeux. Afin que le lecteur ait une lecture lucide de la présentation des travaux à suivre, il me paraît donc important d'explicitier succinctement et simplement les principes qui me guident. Voici donc les points qui me paraissent essentiels selon ma vision et ma conception philosophique et épistémologique de l'étude de la motricité et des techniques :

- L'objet, ici la technique, est matérialisé et porté par des sujets judokas tous singuliers. Il est indispensable d'avoir conscience que chacun a une manière d'incarner cet objet qui lui est propre.
- L'incarnation de l'objet ne peut réellement se révéler qu'au sein d'un environnement écologique de pratique.
- Une approche STAPS suppose d'appréhender la motricité dans sa globalité, avec dans la mesure du possible une approche par la complexité (Morin 1982). Toutefois, une telle démarche doit s'opérer en toute modestie, en ayant conscience des limites notamment du fait que la science ne peut pas toujours tout expliquer.

⁸ Ce modèle sera défini ultérieurement dans le cadre théorique.

- Cela suppose par conséquent, et dans l'absolu, de l'aborder de façon interdisciplinaire et/ou transdisciplinaire. Il n'est pas question ici de discuter de cette nuance ou d'analyser les désaccords à ce propos entre la vision de Vigarello et celle de Parlebas (Gonzalez 2013).
- Pour autant, je suis fortement sensible aux concepts et à l'approche de « *praxéologie motrice* » que porte Parlebas, au travers de sa volonté de défendre une science de l'action motrice (Parlebas 1981).
- Enfin, pour pouvoir raisonnablement étudier et analyser la technique dans une approche STAPS, il me paraît intéressant que le chercheur en maîtrise l'objet⁹. Cette notion de proximité ou de distanciation à l'objet a très tôt été discutée dans de nombreuses publications, notamment dans le domaine des sciences sociales et cela dès les écrits de Durkheim en 1895 qui prônait une nécessaire distance (Berthelot 1995 ; Feldman 2002). Concernant les techniques, il me semble au contraire important de les maîtriser afin que le chercheur puisse se poser les « *bonnes questions* » et rationnellement les analyser. Il est malgré tout nécessaire d'avoir conscience de cette proximité afin d'adopter une posture de vigilance épistémologique.

Durant ces six années, ces principes m'ont donc organisé dans la conduite de mes travaux et j'espère que les lecteurs retrouveront cette cohérence tout au long du manuscrit. La partie introductive à suivre vise, selon cette conception, à modéliser l'activité judo et à préciser la conception dans laquelle les recherches ont été menées. Cette introduction permet de justifier l'approche, la démarche et la méthodologie à suivre.

Enfin, je souhaitais préciser que l'usage de la première personne du singulier dans ces propos préliminaires est volontaire dans le but de donner davantage sens à l'explicitation de ma démarche. Comme le veut l'usage académique, notamment afin de prendre de la distance par rapport aux propos, la première personne du pluriel sera désormais utilisée.

⁹ Ce qui est mon cas avec le judo et qui était également le cas dans ma précédente étude sur le canoë-kayak.

CHAPITRE 1

INTRODUCTION

1.1) Quelques éléments culturels

1.1.1) Synthèse historique

Le Judo est une pratique d'origine japonaise, communément traduite comme « *voie de la souplesse* ». Il est généralement, et à tort, qualifié d' « *art martial* » dans le langage courant (Hilpron 2012a) et plutôt désigné comme « *sport de combat* » (Clément 1981) ou encore « *art de combat* » (Champault 2000) dans la littérature scientifique.

Jigoro Kano crée le judo à partir de 1882 en le concevant comme un « *système d'éducation* » et en s'inspirant des techniques ancestrales du ju-jitsu duquel il soustrait les techniques qu'il considère dangereuses telles que les clés de jambes ou de tête (Brousse 1996). Pour son créateur, le judo est à la fois « *une méthode d'édification spirituelle et morale* », « *une méthode de combat* » et « *une méthode d'éducation physique* » (Kanō 2013). Son enseignement est initialement basé sur « *quatre piliers* » : le « *kata* »¹⁰, le « *randori* »¹¹, le « *mondo* »¹² et le « *kogi* »¹³ (Cadot 2015).

Progressivement le judo se développe au Japon, puis s'exporte à l'international via les conférences données par Kano, mais également grâce à la diffusion de la pratique par ses

¹⁰ « *ensemble codifié d'attaques-défenses* » (Cadot 2015).

¹¹ « *exercice d'application libre où chacun des deux partenaires tente d'appliquer ses solutions* » (Cadot 2015).

¹² « *entretiens sous la forme de questions-réponses* » (Cadot 2015).

¹³ « *cours magistral / conférence* » (Cadot 2015).

disciples dans de nombreux pays¹⁴. En parallèle, la pratique se sportivise c'est-à-dire qu'elle jouit d'un « *processus social [...] par lequel une activité ludomotrice [...] acquiert le statut de sport* » au travers de l'émergence de quatre caractéristiques : un système d'actions motrices¹⁵, un système de règles, le développement de compétitions et l'institutionnalisation de la pratique (Parlebas 1999). Au Japon, les premiers championnats officiels ont lieu en 1930, alors qu'en Europe une esquisse de premier championnat se déroule en 1932. Par la suite, une Fédération Européenne est créée en 1948 et organise son premier championnat en 1951, date à laquelle elle se transformera en Fédération Internationale¹⁶. Les premiers championnats du monde sont organisés à Tokyo en 1956, et huit ans plus tard, c'est dans cette même ville que le judo fait une première apparition aux Jeux Olympiques en tant que sport de démonstration. Il sera par la suite définitivement intégré au programme des JO à partir de 1972 à Munich pour les hommes et à partir de 1992 à Barcelone pour les femmes.

En France, la pratique se développe après la seconde guerre mondiale, puis se massifie à compter des années 70. Avec environ 230 000 pratiquants en 1972, leur nombre atteint les 500 000 à l'aube des années 2000 (Martin 2011). La FFJDA¹⁷, avec près de 520 000 licenciés en 2020¹⁸ est à ce jour la cinquième fédération olympique¹⁹. Au niveau sportif, la France est la deuxième meilleure nation au classement des médailles depuis la création des compétitions internationales, juste derrière les Japonais. Elle compte dans ses rangs des judokas mondialement reconnus tels que David Douillet, Teddy Riner ou encore la récente championne olympique Clarisse Agbegnenou.

Aujourd'hui, le judo est devenu une pratique sportive mondialisée. Cent-vingt-huit nations, issues des cinq continents, étaient représentées lors des Jeux Olympiques de Tokyo de 2021, et vingt-quatre pays y ont obtenu au minimum une médaille. Un nouveau record a été battu lors des championnats du monde à Tokyo en 2019 avec cent-quarante-neuf nations représentées²⁰.

¹⁴ En France, le judo est diffusé par Mikinosuke Kawaishi à partir de 1935.

¹⁵ Que Kano formalise progressivement à compter de 1882, puis au travers de plusieurs étapes telles que le premier « *kata* » en 1887 (« *nage-no-kata* ») ou encore le premier système de progression en 1895 : le « *gokyo* ».

¹⁶ Nommée IJF : International Judo Federation.

¹⁷ Fédération Française de Judo et Disciplines Associées.

¹⁸ Source : site internet FFJDA.

¹⁹ En nombre de licenciés : site internet INSEE : « *Licences sportives et autres titres de participation par fédération agréée en 2017* ».

²⁰ Source : site internet IJF (Fédération Internationale de Judo).

1.1.2) Une pratique aux aspects pluridimensionnels

Cette brève synthèse historique a permis de montrer qu'au cours du 20^{ème} siècle, le judo est passé du stade de « *méthode d'éducation* » conçue dans le contexte oriental d'un Japon tout juste sorti du système féodal à une pratique sportive mondialisée et olympique. Margnes formalise cette trajectoire en considérant que le judo au cours de son histoire a fait l'objet de décontextualisations et recontextualisations successives : « *le judo traditionnel est né de la décontextualisation des techniques corporelles du ju-jutsu féodal, recontextualisé au sein d'une méthode d'éducation de la personne* », puis « *le judo sportif n'a fait que reproduire une nouvelle forme de décontextualisation au regard, cette fois, du judo de J. Kano* » (Margnes 1996). Pour autant, à chaque transformation, il montre que subsiste un « *noyau dur* » permettant d'assurer la pérennité de l'ensemble des conceptions liées à la pratique. De ses travaux, il fait émerger deux conceptions distinctes intégrant ce noyau, mais dont les finalités et les moyens divergent :

- Le judo traditionnel viserait à l' « *épanouissement personnel par l'entraide et la prospérité mutuelle* ». Pour cela, les moyens sont la recherche de la perfection technique. L'activité est centrée sur les moyens mis en œuvre : la souplesse, l'utilisation optimale de l'énergie, l'harmonie avec le partenaire, la beauté du geste dans le respect des formes traditionnelles et fondamentales. L'étiquette et les rituels y sont essentiels.
- Le judo sportif, c'est-à-dire de compétition, viserait « *la valorisation de soi au travers de la hiérarchisation des individus* ». L'activité est centrée sur le résultat, à savoir la victoire, par la recherche de la rentabilité technique, mais également par le développement des ressources physiques et stratégiques. Dans une logique de performance, les formes en duels sont privilégiées, et la technique optimisée afin de remporter les affrontements. Les règlements et codes sportifs priment sur l'étiquette.

Si ce modèle peut paraître binaire, il a le mérite de conceptualiser simplement ces deux formes de pratique. Margnes précise que, dans les faits, elles sont en fait « *interpénétrées* » et qu'un pratiquant va en réalité s'axer plutôt d'un côté ou de l'autre. Même la position de Jigoro Kano, pourtant initiateur de cette « *méthode d'éducation* » et élevé au rang de « *Maître* » par les adeptes d'un judo plus traditionnel, n'est pas si tranchée. En effet, il considère que tout n'est pas à rejeter dans la compétition, et au cours de sa trajectoire il va aller jusqu'à la défendre et y trouver un intérêt si elle est pratiquée dans certaines conditions. Il sera d'ailleurs le premier

asiatique à être membre du CIO²¹, et sera le principal acteur de l'attribution initiale des Jeux Olympiques à Tokyo en 1940²². Kano souhaite démontrer l'universalité du judo et travaille à sa diffusion internationale, cela passe pour lui par l'intégration d'une dimension compétitive à la discipline. Il y émet néanmoins trois conditions : la compétition ne doit pas être une fin en soi et n'est qu'un des aspects du judo parmi d'autres ; les combats doivent rester amateurs ; et les combattants doivent se comporter en « *gentlemen* » sans chercher la gloire (Cadot 2006).

Pour autant, le fait qu'il ne puisse envisager que la compétition soit une fin en soi l'écarte naturellement du modèle sportif précédemment défini. Il n'est cependant pas dupe quant à l'évolution mondiale et sportive que pourrait prendre sa méthode puisqu'il déclare lors des premiers championnats du Japon en 1930 : « *je suis persuadé que la nécessité d'établir des championnats à l'échelle mondiale se fera sentir dans le futur* » (cité par Cadot 2006). Le futur lui aura en effet donné raison.

Dès lors que l'on évoque l'histoire du sport, « *il est difficile [...] de ne pas s'attacher à la dimension technique et par extension aux périmètres technologiques de l'activité.* » (Robène 2017). En effet, pour Robène et Léziart, « *tout dans le sport moderne renvoie à la technique et aux technologies* » notamment au travers des conditions de la performance²³, des modèles et des stratégies de jeu, du coaching, du développement des nouvelles technologies²⁴ « *qui entretiennent une connivence certaine avec le paradigme du record* » (Robène et Léziart 2006).

Ainsi, la sportivisation et la codification des règles en judo ont progressivement rendu possible l'entraînement spécifique qui s'inscrit alors dans un cadre réglementaire contraint et circonscrit aux seules techniques autorisées (Gaudin 2009). De plus, la massification, la mondialisation et l'olympisation du judo, comme pour nombre d'activités (Augustin 2011), ont eu pour effet de faire émerger des enjeux de recherche et d'innovation à la fois sur le plan de l'entraînement et de l'enseignement.

²¹ Comité International Olympique. Il en sera membre de 1909 à sa mort en 1938. Il est reconnu comme le père du mouvement olympique japonais.

²² Jeux Olympiques qui seront par la suite réattribués à Helsinki du fait de la guerre sino-japonaise débutant en 1937, puis qui n'auront finalement pas lieu en raison de la seconde guerre mondiale.

²³ « *Efficacité du geste, formes d'entraînement, optimisation du matériel et trouvailles, évolution des espaces et du règlement, etc...* »

²⁴ « *Analyse du geste et écriture du mouvement, imagerie, numérisation, technologie des matériaux, des vêtements, des instruments et des machines, des moyens de communication et des médias, voire des procédés d'amélioration de la performance comme le dopage.* »

1.2) Modélisation de l'activité

Après avoir contextualisé l'activité, il est désormais nécessaire d'en proposer une modélisation. L'idée n'est pas de définir le judo en citant une des nombreuses définitions dont regorge la littérature, mais plutôt de proposer notre propre modèle, structurant ultérieurement le cadre de nos recherches. Il est aussi fondamental de préciser en propos liminaire qu'il intègre deux éléments clés qui nous sont propres et personnels, et qui guident ce travail de recherche.

Tout d'abord, en référence aux travaux de Margnes cités préalablement, il est nécessaire d'énoncer que nous inscrirons ces travaux dans une conception sportive de l'activité. Dans une logique de performance, une conception sportive se centre avant tout sur le résultat par la recherche de la rentabilité technique et en privilégiant les formes en duels.

Le second élément concerne l'approche Parlebasienne des conduites motrices évoquée en préambule et à laquelle nous sommes particulièrement sensibles. Ainsi, le cadre s'articule autour du concept de « *logique interne* » des activités, défini comme le « *système des traits pertinents d'une situation motrice et des conséquences qu'il entraîne dans l'accomplissement de l'action correspondante* » (Parlebas 1981). Dans une publication plus contemporaine, il ajoute que la logique interne « *intègre les règles constitutives, l'esprit et la signification essentielle de l'activité physique et sportive* » (Parlebas 1991).

1.2.1) Les « *traits pertinents* » du judo

1.2.1.1) Une activité duelle

Dans ses premiers travaux, Parlebas propose une classification des pratiques sportives selon ce qu'il nomme les « *logiques motrices* ». Il positionne le judo dans les « *activités duelles* », c'est-à-dire les « *pratiques individuelles d'affrontement, face à face, dans lesquelles il y a constamment contre-communication entre les adversaires. Ces pratiques se distinguent par un certain rapport de distance d'individu à individu, médié ou non par un engin* » (Parlebas 1977). Selon son modèle, cette catégorie intègre donc l'ensemble des sports de combat et des sports de raquette qui ont tous pour spécificité la recherche de la victoire sur un seul et unique adversaire par confrontation directe.

Si tous les sports de raquette sont « *médiés par un engin* », seuls certains sports de combat, tels que l'escrime ou le kendo, utilisent un engin²⁵ pour l'affrontement. D'autres, tels que la boxe ou le judo utilisent directement leur corps en tant qu'arme pour atteindre l'adversaire.

Enfin, par opposition aux sports de raquette dans lesquels les adversaires évoluent sur deux surfaces distinctes²⁶ séparées d'un filet et sont instrumentés d'un projectile pour cibler la zone de marque, en sports de combat, les pratiquants s'affrontent sur une même surface en agissant directement sur le corps de l'adversaire. Calmet les définit comme « *un face à face où l'enjeu est le corps de l'autre* ». Le corps est à la fois l'arme et la cible, et les actions peuvent être « *simultanées et/ou symétriques* » (Calmet 2002).

Ainsi, si parfois dans la pratique du judo, des exercices techniques ou d'entraînement sont effectués sans adversaire ou partenaire, une analyse fine de la motricité de l'activité en se basant sur sa logique interne devra nécessairement étudier une situation incluant deux judokas.

1.2.1.2) Une activité à « *incertitude de l'adversaire* »

En 1981, Parlebas propose une nouvelle classification basée sur la structure des APSA²⁷. Ce modèle s'appuie sur le constat selon lequel les pratiquants peuvent être confrontés à trois types d'incertitudes dans les activités sportives : l'incertitude vis-à-vis du milieu, l'incertitude vis-à-vis du ou des adversaire(s) et l'incertitude vis-à-vis du ou des partenaire(s). La combinaison de ces trois incertitudes permet de classer les activités. Par exemple, en gymnastique artistique il n'y a pas d'incertitude, alors qu'en canoë-kayak d'eau-vive l'incertitude provient de l'environnement, et dans les sports collectifs des adversaires et des partenaires.

Dans les sports de combat, et donc en judo, il n'y a pas de partenaire de jeu²⁸ et la surface de combat est un élément stable. Les seules sources d'incertitudes proviennent donc de l'adversaire et de ses actions et réactions durant les phases d'opposition. L'essence de l'activité

²⁵ Souvent nommé « *arme* ».

²⁶ Ou pour le cas de la Pelote, sur une même surface mais avec alternance temporelle.

²⁷ Activités Physiques, Sportives et Artistiques.

²⁸ « *partenaire* » étant ici entendu comme partenaire durant les phases d'opposition, et non comme partenaire d'entraînement.

consiste donc pour le pratiquant, dans le cadre règlementaire défini²⁹ et médié par la préhension du « *judogi* »³⁰, à interpréter les actions et réactions d'un adversaire qui exploite le système d'actions motrices, et d'y apporter des réponses adaptées en utilisant ce même système d'action motrices pour remporter le duel, tout en créant de l'incertitude pour son opposant.

Cet élément est pour nous fondamental et constitue le point le plus important de la logique interne en judo : une analyse motrice de l'activité ne peut en aucun cas se passer d'une analyse en situation d'opposition, révélatrice d'un contexte écologique pour les pratiquants.

1.2.1.3) Une activité à score

L'approche conative, développée par Bui-Xuân à partir de 1987 dans l'objectif de proposer une pédagogie conative sortant du tout cognitif, est basée sur la prise en compte de ce qui pousse l'élève ou le sportif à agir. Sur ces principes, cette approche présente une classification des APSA en fonction des trois seules modalités de victoire possibles : la mesure, la conformité à un modèle, ou le score (Mikulovic et al. 2010). Pour ces auteurs, cette classification est porteuse de sens, car tout pratiquant, quel que soit le type d'activité, adhère nécessairement à la modalité de victoire.

La victoire par mesure³¹ se retrouve dans des activités telles que l'athlétisme ou encore la natation sportive. Elle s'obtient par exemple en réalisant un meilleur temps ou une plus longue distance que ses adversaires. Elle est principalement l'expression d'une structure de qualités physiques telle que par exemple la force ou la vitesse.

La victoire en référence à la conformité à un modèle correspond à des activités comme la gymnastique ou le patinage artistique. Une note, attribuée par des juges en référence au code règlementaire, permet d'établir le classement. Elle relève principalement de l'exécution de savoir-faire, souvent techniques. En judo, les compétitions de « *kata* » qui se développent depuis quelques années jusqu'à l'échelon international relèvent typiquement de cette modalité. Dans ces compétitions qui relèvent plutôt d'une approche traditionnelle du judo, les prestations visent à reproduire les différents « *kata* » conceptualisés par Kano. Dans une prestation en duo,

²⁹ Présenté dans la partie suivante.

³⁰ Parfois nommé « *kimono* » dans le langage courant.

³¹ Qui peut être par exemple une distance, un temps ou encore une masse.

« *tori* » et « *uke* »³² cherchent à se conformer au modèle idéal défini par le règlement fédéral ; les juges évaluent et notent la prestation en référence à ce modèle.

Enfin, la victoire par score se retrouve dans les sports collectifs d'opposition tels que le rugby, dans les sports de raquette tels que le tennis et enfin dans les sports de combat. Le judo, dans sa conception sportive, se place dans cette catégorie. La victoire s'obtient grâce à un score supérieur à son adversaire à l'issue de l'opposition. Elle est principalement l'expression de la fonctionnalité d'un sujet ou d'un collectif engagé dans le jeu.

En conséquence, afin que la situation d'opposition en contexte écologique prenne sens, la mise en place d'un score est indispensable à l'analyse selon une conception sportive.

1.2.1.4) Un sport de combat de préhension

Si l'on s'intéresse plus précisément aux concepts de distance et d'instrumentation dans les sports de combat, il est alors possible de les répartir en quatre sous-catégories.

La première regroupe les sports de combat instrumentés, c'est-à-dire nécessitant une arme pour toucher l'adversaire et remporter l'affrontement. Ces pratiques sont les plus distanciées, distance générée par l'instrument qu'est l'arme. On y retrouve des activités telles que l'escrime, la canne ou le kendo.

Une seconde catégorie concerne les sports de combat dits de percussion, c'est-à-dire qui nécessitent de frapper ou toucher le corps de l'adversaire avec des zones de son propre corps tels que les pieds ou les poings. La distance entre les adversaires est alors inévitablement plus réduite par rapport aux sports de combat instrumentés, puisqu'ils sont dans l'obligation de se toucher ponctuellement. Les différentes formes de boxes, le karaté ou encore le taekwondo font partie de cette catégorie.

La troisième catégorie regroupe les sports de combat dits de préhension, c'est-à-dire qui nécessitent de saisir le corps ou la tenue de l'adversaire pour agir sur lui et le déplacer selon une forme permettant de remporter l'affrontement. C'est dans ces pratiques que la distance d'individu à individu est la plus faible puisqu'il est nécessaire de rester en contact avec l'opposant pour exécuter des techniques. Certaines de ces activités sont instrumentées car elles

³² « *tori* » : attaquant ; « *uke* » : défenseur.

nécessitent une tenue particulière permettant la saisie de l'adversaire, c'est le cas de l'aïkido et du judo. Dans d'autres pratiques, aucun instrument n'est nécessaire, la saisie s'opérant directement sur le corps adverse, c'est le cas de la lutte libre, de la lutte gréco-romaine ou encore de certaines luttres traditionnelles telles que le sumo ou la lutte sénégalaise. Il est possible d'affiner le modèle en précisant que plus l'activité sera instrumentée, plus la distance sera importante : la distance de garde est plus importante en judo, activité médiée par une tenue³³, qu'en lutte libre, activité dans laquelle le corps est directement saisi (Clément 1981). En judo, cette préhension sur le « *judogi* » de l'adversaire est appelée « *kumi-kata* » ou « *garde* ».

Enfin, une dernière catégorie regroupe des pratiques que l'on pourrait qualifier de « *sports de combat de synthèse* » (Quidu 2017) qui hybrident préhension et percussion. Il s'agit par exemple du MMA³⁴, du pancrace ou du sambo combat.

Aussi, une analyse de la motricité s'appuyant sur la logique interne nécessite d'étudier des situations dans lesquelles les sujets sont revêtus d'un judogi ou d'une tenue équivalente permettant des préhensions similaires.

1.2.1.5) Un « *système d'actions motrices* »³⁵

Selon la définition de Parlebas précédemment citée, une activité physique acquiert le « *statut de sport* » au travers de quatre caractéristiques, dont le « *système d'actions motrices* » de l'activité. Jigoro Kano initie la construction de ce système à compter de 1882 (Cadot 2006). Il formalise le premier « *kata* » en 1887, le « *nage-no-kata* » qui vise à synthétiser les principes mécaniques des cinq catégories de « *nage-waza* »³⁶. En 1895, il propose un système de progression, le « *gokyo* », basé sur cinq niveaux. Progressivement, de nouvelles techniques, qu'elles soient de projection ou au sol, ont été inventées et exploitées par les judokas.

Aujourd'hui, nombre d'ouvrages³⁷ contemporains présentent ce « *système d'actions motrices* ». Ces derniers reprennent et catégorisent l'ensemble des techniques de projection et

³³ Le « *judogi* ».

³⁴ Mixed Martial Arts.

³⁵ Parlebas 1999.

³⁶ Techniques de projection debout.

³⁷ A titre d'exemple : Awazu 1974 ; Demontfaucou et Weiss 2011 ; Sato et Okano 1974 ; Weiss 2006.

techniques de sol³⁸. Ainsi, debout, il existe quatre familles³⁹ de techniques : de mains, de jambes, de hanches et de sacrifices⁴⁰. Au sol, trois familles sont utilisées : les immobilisations, les étranglements et les clés de bras⁴¹. Mais au-delà de ces techniques de projection ou de sol qui sont les plus visibles pour un œil néophyte, ces ouvrages proposent également d'autres formes, qui composent également le « *système d'actions motrices* » et qui sont indispensables à la conduite d'un affrontement. Il s'agit de techniques parfois dites « *de base* »⁴², ou dénommées « *habiletés techniques fondamentales* » par certains ouvrages et notamment ceux de la fédération française. On retrouve parmi elles les postures, les déplacements, les saisies, ou encore les techniques de chute⁴³.

Une analyse de la motricité s'appuyant sur la logique interne nécessite donc d'étudier des situations dans lesquelles les sujets exploitent le système d'action motrice constitué par le répertoire des techniques définies en judo.

1.2.2) Les règles constitutives

Les règles constitutives ont pour rôle de préserver la logique interne originelle de l'activité au sein d'une famille plus large. Il s'agit d'un concept proche de celui de « *noyau central du règlement* » proposé par Deleplace (1966) dans ses travaux antérieurs à ceux de Parlebas. Gaudin montre que par la construction de ces règles, les sports de combat « *ont été transformés de combats réels en activités codifiées et sont en conséquence régis par un dispositif de contention de la violence. [...] Le niveau de violence interindividuel a diminué de manière radicale (sans pour autant disparaître)* » (Gaudin 2009). Il s'appuie en ce sens sur les thèses d'Elias qui a mis en évidence un processus d'euphémisation de la violence dans le champ sportif (Elias et Dunning 1994).

³⁸ Techniques de projection : « *nage-waza* » ; techniques de sol : « *ne-waza* ».

³⁹ Certains modèles en proposent cinq en distinguant les techniques de sacrifices dans l'axe (« *mae-suteme-waza* ») des techniques de sacrifices de côté (« *yoko-sutemi-waza* »).

⁴⁰ De mains : « *te-waza* » ; de jambes : « *ashi-waza* » ; de hanches : « *koshi-waza* » ; de sacrifices : « *sutemi-waza* ».

⁴¹ Immobilisations : « *osaekomi-waza* » ; étranglements : « *shime-waza* » ; clés de bras : « *kantsetsu-waza* ».

⁴² « *kihon* »

⁴³ Saisies : « *kumi-kata* » ; techniques de chute : « *ukemi* ».

La caractérisation des « *règles constitutives* » est fondamentale car elle permet de distinguer le judo des autres sports de combat de duels médiés par un vêtement destiné à la préhension de l'adversaire, tels que le jiu-jitsu brésilien ou le sambo sportif. Les règles sont édictées par la Fédération Internationale de Judo dans son règlement sportif. Elle les fait régulièrement évoluer, souvent à chaque olympiade, avec pour objectif soit de modifier la pratique, souvent dans une optique de médiatisation, soit de s'adapter à certaines innovations des combattants. En effet, Vigarello a montré que « *les techniques changent aussi avec le règlement. [...] C'est l'institution qui dans la plupart des cas définit la pratique. C'est l'institution qui accepte ou refuse l'innovation.* » (Vigarello 1988). En fonction de l'orientation qu'elle souhaite donner à la discipline, la fédération peut donc être amenée à modifier certains points règlementaires, transformant ainsi les possibilités techniques des pratiquants.

1.2.2.1) Un objectif pour les combattants : la recherche du « *Ippon* »

Nous avons antérieurement précisé que le judo, en tant que sport de combat, est une activité dans laquelle la victoire s'obtient grâce à un score. Dans tout sport de combat, un objectif est recherché permettant d'obtenir instantanément la victoire au travers de ce score. À l'instar du « *KO* » en boxe ou du « *Tombé* » en lutte, le « *Ippon* » a cette fonction en judo. Dans l'inconscient collectif, il permet de rechercher la mort symbolique de son adversaire, synonyme de victoire (Bui-Xuân 1993), mais aussi il « *sanctionne l'efficacité et la justesse technique* » (Hilpron 2013).

« *Ippon* » qui signifie littéralement « *un point* » est obtenu lorsqu'une technique réunit tous les critères de validation (Cadot 2015). Il peut s'obtenir de cinq manières :

- debout, par projection de l'adversaire au sol sur le dos avec force, vitesse et contrôle ;
- au sol, par immobilisation⁴⁴ de l'adversaire sur le dos durant un temps règlementaire⁴⁵ ;

⁴⁴ « *osaekomi-waza* »

⁴⁵ Actuellement 20 secondes dans le règlement international.

- au sol, par abandon de l'adversaire suite à une technique de soumission qui peut être une clé de coude⁴⁶ ou un étranglement⁴⁷ ;
- par un cumul de valeurs inférieures au « *Ippon* » mais dont la somme engendre un « *Ippon* »⁴⁸ ;
- par disqualification de l'adversaire⁴⁹.

En conséquence, une analyse en situation écologique devra nécessairement s'opérer dans un contexte dans lequel les combattants doivent avoir pour objectif :

- soit debout de projeter leur adversaire sur le dos ;
- soit au sol de l'immobiliser ou de le soumettre.

1.2.2.2) Par des actions règlementées

Cette recherche du « *Ippon* » s'opère, comme évoqué précédemment, via une préhension⁵⁰ sur le « *judogi* » de l'adversaire, qui permet d'exécuter les techniques et mouvements autorisés. En fonction des évolutions règlementaires, les zones de saisie ainsi que les techniques autorisées ou interdites ont été amenées à évoluer. À titre d'exemple, auparavant la saisie du pantalon de l'adversaire était autorisée, depuis 2008 elle est désormais prohibée. Cette évolution a, de facto, engendré l'interdiction de certaines techniques de projections, telles que « *sukui-nage* » pourtant initialement intégrées dans le « *gokyo* » de Jigoro Kano. Il nous est ici inutile de référencer toutes les actions interdites mais il est toutefois possible de les regrouper en deux catégories.

La première regroupe des fautes mineures qui ont pour objectif d'orienter les combattants vers certaines formes motrices. En fonction de l'orientation qu'elle souhaite donner à la discipline, la fédération internationale peut être amenée à modifier certains points

⁴⁶ « *kansetsu-waza* »

⁴⁷ « *shime-waza* »

⁴⁸ Actuellement, deux « *waza-ari* » sont équivalents à un « *Ippon* ». Debout, le « *waza-ari* » est obtenu lorsqu'il y a projection de l'adversaire et qu'il manque un des critères du « *Ippon* ». Au sol, le « *waza-ari* » est obtenu pour un temps d'immobilisation compris entre 10 et 19 secondes.

⁴⁹ « *Hansoku-make* »

⁵⁰ Nommée « *kumi-kata* » ou « garde ».

règlementaires, transformant ainsi les possibilités techniques des pratiquants. La « *non-combativité* » en est un exemple intéressant puisque l'existence de cette faute invite les combattants à adopter un comportement offensif. Nombre de ces fautes mineures sont sanctionnées d'un « *shido* »⁵¹.

La seconde catégorie concerne les fautes graves mettant en péril l'intégrité physique des combattants ou témoignant d'un comportement anti-sportif ou contraire à l'éthique. Tous les sports de combat, qu'ils soient instrumentés ou non, de percussion, de préhension ou mixtes sont dotés de ce type de règles dont le but est la protection des sportifs. Gaudin (2009) montre que le processus de sportivisation a permis de passer « *de combats dans lesquels, a priori, tous les moyens sont bons* » et donc « *tous les coups sont permis* », à des combats où certains gestes sont interdits, parce que potentiellement meurtriers. » Dans le même esprit, Elias et Vigarello ont démontré le rôle fondamental de ces règles dans la diminution du seuil de violence toléré (Elias et Dunning 1994 ; Vigarello 1992). En judo, dans la majorité des cas, ces fautes entraînent l'exclusion du combattant, comme par exemple en cas d'exécution d'une clé d'épaule⁵².

Une étude en contexte écologique nécessite donc de prendre en compte ce cadre réglementaire, générateur de certaines formes motrices et prohibant d'autres formes. Les actions analysées doivent être exécutées en l'absence de fautes mineures ou majeures.

1.2.2.3) En évoluant dans un temps contraint et sur un espace délimité et sécurisé

Dans les sports de combat, en plus de l'action décisive permettant le gain du combat⁵³, la performance est à l'instar de nombre d'autres sports « *soit mesurable dans une unité quelconque (temps, distance, etc.), soit repérable par une ligne de démarcation (de terrain, d'aire, de zone) qui objective un franchissement synonyme de succès ou de faute* » (Gaudin 2009).

En judo, la durée maximale des combats est circonscrite à un temps établi réglementairement. Cette durée a évolué au gré des différentes transformations règlementaires ;

⁵¹ Trois « *shido* » entraînent un « *hansoku-make* ».

⁵² Qui entraîne « *hansoku-make* ».

⁵³ En judo, le « *Ippon* ».

elle est actuellement de quatre minutes. Elle permet à l'issue du temps imparti, si aucun des deux combattants n'a remporté le combat par « *Ippon* » de désigner le vainqueur qui sera alors celui des deux ayant le plus de points⁵⁴. En cas d'égalité à l'issue du temps réglementaire, soit le vainqueur est désigné par décision arbitrale, soit un temps supplémentaire permettant de départager les combattants est alloué. C'est ce deuxième système⁵⁵ qui est en vigueur actuellement.

Si la durée des combats est déterminée, l'espace l'est tout autant. Une surface de combat de forme carrée est matérialisée sur le sol au travers de la couleur des tapis⁵⁶. Elle détermine la zone sur laquelle peuvent évoluer les judokas, les actions devant être exécutées ou à minima initiées à l'intérieur de cette zone. L'arbitre peut également être amené à pénaliser d'une faute mineure une sortie de zone. Cette surface a une fonction à la fois stratégique et sécuritaire. Sécuritaire car les tapis ont pour rôle d'amortir les chutes lors des projections, mais également car leurs délimitations permettent de contenir les combattants sur une zone donnée et d'éviter ainsi les contacts avec d'autres doublettes également en situation d'opposition. Enfin, elle a une fonction stratégique car elle induit des comportements spécifiques dans les situations d'opposition. Les combattants peuvent être amenés à jouer avec les limites, à chercher les pénalités par les sorties de zone de leur adversaire. Il a par exemple été montré qu'en MMA, les surfaces de combat plus réduites conduisent à plus de fin de combat avant la fin du temps réglementaire par KO ou soumissions (Gift 2019).

En conséquence, une analyse en contexte écologique nécessite de contraindre les déplacements des judokas à une zone restreinte durant une temporalité déterminée.

1.2.3) L'esprit et la signification essentielle

La dernière caractéristique de la logique interne au sens où la définit Parlebas est « *l'esprit et la signification essentielle de l'activité physique et sportive* » (Parlebas 1991). À ce propos, pour les sports de combat, Gaudin précise que « *quelle que soit l'époque de leur « pacification », toutes ces formes de combat euphémisées présentent des caractéristiques communes* » (Gaudin 2009).

⁵⁴ En l'occurrence, actuellement si l'un a un « *waza-ari* », et le second n'a réalisé aucune marque.

⁵⁵ Nommé « *golden score* ».

⁵⁶ Aussi appelés « *tatamis* ».

1.2.3.1) Des principes moraux et des rituels

Des principes moraux ou éthiques ainsi que des valeurs sont souvent associés à chaque pratique⁵⁷. Dans la même logique, le judo communique sur des principes axiologiques : « *seiryoku-zen-yo* »⁵⁸ et « *jita-kyoei* »⁵⁹ et sur un code moral (Bui-Xuân et Ruffié 1999). Ces valeurs semblent « *aller de soi* » et sont véhiculées par les enseignants qui affichent un discours « *sur la « valeur éducative » de leur discipline et ce qu'elle serait censée transmettre* » (Julhe 2012). Au même titre qu'il existe des ouvrages consacrés à la technique, certains maîtres ou universitaires, à l'image de Jazarin⁶⁰, Brousse ou Cadot, consacrent des publications abordant ces valeurs (Jazarin 1968, 1974 ; Brousse 2016 ; Cadot 2015). Ils y expliquent notamment qu'au-delà de la méthode de combat, et de la pratique sportive mondialisée qu'il est devenu, le judo a également été conçu par Jigoro Kano comme une méthode d'édification spirituelle et morale.

Une seconde caractéristique réside dans le fait que « *les règles en vigueur dans le monde « normal » sont mises en suspens et qu'une certaine dose de violence interpersonnelle (découlant de l'engagement corporel dans l'agôn) est alors tolérée* » (Gaudin 2009). Cette « *mise en suspens du monde normal* » est matérialisée par un rituel, une forme de salut⁶¹, marqueur de temps, mais également marqueur d'espace : « *il inscrit le moment du combat dans un lieu qui lui est propre* ». Ce rite qu'est le salut en sports de combat, comme pour tout rite, s'opère par une forme cérémonielle et ses contraintes, avec « *les postures et les attitudes obligées, les manifestations corporelles dirigées, l'apparence physique tout entière contrôlée* » (Cuisenier 2006). Plus particulièrement en judo, Bui-Xuân et Ruffié confirment la fonction de ce « *micro-rituel d'interaction, pour les acteurs de la discipline* » (Bui-Xuân et Ruffié 1999).

Une analyse en contexte écologique nécessitera donc le respect des rituels, mais surtout des principes moraux de l'activité durant les phases d'opposition.

⁵⁷ Par exemple, la Fédération Française de Kick-boxing, Muay-thai et disciplines associées dispose d'une « *Charte d'éthique et de déontologie* ».

⁵⁸ Recherche d'efficience.

⁵⁹ Entraide et prospérité mutuelle.

⁶⁰ Ancien président du Collège des Ceintures Noires.

⁶¹ En judo, « *ritsurei* » pour le salut debout, et « *zareï* » pour le salut au sol.

1.2.3.2) Deux formes de combat

Enfin, une dernière caractéristique qui paraît essentielle dans l'esprit de la pratique est le fait qu'il n'y a pas une seule forme de combat standardisée en judo, mais deux formes distinctes. Jigoro Kano avait conçu le judo comme un « *système d'éducation* » (Brousse 2005) dont les procédés d'apprentissage étaient basés sur le « *kata* » et le « *randori* », puis plus tard par les « *shiai* ». Si les « *kata* » sont des formes codifiées d'attaques et de défenses sans incertitude, les « *randori* » et les « *shiai* » sont des formes de combats distinctes avec des fonctions différentes.

Le « *randori* », signifie « *saisies sans convention* » et est selon lui « *l'exercice aujourd'hui le plus pratiqué en judo* » (Cadot 2015). Il est défini dans le Charte du judo français comme « *la rencontre de deux judokas dans une confrontation dont la victoire ou la défaite n'est pas l'enjeu. [...] Il est pratiqué dans une perspective de progression* ». Il s'agit en somme d'un combat d'entraînement, et c'est dans cet esprit que le proposait Jigoro Kano dans sa méthode. Le « *randori* » permet de travailler avec de l'incertitude durant les entraînements, ce que confirme le Maître : « *durant le randori, personne ne peut deviner ce que son adversaire va faire ; ainsi chacun doit être prêt à faire face à une attaque soudaine de l'adversaire* » (Brousse 1996).

Le « *shiai* », quant à lui, peut être considéré comme un « *assaut d'art martial suivant des règles sportives* » (Habersetzer et al. 2000). La charte du judo français le définit comme « *la rencontre entre deux judoka dont la victoire ou la défaite est l'enjeu. Il se pratique [...] en fonction de règles prédéfinies qui permettent de juger de celui qui l'emporte* ». Cette définition correspond notamment aux combats pratiqués en compétitions. La charte précise également qu'il s'agit d'« *une épreuve de vérité, un test mutuel d'ordre technique, physique et mental* ».

En conséquence, une étude de la motricité des combattants en contexte écologique pourra s'opérer soit dans un contexte de « *randori* » lors de séquences d'entraînement, soit durant des « *shiai* » en compétition. Du fait des actions et réactions de l'adversaire qu'elles permettent, ces deux formes de combat se déroulent en situation d'incertitude. Cet élément est pour nous fondamental et constitue le point le plus important : une analyse motrice de l'activité ne peut en aucun cas se passer d'une analyse en situation d'opposition, révélatrice d'un contexte écologique pour les pratiquants.

1.3) Conséquences sur un protocole en situation écologique

Cette proposition de modélisation, basée sur le concept de « *logique interne* » cher à Parlebas, a permis de mettre en évidence les éléments indispensables à l'analyse du judo selon une conception sportive. Au même titre qu'Eloi et Uhlrich, en tant qu'enseignant et entraîneur, ces principes nous paraissent essentiels à toute approche pédagogique et didactique de l'activité (Eloi et Uhlrich 2001). Dans la même logique, et en cohérence avec la démarche initiée dans le cadre de cette recherche, ils nous apparaissent également indispensables dans la mise en place d'un protocole d'analyse de la motricité en contexte écologique. Les principes précédemment présentés sont les suivants :

- une activité duelle opposant nécessairement deux judokas ;
- revêtus d'un judogi ou d'une tenue équivalente permettant des préhensions équivalentes ;
- utilisant un système d'action motrice permettant des actions alternées, simultanées et symétriques, et constitué par le répertoire des techniques définies en judo ;
- en situation d'opposition sous une forme de combats d'entraînement ou de compétition ;
- dont l'objectif est la recherche d'un score, le « *Ippon* » : debout en projetant l'adversaire sur le dos, ou au sol en cherchant à l'immobiliser ou le soumettre ;
- en l'absence de fautes mineures ou majeures ;
- dans un cadre où les déplacements sont restreints sur une zone délimitée et durant une temporalité déterminée ;
- et dans le respect des rituels ainsi que des principes moraux de l'activité.

C'est à ces seules conditions que l'analyse pourra s'opérer dans un contexte d'incertitude vis-à-vis de l'adversaire correspondant à la logique interne du judo. En cohérence avec le modèle de Parlebas, cette incertitude est selon nous l'élément clé et par conséquent indispensable dans une étude en contexte écologique.

CHAPITRE 2

CADRE THÉORIQUE

2.1) Contours du cadre théorique

2.1.1) Une centration sur les phases d'opposition debout

Lors de la partie introductive, nous avons précisé que la situation de combat en judo pouvait s'accomplir dans deux phases spatiales distinctes : debout puis au sol. Si dans les deux cas l'objectif reste la recherche du « *Ippon* », les moyens pour y parvenir sont divergents⁶² et les motricités usitées sont par conséquent bien distinctes. Il n'est d'ailleurs pas nécessaire d'avoir un regard d'expert pour faire ce constat. Dans le cadre de nos recherches, il nous était matériellement impossible⁶³ de mener une étude sur les deux niveaux, et nous avons donc dû opérer un choix. Aussi, nous souhaitons dès lors préciser que nous nous consacrerons exclusivement à l'analyse des phases d'opposition debout.

Nous avons opéré ce choix pour quatre raisons. La première d'entre elles, sans doute la moins rationnelle de toutes mais tout aussi importante, est que nous avons personnellement, en tant que pratiquant et entraîneur, une préférence pour le travail debout et nous souhaitons plutôt analyser cette phase de combat. Ensuite, d'un point de vue plus pragmatique, la littérature scientifique axée sur l'analyse de la motricité des judokas aborde principalement le combat

⁶² Pour rappel, debout le but est d'obtenir un « *Ippon* » en projetant son adversaire au sol sur le dos, alors qu'au sol il s'obtient par immobilisation ou soumission.

⁶³ Notamment pour des questions de temps.

debout, les phases de « *ne-waza* »⁶⁴ sont plus rarement étudiées⁶⁵. Nous avons donc préféré nous appuyer sur cette littérature préexistante consacrée au travail debout et qui constitue par conséquent une meilleure base pour notre cadre théorique. Enfin, deux données factuelles permettent d'expliquer la préférence des chercheurs pour le travail debout et viennent confirmer notre choix : en compétition le temps de travail debout ainsi que le nombre d'attaques sont nettement supérieurs par rapport aux phases de sol. En effet, lors des combats officiels internationaux⁶⁶, les combattants passent 25% du temps du combat au repos, 60% sur de l'opposition debout et 15% sur du sol (Monteiro et al. 2019). En somme, les judokas passent quatre fois plus de temps à combattre debout qu'au sol. Cette prédominance du debout sur le sol est également confirmée par un rapport interne à la Fédération Française de Judo qui analyse des compétitions internationales⁶⁷ (Loison 2016). Il montre que le nombre d'attaques debout, ainsi que le nombre d'attaques debout générant des points sont bien supérieurs au nombre d'attaques au sol et au nombre d'attaques au sol générant des points. À titre d'exemple, lors des championnats du Monde de 2014 et 2015 et des Jeux Olympiques de 2016, toutes catégories confondues, 13 966 attaques ont été lancées debout, contre 4826 au sol. Sur l'ensemble de ces actions 1 760 ont permis de marquer des points debout contre 807 au sol. Ainsi, dans le judo contemporain, le travail debout prend une part prépondérante, ce qui justifie pleinement de centrer nos travaux sur ce dernier.

2.1.2) Une centration sur la composante technique

Dès lors qu'un judoka est confronté à une situation écologique correspondant au modèle proposé précédemment, il est dans des conditions de production d'une performance répondant à la logique interne du judo. Paillard défend l'idée que cette performance est « *complexe* » et repose sur quatre « *facteurs individuels relevant des composantes biologiques, psychologiques,*

⁶⁴ Phase de combat au sol.

⁶⁵ Nous n'avons pas fait d'études statistiques sur ce sujet, mais nos recherches bibliographiques réalisées durant notre étude témoignent d'une réelle prédominance des articles consacrés au travail debout au dépens d'articles abordant le travail au sol.

⁶⁶ En analysant les championnats du monde de 2013 à 2017 ainsi que les Jeux Olympiques de 2016.

⁶⁷ Les championnats du monde de 2014 et 2015 et des Jeux Olympiques de 2016.

techniques et tactiques » (Paillard 2010). De nombreuses recherches faisant l'objet de publications se sont attachées à étudier ces différentes composantes⁶⁸.

Une approche culturaliste, voire anthropologique, permet une autre modélisation de l'activité du pratiquant d'un art-martial « *selon un modèle triangulaire que l'on nomme shin-gi-tai en japonais* » (Mesli 2010). Schématiquement, le « *shin* » correspond à l'« *esprit* »⁶⁹, le « *gi* » à la « *technique* »⁷⁰ et le « *tai* » au « *corps* »⁷¹ (Hilpron 2012b). En judo, ce triptyque forme un tout « *indissociable* » pour atteindre l'efficacité (Rougé 2008). L'accès au « *1° dan* », premier grade de la traditionnelle ceinture noire, vise à attester de l'accès au niveau initial de maîtrise de ces trois éléments (Brousse 2016).

Aussi, en cohérence avec notre projet de recherche précisé en préambule, nos travaux se centreront uniquement sur la composante nommée « *technique* » par Paillard, autrement dit sur le « *gi* » du triptyque. « *Technique* » est ici entendue dans une acception très large. Dans la prochaine partie, nous nous attacherons à définir et caractériser ce concept au regard de notre étude.

⁶⁸ A titre d'exemples :

- pour la composante psychologique : Blumenstein, Lidor, et Tenenbaum 2005 ;
- pour la composante physiologique : Callister et al. 1991 ;
- pour la composante tactique : Calmet, Trezel, et Ahmaidi 2006.

⁶⁹ C'est-à-dire la pensée, le désir, le pourquoi, l'intention, l'énergie intérieure.

⁷⁰ C'est-à-dire le geste, l'exécution de la technique, la manière, l'accomplissement du « *shin* ».

⁷¹ C'est-à-dire ce sans quoi ni le « *shin* » ni le « *gi* » ne peuvent s'exprimer, c'est le moteur du geste, autrement dit cela renvoie aux qualités physiques.

2.2) Le concept de technique

Dans les ouvrages professionnels et scientifiques consacrés au judo précédemment évoqués, le terme « *technique* » est indifféremment et largement employé pour évoquer toute forme de conduites motrices proposées par les judokas sur les tatamis.

2.2.1) Technique et technologie

2.2.1.1) Étymologie et philosophie de la technique

Selon Castoriadis, technique vient du grec « *technè* » qui signifie « *fabriquer* », « *construire* », ou « *produire* ». Quant à son dérivé « *teuchos* », il signifie « *outil* » ou « *instrument* ». L'auteur précise que « *technè* », signifiant à l'origine « *production* » ou « *fabrication matérielle* » va rapidement devenir le « *faire efficace* » (Castoriadis 1973). À l'origine, technique et art sont synonymes. Le grec « *technè* », traduit « *ars* » en latin, correspondait à tout savoir-faire traditionnel permettant d'obtenir à volonté un résultat donné. C'est ainsi qu'il comprenait à la fois les métiers, les habiletés mais également les beaux-arts. Ce n'est qu'à partir du XVIII^e siècle que le mot ne désigne plus que l'activité utilitaire.

La technique est une compétence fondamentale de l'homme dès l'*homo-faber*. Elle est l'ensemble des moyens et des procédés permettant d'obtenir un résultat désiré en s'appuyant sur l'expérience ou la science. Alors que l'art, dans son acception « *beaux-arts* », recherche les formes esthétiques, la technique n'a pour souci que l'utilité et l'efficacité.

Le philosophe Ellul distingue l'opération du phénomène. L'opération technique recouvre tout travail réalisé grâce à une certaine méthode, en vue d'atteindre un certain résultat. « *Le phénomène technique est la préoccupation de l'immense majorité des hommes de notre temps de rechercher en toutes choses la méthode absolument la plus efficace* » (Ellul 1977). La technique, en tant qu'opération comme en tant que phénomène, constitue de la sorte un système, c'est-à-dire un ensemble d'éléments en relation les uns avec les autres de telle façon que toute évolution de l'un provoque une évolution de l'ensemble, et que toute modification de l'ensemble se répercute sur chaque élément. Ainsi, pour cet auteur, le premier caractère du système technique est l'autonomie. Cela signifie que la technique ne dépend finalement que d'elle-même. En conséquence, c'est l'homme qui doit s'adapter à la technique et non l'inverse.

Elle a permis à l'homme de maîtriser la nature, pour devenir elle-même une seconde nature dont l'homme subit désormais les assauts, et à laquelle il doit s'adapter.

2.2.1.2) La technologie : une rationalisation de la technique

Combarnous déclare qu'« *en un premier sens, conforme à l'étymologie et aux traditions, la technologie est l'étude d'un procédé ou d'une technique* » (Combarnous 1984). Ainsi, on peut penser la technologie comme l'étude des techniques dans le but de réfléchir sur les manières de faire. La technologie correspond donc à la connaissance des techniques, elle s'efforce de mieux les interpréter, de les objectiver, en dégagant les mécanismes de leur efficacité. Dans la littérature scientifique, il est possible d'identifier deux approches en matière de technologie.

La technologie culturelle considère la technique comme un produit de la culture humaine. En ce sens, elle tente d'établir les rapports entre les techniques et les phénomènes socioculturels et adopte une approche contextuelle. Cette approche est en filiation directe avec l'ethnologie et l'anthropologie culturelle et notamment avec les travaux décrits ultérieurement de Mauss dès 1934, ou encore avec ceux de Leroi-Gourhan en 1950, tous deux s'intéressant aux gestes techniques (Flichy 2003). Elle émerge au sein des sciences sociales, dans un premier temps dans les recherches anglo-saxonnes, autour du concept de « *Science and technology studies (STS)* » (Debailly et Quet 2017). Cresswell, auteur précurseur, considère qu'« *il existe une homologie entre les structures techniques et certaines structures sociales* » et qu'ainsi, aborder la technologie culturelle c'est partir de « *l'étude du trajet, des rapports indissolubles entre structure technique et structure sociale, ainsi que leur constante structuration et déstructuration* » (Cresswell 1996). Ce courant s'inscrit dans le même paradigme que les travaux des sociologues Latour et Callon (Latour et Woolgar 1979 ; Callon 1989 ; Callon et Latour 1991).

Un second courant, que l'on pourrait qualifier de technologie praticienne et scientifique, est fondé sur l'observation et la réflexion de l'« *objet technique* ». Simondon, philosophe et précurseur de cette approche, considère ainsi que la technologie est « *une science intégrative qui constitue le lien entre la technique et la science* », par conséquent « *la technologie ne peut se développer que sur une réalité déjà technique* ». Selon sa conception, il la définit comme l'« *étude de l'objet diachronique, selon sa genèse (discontinue, par grandes inventions, ou continue, par perfectionnements), et synchronique, sous la forme de la définition des régimes*

de fonctionnement et des structures » (Simondon 1958). Sa méthode peut être qualifiée de « *génétique* », basée sur l'invention du fonctionnement des objets techniques, il propose des « *lignées techniques* » permettant d'expliquer la genèse des objets techniques qu'il organise autour de classifications (Bontems 2016). Inspiré des travaux de Leroi-Gourhan, il a malgré tout une vision inverse car il s'oppose à l'anthropologie des techniques et à la séparation de la culture et des techniques. Dans la lignée de ces travaux, Deforge, didacticien de la technologie, la considère comme un premier pas vers la culture technique : « *c'est un rassemblement écrit, dessiné, ordonné, et raisonné de savoirs, et de savoir-faire, relatif à un champ spécifique assez restreint* » (Deforge 1993). Pour cet auteur, un enjeu important serait de passer d'une technologie pratique à une technologie scientifique. Les techniques devraient être analysées en utilisant des connaissances et instruments issus de divers champs scientifiques afin d'en valider leur usage. Il conçoit la technologie « *non pas comme un terme qui nous décrit une réalité objective, mais au contraire comme un modèle explicatif, d'une certaine réalité où apparaît soit le processus soit le résultat de ce processus technique* » (Deforge 1993). De la sorte, il souhaite que l'on atteigne une connaissance des opérations du processus de production technique, mais également une connaissance de l'ensemble des composantes investies dans la technique.

2.2.2) Techniques du corps

Mauss est à l'origine du concept de « *techniques du corps* » (Mauss 1934) : « *j'entends par ce mot les façons dont les hommes, société par société, d'une façon traditionnelle, savent se servir de leur corps* ». Son étude consiste à repérer les différentes manières qu'ont les hommes d'utiliser leur corps. Ainsi, il fait passer les rites au stade de technique qu'il considère comme « *un acte traditionnel efficace* ». Il opère un glissement de concept : d'un corps comme instrument, il passe à un corps comme moyen technique, puis à un corps comme objet technique. Pour cet auteur, le corps serait malléable, ce qui conduirait à la notion d'« *habitus* » : « *ces habitudes varient non pas seulement avec les individus et leurs imitations, elles varient surtout avec les sociétés, les éducations, les convenances, et les modes, les prestiges* ». Le corps serait donc un « *construit social* ».

Il propose un classement des techniques s'appuyant sur quatre axes. Une première catégorie divise les techniques en fonction du sexe. Hommes et femmes naturellement n'adoptent pas les mêmes techniques : « *car il y a une société des hommes et une société des femmes* ». Puis, il les classe en fonction de l'âge de l'individu. Des techniques qui semblent

naturelles pour les enfants disparaîtraient à l'âge adulte. Il prend l'exemple de la position accroupie que tout enfant peut adopter alors que peu d'adultes y parviennent. Une troisième catégorie ordonne les techniques du corps en fonction du rendement : des techniques différentes peuvent avoir un même objectif mais des rendements différents. Enfin, le dernier axe est relatif à leur enseignement. Les techniques corporelles peuvent s'enseigner grâce à diverses méthodes : « *L'éducation des enfants est pleine de détails, mais qui sont essentiels* ». Toutefois, Mauss n'intègre pas les techniques sportives dans les techniques du corps mis à part la natation et la marche qu'il considère comme utilitaires.

La définition de Mauss est reprise et complétée par Vigarello : « *Les techniques corporelles sont des manières de faire, des procédés visant l'efficacité, un ensemble de repères stables permettant répétition et affinement de l'action, un ensemble de constructions ou de stratégies motrices susceptibles de perfectionnement* ». De plus, il précise que « *la technique corporelle correspond aux moyens physiques transmissibles jugés les plus adéquats pour atteindre un but dans une situation donnée* » (Vigarello 1988). Ce dernier paraît dans sa définition moins restrictif que Mauss, puisqu'elle permet d'inclure les techniques sportives.

2.2.3) Techniques sportives et technologie dans le champ des STAPS

2.2.3.1) Techniques sportives

Toutefois, pour Arnaud et Broyer, les techniques sportives ne correspondraient à aucun des critères énoncés par Mauss car le sport serait « *producteur de techniques factices* », c'est-à-dire non traditionnelles (Arnaud et Broyer 1983). En effet, pour ces deux auteurs, les techniques sportives n'ont été inventées que dans un seul but : la performance à visée de comparaison. Ils précisent que « *le sport est une motricité sous contraintes et, de ce fait, les manières de faire et d'agir se réduisent à la reproduction de stéréotypes de rendement optimal* ». Le sport imposerait donc des techniques universelles en occultant les particularismes régionaux.

Arnaud propose par la suite un modèle définissant les techniques sportives selon quatre traits communs (Arnaud 1986) :

- elles visent l'excellence de la performance dans des conditions de tâches et d'environnements données ;

- elles ont des configurations provisoirement stabilisées, donc évolutives, et qui répondent à des systèmes de contraintes ;
- elles ne sont adaptées qu'à des situations définies par et pour les institutions sportives ;
- elles sont celles qui sont jugées comme les plus efficaces pour atteindre les meilleures performances.

D'autres auteurs issus du champ des STAPS ont travaillé sur ce concept et en ont proposé des définitions. Nous en avons retenu trois qui nous apparaissent comme fonctionnelles et correspondant au cadre de nos travaux.

Goirand considère la technique sportive comme « *un acte productif efficace* » et précise qu'elle est « *le résultat de l'activité adaptative des individus dans un environnement culturel, matériel et humain. La technique, c'est tout à la fois, l'ensemble des moyens reconnus comme efficaces dans une situation donnée ou une classe de situations et l'activité des individus qui produisent ces moyens* » (Goirand 1996). Pociello (1994) la définit comme « *l'acte le plus approprié à sa fonction et le plus efficace dans ses résultats. C'est le savoir-faire productif* ». Enfin, Marsenach (1994) considère qu'elle est « *une activité adaptative des pratiquants pour inventer des solutions aux problèmes posés par le milieu évolutif défini par les règles et codes de l'APS* ».

À la lecture de ces définitions, on discerne aisément des invariants dans le concept. Elles paraissent notamment :

- répondre à un problème posé ;
- par une adaptation du sujet à un contexte singulier ;
- dans un souci d'efficacité.

2.2.3.2) La technologie dans le champ des STAPS

La technologie, au sens défini précédemment de l'étude et l'analyse des techniques, est également abordée dans le champ des STAPS, à la fois selon des approches culturelles et selon des approches praticiennes.

La technologie culturelle « *tente d'établir des relations entre les techniques sportives et les contextes socio-économiques et culturels qui les ont produites* » (Metzler 1996). Investie principalement par le domaine des sciences sociales, cette approche se donne pour ambition de dépasser la considération biomécanique de la technique pour chercher à faire émerger la signification culturelle des savoir-faire. Ainsi, Goirand précise qu'« *une technologie culturelle doit se distinguer d'une simple technologie [...] pour établir les liens entre les techniques et les contextes sociaux et culturels qui les ont produites* » (Goirand 1996). Un des auteurs phare de cette approche dans le champ des STAPS est Vigarello, notamment au travers de son célèbre ouvrage « *Une histoire culturelle du sport : Techniques d'hier... et d'aujourd'hui* » (Vigarello 1988). Comme en témoigne le titre de son intervention lors d'un colloque consacré à l'anthropologie du sport : « *Pour une technologie culturelle dans le champ des pratiques sportives* » (Vigarello 1991), il est un fervent défenseur de cette approche. Il milite ostensiblement pour que la technique trouve toute sa place dans le champ des recherches en lien avec les pratiques sportives. La défense par Vigarello de ce type d'étude se justifie dans le sens où, même si la technologie culturelle reste le courant largement dominant en STAPS, les technologies sportives constituent malgré tout un segment très peu investi par les chercheurs (Robène 2014). Ce constat s'opère plus spécifiquement par rapport à l'histoire : « *le domaine de l'histoire des techniques sportives est encore, quantitativement, relativement faible au regard d'autres thématiques [...] et atteste de la vastitude d'un chantier encore peu exploré* » (Robène 2014). C'est cette approche que nous avons personnellement adoptée lors d'une précédente publication consacrée à l'histoire des techniques en canoë-kayak (Terret et al. 2017). En judo, à titre d'exemple, il a été démontré par cette approche que les techniques utilisées par les judokas lors de compétitions japonaises et internationales entre 1929 et 1983 ont évolué en lien avec la sportivisation de la pratique et les évolutions réglementaires ; et notamment que le judo debout a progressivement perdu en rentabilité au profit du sol⁷², de même que certains groupes techniques debout ont gagné en rentabilité, pendant que d'autres la voyaient diminuer (Brousse 1986). Ainsi, la technologie culturelle se distingue de la technologie praticienne en tentant d'établir les liens entre les techniques et les contextes sociaux et culturels qui les produisent.

Concernant le second courant, dit de la technologie praticienne et scientifique, il intéresse particulièrement les questions de terrain en les soumettant à une approche scientifique

⁷² Le judo debout restant malgré tout bien plus rentable.

susceptible de les éclairer. L'utilité de ce type de recherches est à mettre en évidence notamment pour « *accroître les connaissances sur l'intervention, contribuer à la constitution de savoirs sur la formalisation et la transformation des techniques corporelles, contribuer à l'optimisation des procédures d'entraînement, de formation et d'enseignement* » (Mouchet et al. 2010). Pour autant, la technologie selon une approche praticienne et scientifique a plutôt été délaissée dans les recherches en STAPS au profit des champs scientifiques reconnus : « *le domaine de la technique qui répond à un enjeu fondamental des STAPS, à son territoire majoritaire d'intervention, a été omis comme d'ailleurs dans la majorité des sciences d'appui* » (Léziart 2006). Pour Léziart, les STAPS n'ont pas développé leur originalité scientifique et ont régulièrement cherché à renforcer les schémas des modèles dominants de la science. Technique et activités physiques et sportives sont alors peu valorisées et donc peu incluses dans les thématiques de recherche. Bouthier estime quant à lui, qu'après une période critique du technicisme, une réhabilitation des techniques corporelles apparaît malgré tout à compter du début des années 1980, avec une technologie qui passe d'une vision « *technocentrée* » à une approche « *anthropo-techno-didactique* » (Bouthier 2008). Elle reste cependant, même pour cet auteur, un parent pauvre en STAPS.

Des travaux dès les années 80, puis surtout à partir des années 1990 s'attachent toutefois à dynamiser la recherche dans ce domaine notamment en proposant des principes méthodologiques propres à cette approche. Bouthier et Durey ont en ce sens proposé les caractéristiques de ce type d'études (Bouthier et Durey 1994). Ainsi, ils avancent l'idée qu'une étude adoptant une approche technologique doit répondre aux caractéristiques suivantes :

- un ancrage sur des situations et problématiques de terrain, qui peuvent être dans le champ de l'entraînement, de la formation ou de l'enseignement ;
- un objet d'étude constitué par les techniques corporelles ou techniques sportives avec l'objectif de les caractériser, les décrire, ou les comprendre ;
- une finalité d'intervention et de transformation du réel ;
- la construction d'un cadre théorique, articulant des approches plurielles, qui traduit un ensemble connaissances, scientifiques, technologiques sur les APSA, professionnelles ;
- une « *scientificité* » privilégiant une approche systémique ;

- la mobilisation de méthodes quantitatives et/ou qualitatives articulées avec une certaine « *créativité technique* » par rapport aux méthodes de recueil et traitement des données ;
- des collaborations entre chercheurs et praticiens.

Par la suite, dans la continuité de ces éléments de cadrage, Mouchet et al. précisent que « *les recherches en technologie des APSA ne s'inscrivent pas dans une logique classique de démonstration de la preuve, mais dans un souci de compréhension d'objets complexes et de transformation du réel* » qui suppose cette approche méthodologique singulière (Mouchet et al. 2010). Ces caractéristiques ont notamment pour objectif d'éviter « *la fragmentation entendue comme une morcellisation de l'objet de recherche* » afin de « *conserver la complexité de la pratique comme une condition de la recherche* » (Uhlrich et al. 2011).

2.2.4) Concepts associés à la technique

De multiples courants se sont attachés à modéliser l'apprentissage des techniques et conduites motrices. Il n'est pas question ici d'en faire une synthèse exhaustive mais de résumer quelques approches et concepts présentant des liens intéressants avec notre étude.

2.2.4.1) Habiletés techniques

L'habileté est un concept en lien avec la technique très régulièrement exploité dans la littérature professionnelle ou scientifique. Il est donc nécessaire d'éclaircir ce lien et de préciser l'articulation existante.

Guthrie définit l'habileté comme la « *capacité acquise par apprentissage à atteindre des résultats fixés à l'avance avec un maximum de réussite et souvent un minimum de temps, d'énergie ou les deux* » (Guthrie 1957). Durand propose une définition similaire : « *la capacité, acquise par l'apprentissage, à élaborer et à réaliser une réponse efficace et économique pour atteindre un objectif précis* » (Durand 1987). Aussi, l'habileté est incarnée par un individu nécessairement suite à une phase d'apprentissage ; elle n'est donc pas préexistante. De plus, si l'on considère qu'une technique sportive est une réponse motrice efficace et économique pour atteindre un objectif de performance dans un contexte singulier, alors l'habileté technique

pourrait être entendue comme la capacité, acquise par l'apprentissage, à produire une technique sportive.

Leplat et Pailhous « *considèrent la technique comme une procédure faisant l'objet d'une transmission, et réciproquement l'habileté comme l'intériorisation, l'appropriation d'une technique* » (Leplat et Pailhous 1981 cités par Devezeaux 2021). En ce sens, la technique serait donc une forme motrice efficace transmissible, et l'habileté technique la capacité qu'aurait un sujet à reproduire cette technique. Une même technique sportive sera donc reproduite différemment entre un sujet expert présentant un haut niveau d'habileté et un sujet débrouillé présentant un niveau d'habileté moyen. Cette analyse résonne avec les propos de Paillard qui affirme que « *la reproduction à l'identique de la façon de faire d'un champion est illusoire et improductive, voire contre-productive, le geste personnel du champion est la conséquence d'adaptations qui lui sont propres* » (Paillard 2010). De ce point de vue, l'acte d'enseignement ou d'entraînement dans le champ de la pratique sportive peut viser, entre autres, à améliorer le niveau d'habileté chez les élèves ou athlètes.

La notion d'habileté motrice est aussi souvent évoquée ; l'habileté technique est une des sous-catégories de celle-ci (Famose 1990). Ce concept plus large permet d'intégrer l'ensemble des habiletés nécessaires à la production d'une performance, à savoir également les habiletés perceptives et les habiletés décisionnelles.

La littérature regorge de différentes catégorisations des habiletés motrices dont nous proposons ci-dessous une synthèse (Devezeaux 2021 inspiré de Delignières 2004):

- Habiletés fermées⁷³ ou habiletés ouvertes : en judo les habiletés sont ouvertes car le milieu est incertain du fait de l'incertitude créée par l'adversaire ;
- Habiletés discrètes, sérielles⁷⁴ ou continues, et habiletés cycliques⁷⁵ ou a-cycliques : en judo, les habiletés sont continues car insérées dans une phase sans début ni fin réellement identifiable, et a-cycliques car toutes distinctes les unes des autres ;
- Habiletés topocinétiques ou morphocinétiques : les premières correspondent à des habiletés qui ont pour objectif une atteinte d'efficacité, c'est le cas des

⁷³ Par exemple un lancer de javelot.

⁷⁴ Par exemple un swing en golf pour une habileté discrète et un saut en longueur pour une habileté sérielle.

⁷⁵ Par exemple pagayer en kayak.

techniques de judo en situation d'opposition ; les secondes sont des habiletés qui visent à produire des formes gestuelles prédéfinies, par exemple les « *kata* » en judo ;

- Habiletés posturo-cinétiques⁷⁶ ou manipulatoires : en judo les habiletés sont manipulatoires car elles visent à atteindre un but par la manipulation d'un adversaire ;
- Habiletés simples⁷⁷ ou complexes : en judo les habiletés sont complexes car elles mobilisent de nombreux segments de manière variée et variable et nécessitent de faire des choix.

2.2.4.2) Structure, forme et fonction

Certains écrits s'intéressant à la technique s'attachent à distinguer la forme et la fonction d'un geste sportif (Lafont 2002). L'approche visant à caractériser la technique par sa forme définit le geste en référence à un expert, à une norme, à un modèle à reproduire pour atteindre l'efficacité. En ce sens, la technique correspondrait à l'habileté experte. Une seconde approche, qui peut être considérée comme constructiviste, consiste à qualifier le geste en référence à sa fonction. Considérant cette approche, la technique est celle qui répond à un problème, dans un contexte singulier, sans forme imposée. Ainsi, un geste peut être fonctionnel sans nécessairement être expert d'un point de vue de sa forme. Par exemple la technique « *ippon-seoi-nage* » peut être aisément décrite de manière très formelle en référence au champion⁷⁸ ; sa fonction est de marquer un « *Ippon* » face à un adversaire quel que soit le niveau d'habileté avec lequel elle est effectuée.

Afin de définir le geste sportif, la Gestaltheorie utilise ces mêmes concepts mais avec une approche plus systémique. Gestalt signifie en allemand « *la forme* », « *ce qui apparaît* ». Originnaire d'Allemagne, la théorie de la Gestalt relève d'abord de la philosophie et de la psychologie et s'est développée en réaction à une tendance dominante en psychologie au moment de son émergence, où l'on cherchait à isoler les éléments. L'approche gestaltiste aborde les conduites motrices comme des formes, mais en dépassant l'opposition forme/fonction et en

⁷⁶ Qui passent uniquement par l'utilisation du corps : par exemple la gymnastique au sol ou le 400m en athlétisme.

⁷⁷ Qui impliquent une seule réponse possible : par exemple le lancer de poids en athlétisme.

⁷⁸ Pour exemple : Nakanishi 1998.

les considérant dans une relation de co-détermination réciproque (Ganière et Cizeron 2013). De ce fait, « *les formes ne peuvent pas être quelconques et intègrent des contraintes ; d'autre part, les fonctions participent à la configuration d'une organisation vivante dont la forme est une des résultantes* » (Ganière 2015). Ainsi, la forme peut avoir un sens faible qui correspond aux configurations spatio-temporelles du mouvement, et un sens fort qui correspond à la structure c'est-à-dire l'organisation complexe de l'organisme à laquelle participent toutes les fonctions vitales.

La structure peut être définie en relation avec la notion de système, c'est-à-dire un ensemble d'éléments qui interagissent entre eux, et la structure est spécifiée par les éléments qui composent le système et leurs interactions (Cizeron et Ganière 2012). Selon cette approche, la fonction « *se définit comme le rôle que joue l'ensemble organisé (le système) dans un environnement donné, c'est-à-dire comme l'ensemble des propriétés qu'il manifeste dans cet environnement* » (Ganière 2015). Structure et fonction sont par conséquent les deux composantes d'un même système. Ainsi, au sens gestaltiste, les conduites motrices sont des structures qui ne sont identifiables que par la forme qu'elles adoptent incarnées par un sujet. Par conséquent, cette approche vise à montrer que « *les formes de corps et de mouvements corporels qui apparaissent lors de la réalisation d'une habileté motrice, sont significatives d'un certain degré d'organisation de l'organisme, organisation dans et par laquelle se coordonnent différentes fonctions* » (Ganière 2015). En somme, comprendre la forme permettrait de comprendre les fonctions sous-jacentes.

2.2.4.3) Apprentissage

Considérant, comme précisé précédemment, que l'habileté est l'intériorisation et l'appropriation par un sujet d'une technique, il est nécessaire d'aborder le concept d'apprentissage, et plus précisément de l'apprentissage moteur. Reuchlin considère qu' « *il y a apprentissage lorsqu'un organisme, placé plusieurs fois dans la même situation, modifie sa conduite de façon systématique et relativement durable* » (Reuchlin 1983). Un apprentissage résulte donc d'une adaptation répétée et stabilisée à une situation et persiste dans le temps. Pour Fleischmann, il est le « *processus neurologique interne supposé intervenir à chaque fois que se manifeste dans les performances un changement qui n'est du ni à la croissance ni à la fatigue* » (Fleischmann 1967). En ce sens, il distingue l'apprentissage du développement. L'étude de l'apprentissage étant remarquablement complexe, les chercheurs n'adoptent pas une approche

globale mais ont tendance à proposer des sous-catégories ; les recherches sur l'apprentissage moteur en sont un exemple.

En cohérence avec les définitions précédentes, Thouwarecq et Adé précisent que « *l'apprentissage passe par une modification de la cognition en général, ou plus spécifiquement des processus de perception, d'orientation spatiale et de motricité dans le cas de l'apprentissage moteur* » (Thouwarecq et Adé 2021). Si toutes les théories s'accordent sur le résultat, plusieurs conceptions tentent d'apporter des explications quant au processus d'apprentissage. Ces auteurs précisent qu'à ce jour deux paradigmes s'opposent à ce sujet, chacun n'attribuant pas à la production de l'habileté motrice les mêmes déterminants. Pour l'approche cognitiviste, « *la motricité est la conséquence de l'activité d'une instance supérieure de traitement de l'information qui anticipe, organise, prescrit et régule l'activité musculaire* ». À l'inverse, les approches complexes réfutent cette dualité corps/esprit et étudient la production motrice « *à l'échelle d'un système plus large qui intègre l'individu et son environnement* » (Thouwarecq et Adé 2021). En conformité avec le cadre précédemment proposé, nos travaux s'inscrivent dans la philosophie de cette seconde approche.

Elle regroupe trois courants distincts : les courants écologique, dynamique et de l'énaction. Leur objet est malgré tout différent. L'approche dynamique analyse l'émergence de coordinations motrices et les caractérise au travers d'indices quantitatifs. Cette dernière nous intéresse plus particulièrement au regard de notre sujet d'étude.

Plus généralement elle s'intéresse à l'évolution dans le temps du comportement des systèmes complexes ; un système complexe étant « *un ensemble composé de multiples éléments en interaction* » tels que l'exécution d'une technique (Delignières et al. 2009). Dans ce cadre, l'apprentissage moteur peut être défini comme « *la construction d'une coordination nouvelle, adaptée aux exigences de la tâche prescrite* ». Le débutant, face à une tâche nouvelle, exploite certains modes de coordinations spontanés, qui peuvent être en lien avec des comportements antérieurement acquis. Les coordinations novices ont pour caractéristiques d'avoir une forte variabilité inter et intra-individuelle, d'être simples et peu efficaces. Sur cette base, le sujet construit ensuite de nouveaux modes de coordination pour aller vers l'expertise. Les coordinations expertes ont pour caractéristiques d'être stables et efficaces d'un point de vue métabolique et d'un point de vue mécanique. Selon la théorie dynamique, il semblerait toutefois que coordination et performance, autrement dit forme et fonction, ne soient pas totalement liées. Nourrit et al., grâce à leurs travaux sur simulateur de ski, ont en effet montré que la performance ne constitue pas nécessairement un indicateur de l'apprentissage (Nourrit et al. 2003). Ils démontrent en effet que les sujets atteignent des niveaux de performance intéressants, tout en

continuant à exploiter des coordinations débutantes. Inversement, l'accès à la coordination experte n'est pas toujours suivi d'une amélioration de la performance. Cela ne remet pas en question l'utilité de l'apprentissage car les coordinations expertes, si elles ne garantissent pas la performance, permettent cependant au sujet d'être plus efficace dans la tâche.

Si les deux autres courants des approches complexes s'inscrivent dans une philosophie similaire à la nôtre, ils sont malgré tout peu intéressants pour notre étude car leur objet n'est pas directement les conduites motrices. L'approche écologique étudie le couplage entre le sujet et l'environnement ; elle s'intéresse principalement au rapport perception/action. L'approche énaïve analyse l'expérience de l'acteur évoluant dans son environnement.

Ce dernier courant, positionné dans l'anthropologie cognitive, est issu des réflexions de Suchman en 1987. Il a pour objet d'étude le contexte d'enseignement/apprentissage in situ. Le postulat de départ est que les actions sont objectivables si l'acteur lui-même en donne l'explication. La méthodologie est basée sur des entretiens d'autoconfrontation ou d'explicitation durant lesquels les acteurs sont confrontés aux images de leurs actions. Toutefois, si cette méthodologie « *semble intéressante pour rendre compte de l'expérience de l'enseignant, cette approche semble limitée dès lors qu'on l'envisage du côté de l'élève* » autrement dit de l'apprenant ou de l'entraîné (Dieu 2012a).

L'approche conative de Bui-Xuân se positionne du côté de l'apprenant et postule que l'expérience en action n'est pas directement verbalisable (Bui-Xuân 1998). En effet, elle serait pilotée par les conations qui sont des « *inclinaisons à agir en fonction d'un système de valeurs incorporées* » (Turpin 1997). Le postulat de la pédagogie conative « *se fonde donc sur une logique incorporée et contextualisée de l'action en fonction du sens que l'individu lui confère, ce sens étant tributaire de ce qu'il est* » (Dieu 2012a). L'objet d'étude est alors la mobilisation de l'acteur in situ autour de trois composantes : la structure, la fonction et la technique (Bui-Xuân 1994). La résultante de ces dernières donne le sens de la mobilisation qui dépend de la nature des activités précédemment évoquées⁷⁹ ainsi que de l'expérience du pratiquant. La conscience du cheminement expérientiel est alors formalisée sous la forme d'un curriculum conatif (Dieu 2012b).

Cette approche considérant que l'expérience n'est ni directement énonçable, ni perceptible, il est nécessaire de créer des outils pour décrypter et objectiver l'expérience du sujet agissant sans passer par le discours. Basée sur l'observation, elle nécessite donc de

⁷⁹ Elles peuvent être soit orientées par le score comme en judo, soit par la conformité à un modèle encore par la mesure.

proposer des méthodologies pour appréhender objectivement les manifestations de ces conations. Les différents travaux s'intéressant à l'approche conative doivent par conséquent faire preuve d'ingéniosité pour développer des outils permettant d'objectiver ces actions ; c'est notamment le cas de Dieu qui utilise dans ce but des accéléromètres (Dieu et al. 2014 ; Dieu 2012a ; Dieu 2012b).

Ce curriculum conatif, proposé par Bui-Xuân dans ses différents ouvrages (Bui-Xuân 1994; Bui-Xuân et Gleyse 2001; Carlier, Bui-Xuân, et Bouthier 2005), contient cinq étapes :

- étape 1, dite « *émotionnelle* » : dans cette étape, le sujet est saturé en structure, et fait appel uniquement aux capacités physiques. Il se pose la question « *que faut-il faire ?* » ;
- étape 2, dite « *fonctionnelle* » : le sujet entre dans un processus de tâtonnement qui mêle questionnements, hypothèses, essais et conclusions ; et trouve des réponses. C'est la mobilisation de la fonctionnalité qui permet la maturation de l'étape. Il se pose la question « *Comment ça marche ?* » ;
- étape 3, dite « *technique* » : le sujet recherche l'efficacité en s'appuyant sur des savoir-faire, et des savoirs sur le faire et donc sur les techniques. Il se pose les questions : « *Comment font ceux qui sont efficaces ? Que savent les experts ?* » ;
- étape 4, dite « *contextuelle* » : la contextualisation fonctionnelle des techniques est incluse dans un cadre plus global d'une situation complexe. Dans cette étape, le sujet est globalement mobilisé. Il se pose les questions : « *Comment font ceux qui réussissent mieux que moi ? Comment être plus efficient ?* » ;
- étape 5, dite de l' « *expertise* » : dans cette étape, le sujet cherche à innover, et à individualiser et personifier ses actions.

2.2.5) Vers une modélisation de la technique en judo

Le précédent cadre nous a permis de montrer que la modélisation des techniques sportives, ou ce que Paillard nomme la « *motricité spécifique* »⁸⁰, et plus globalement, tout ce qui relève de la motricité du sportif, est complexe. Ainsi, la technique permet d'être efficace dans un contexte donné, et concernant les techniques sportives, la recherche d'efficacité

⁸⁰ Également « *répertoire moteur* ».

correspond à la recherche de performance. Celle-ci s'opère dans un contexte déterminé, contexte qui pour notre étude correspond au cadre écologique défini dans la partie introductive.

En somme, en judo, les techniques ou la motricité spécifique sont un moyen pour être efficace par une adaptation aux contraintes que propose l'environnement⁸¹, dans le but d'obtenir une performance : la recherche du « *Ippon* ». Nos propos résonnent avec la citation, certes ancienne mais toujours d'actualité, de l'ancien champion Albertini : « *le mouvement n'est plus considéré comme un but mais comme un moyen permettant de solutionner le problème posé par l'adversaire* » (Albertini 1983). Les contraintes proposées par l'adversaire n'étant jamais les mêmes.

Ces modèles et définitions nous permettent de préciser que les techniques en judo ne se résument pas simplement aux techniques de projection debout et aux techniques d'immobilisation, d'étranglements et de clés au sol. Elles concernent l'ensemble du répertoire moteur ou de la motricité spécifique des judokas, à savoir « *les postures, les déplacements (sol et debout), les saisies, les coordinations spécifiques, les techniques debout, les techniques au sol et les méthodes d'entraînement* » (Paillard 2010).

En cohérence avec nos propos précédents, nous souhaitons confirmer que nous positionnons nos travaux dans une approche technologique praticienne et scientifique. Ainsi, dans la prochaine partie, nous proposons synthèse et analyse des outils exploités par la recherche pour objectiver les techniques et la motricité des judokas.

Puis, dans la partie suivante, à partir de cette synthèse et en nous appuyant sur la modélisation présentement évoquée, nous proposons une modélisation de la technique en judo basée sur cette même approche technologique⁸².

En cohérence avec notre démarche, nous exploiterons une bibliographie qui ne se veut en aucun cas exhaustive, mais qui propose une approche technologique, croisant les résultats des recherches en biomécanique avec les publications fédérales et/ou professionnelles.

⁸¹ Nous avons défini l'environnement en partie introductive.

⁸² En excluant le combat au sol comme précisé précédemment.

2.3) Mesures par la biomécanique de la motricité des judokas

Cette partie a pour objectif de synthétiser les méthodes utilisées dans les études de biomécanique s'intéressant au judo. Le but est de les caractériser en décrivant leurs objectifs, les contextes dans lesquels elles sont opérées ainsi que les différents outils exploités. Pour ce faire, nous avons sélectionné certaines publications ; mais cette partie ne se veut en aucun cas une liste exhaustive des études appliquées au judo. Elle ne vise pas non plus à faire la synthèse de leurs résultats.

2.3.1) Objectifs des mesures

Jigoro Kano, créateur du judo, avait très tôt compris l'importance des principes mécaniques dans l'exécution de ses techniques. Leur respect était pour lui gage d'efficacité : *« la technique, pour Jigoro Kano, doit être basée sur un principe mécanique, c'est-à-dire sur les lois du mouvement et de l'équilibre : il doit être possible de la réaliser sans avoir recours à la force musculaire ou à une particularité physique »* (Cadot 2006). Lorsqu'il élabore sa méthode et le « gokyō », il est d'ailleurs persuadé qu'*« il est possible de résoudre n'importe quel problème en utilisant à son avantage les lois de la mécanique, quelle que soit la différence de taille ou de poids »* (Cadot 2006). Ses principes sont depuis largement diffusés et enseignés par les experts de la discipline dans tous les dojos du monde. Ils sont également repris dans les ouvrages proposés par des experts comme en témoignent les mots de Bonét-Maury⁸³ et Courtine⁸⁴ : *« un mouvement de judo, aussi bien d'attaque que de défense, correspond quand il est correctement exécuté, à la meilleure utilisation de l'énergie physique »* (Bonét-Maury et Courtine 1971). D'autres ouvrages techniques expliquent que ce « meilleur usage de l'énergie » repose sur des « principes d'efficacité » liés à la mécanique comme « le principe d'action-réaction », « le principe du centre » ou « le principe du déséquilibre » (Inogai et Habersetzer 2002).

Bien que les principes d'efficacité semblent être connus et maîtrisés, Trilles et al. avancent l'idée que les études en biomécanique ont tout de même leur utilité. Pour ces auteurs,

⁸³ Fondateur de la Fédération Française de Judo en 1946.

⁸⁴ Premier Français à participer au championnat du monde en 1956 et seul 10^e dan Français.

tous les travaux existants cherchent à objectiver la technique afin de dépasser la subjectivité du regard des experts. Ils attribuent ainsi plusieurs fonctions à ces recherches en biomécanique :

- mesurer les paramètres mécaniques de la performance lors de la réalisation d'un geste technique ;
- identifier les éléments invariants lors d'exécutions par des experts ;
- analyser les forces de liaison entre deux combattants ;
- mesurer l'effort articulaire et l'énergie dépensée ;
- valider des progrès et apprentissages à la suite d'un protocole ;
- comparer des exercices d'entraînement ;
- valider le fonctionnement d'appareils de musculation spécifiques et d'ergomètres (Trilles, Blais, et Cadière 2010).

2.3.2) Les outils de mesure

Depuis les études des pionniers Deusinger en 1968 et Tezuka en 1983, de nombreux appareils de mesure ont été développés et sont désormais à disposition des chercheurs. La miniaturisation, la diminution constante des coûts, les améliorations au niveau du stockage de l'énergie et de la transmission de l'information (Lepetit 2018) ont permis de démocratiser certains outils qui peuvent même désormais sortir du laboratoire.

Deux catégories distinctes d'outils permettent de mesurer l'action. Les outils dynamographiques permettent de réaliser des études de dynamique, c'est-à-dire d'étudier les corps en mouvement sous l'influence des actions mécaniques qui leurs sont appliquées. « *La loi fondamentale de la dynamique ou seconde loi de Newton ne fait intervenir que les forces extérieures appliquées au système pour décrire la translation du centre des masses du système et les moments de ces mêmes forces extérieures quand il s'agit de décrire la rotation de ce système* » (Lacouture et Junqua 1991). Les outils cinématographiques, quant à eux, permettent d'effectuer des études de cinématique c'est-à-dire l'étude des mouvements indépendamment des causes qui les produisent. « *Dans un processus inverse de la dynamographie, l'analyse*

cinématographique s'appuie sur la mesure des déplacements des segments du corps de l'athlète » (Lacouture et Junqua 2000).

2.3.2.1) Les dynamomètres et plateformes de force



Figure 1 : dynamomètre manuel. Source : Ache Dias et al. 2012.

Les dynamomètres, outils dynamographiques, sont des capteurs de forces mono-axiaux qui peuvent être utilisés seuls ou combinés. Ils permettent de transformer une grandeur physique en une grandeur électrique, afin d'en réaliser la mesure. Ce type d'outil a par exemple été utilisé afin de comparer la performance de la force de préhension entre un groupe de judokas et un groupe de non-judokas (Ache Dias et al. 2012). L'objectif sous-jacent visait à déterminer si l'entraînement en judo, sollicitant des préhensions du « *judogi* » au travers du « *kumi-kata* », avait un effet sur la force de préhension. Les sujets avaient pour consigne de serrer avec chacune des deux mains⁸⁵ durant 10 secondes un dynamomètre mesurant des forces de 1 à 1000 N à une fréquence d'échantillonnage de 1000 Hz⁸⁶. La force de préhension était mesurée sur les côtés dominant et non-dominant pendant 10 s à l'aide d'un dynamomètre. Les résultats mettent en évidence une absence d'effet de la pratique du judo sur la force maximale de préhension à la fois pour la main dominante et pour la main non-dominante. Un effet de la pratique du judo sur la résistance à la fatigue musculaire a par contre été démontré. Les conclusions montrent que les judokas ne sont pas plus forts que les non-judokas en termes absolus, mais sont par contre plus résistants à la fatigue. Les auteurs expliquent cette différence par les caractéristiques de la pratique du judo qui nécessite le maintien prolongé de la préhension sur le « *judogi* » adverse.

Ces capteurs, permettant d'obtenir des données mécaniques, présentent de nombreuses limites et permettent difficilement d'envisager des études visant à analyser la motricité. En effet, la mesure de l'intensité des forces est limitée à l'axe de traction, l'obtention des composantes de la force étant impossible. De plus, la structure des capteurs rend leur utilisation quasiment impossible pour des mesures en présence d'un partenaire ou d'un adversaire. Aussi,

⁸⁵ Dominante et non-dominante.

⁸⁶ Voir photo ci-jointe extraite de l'article.

comme dans cet exemple, ils sont utilisés pour des mesures de force et de résistance dans le but de quantifier les qualités physiques, mais ne permettent pas d'analyser les productions techniques des pratiquants.

Les plateformes de force permettent d'obtenir des données plus complètes car elles fournissent des données dynamométriques selon les six composantes : trois pour les forces⁸⁷ et trois pour les moments de force⁸⁸ de la résultante des forces et moments appliqués sur le plateau. Les plateformes sont constituées d'une structure rigide indéformable reliée par des capteurs de force à un plateau servant de support aux appuis. Les mouvements du plateau sont transmis aux différents capteurs de force reliant les deux structures. À titre d'exemple, ce type d'outil a été exploité dans une étude cherchant notamment à analyser les performances en saut vertical chez les athlètes de judo de niveaux avancés et novices

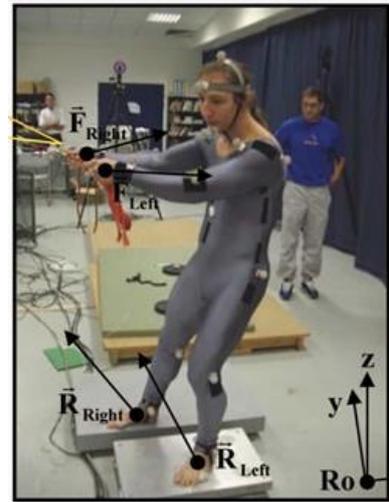


Figure 2 : plateforme de force. Source : Blais et al. 2007.

(Detanico et al. 2016). L'objectif était de comparer la puissance musculaire des membres inférieurs des deux groupes. Il était demandé aux sujets de réaliser des « *contre-mouvement jump* » sur une plateforme de force piézoélectrique à une fréquence d'échantillonnage de 500 Hertz. Les principaux résultats ont montré que les judokas d'un niveau avancé présentaient une puissance plus élevée que les novices.

Comme pour l'article présenté précédemment, cette étude se limite à l'utilisation d'un outil dynamométrique afin de quantifier et comparer les qualités physiques de pratiquants dans une situation totalement décontextualisée. En aucun cas, la technique ou la motricité ne sont analysées. D'autres études⁸⁹, exploitent également ce type de matériel afin d'évaluer le contrôle et la régulation posturale. Toutefois, certaines recherches⁹⁰ se sont appropriées les plateformes de force afin de réaliser des mesures en situation d'exécution technique. Nous aborderons ces études dans une prochaine partie.

⁸⁷ F_x, F_y, F_z

⁸⁸ M_x, M_y et F_z

⁸⁹ Présentées ultérieurement.

⁹⁰ A titre d'exemple : Blais, Trilles, et Lacouture 2007.

2.3.2.2) L'électromyographie de surface

L'électromyographie de surface, ou EMG, permet de modéliser le niveau d'activation des muscles. Les EMG sont des électrodes placées à la surface de la peau qui recueillent des signaux électriques provenant de la commande volontaire. Cependant, par rapport aux dispositifs de mesure précédents, l'EMG ne mesure pas directement une force. Par la mesure des signaux électriques, ils permettent d'obtenir un indicateur indirect de la tension ou de la force musculaire. L'activité EMG enregistrée sur différents muscles permet alors d'évaluer leur implication dans une tâche motrice particulière ainsi que la chronologie de leur activation durant la réalisation de la tâche. De nombreux travaux scientifiques ont été consacrés aux relations quantitatives entre le signal EMG et la sortie mécanique du muscle. Ces travaux se sont notamment attachés à démontrer que lors de la contraction isométrique volontaire, l'amplitude de l'EMG de surface augmente linéairement ou de manière curvilinéaire avec l'augmentation de la force musculaire (Akataki et al. 2004 ; Cao 2010 ; Ryan et al. 2008). Le signal augmente plutôt curvilinéairement pour les muscles composés de types de fibres distinctes, et plutôt linéairement pour les muscles composés de fibres uniformes (Woods et Bigland-Ritchie 1983). D'autres études montrent que la relation entre l'EMG et la force est également dépendante du niveau de contrôle des unités motrices : la relation serait linéaire jusqu'à environ 50% de force maximale volontaire, puis devient progressivement non-linéaire (Solomonow et al. 1990).

Cet outil a notamment été utilisé dans le cadre d'une étude doctorale afin de vérifier la validité d'un système d'entraînement fréquemment utilisé dans les entraînements de judo (Poblador Valles 2016). Dans un objectif de préparation physique associée, de plus en plus de pratiquants exploitent les bandes élastiques qui permettent de simuler, sans partenaire, l'exécution de certaines techniques. L'étude cherchait à comparer la sollicitation de seize muscles distincts⁹¹ lors de l'entraînement avec élastiques de « *morote-seoi-nage* » et lors de l'exécution de la même technique sur



Figure 3 : EMG de surface. Source : Poblador Valles 2016.

⁹¹ Huit types de muscles, des membres supérieurs et inférieurs et du tronc, mesurés à gauche et à droite : biceps brachial, triceps brachial, grand dorsal, grand pectoral, muscle droit de l'abdomen, muscle droit fémoral, biceps fémoral et triceps sural.

un partenaire en situation de coopération⁹². Il a ainsi été démontré que pour treize muscles, l'activité musculaire ne présentait pas de différence significative, prouvant ainsi que les principes de base du mouvement n'étaient pas modifiés par l'utilisation des élastiques. L'auteur conclut que cette méthode d'entraînement est valide pour améliorer la technique et la résistance explosive.

Par cette méthode, les chercheurs sont donc en mesure d'analyser les différents muscles sollicités lors d'une exécution technique. Si la mesure est ici indirecte, elle n'en demeure pas moins intéressante pour mettre en relation le travail musculaire avec l'exécution motrice d'un geste.

2.3.2.3) Les systèmes vidéo de capture du mouvement

Les systèmes de type « *motion capture* » permettent d'effectuer des études cinématiques du geste sportif par la description des mouvements corporels et des segments. Deux types de systèmes existent sur le marché : les systèmes de capture vidéo et les systèmes optoélectroniques.

Les premiers sont des systèmes de caméras captant les mouvements par une détermination des contours d'un sujet ou par la détection des contrastes. Ils sont peu utilisés dans les études cherchant à analyser les mouvements humains car les données recueillies sont plus limitées et beaucoup moins fiables que les systèmes optoélectroniques. Dans une étude visant à comparer les données de sept systèmes de capture du mouvement sans marqueur lors de l'exécution d'un mouvement de musculation de type développé-couché, les auteurs montrent que ces systèmes sont fiables pour obtenir des mesures de vitesse pour les mouvements linéaires restreints (Pérez Castilla et al. 2019). Ils sont par contre difficilement exploitables pour l'étude de mouvements plus complexes utilisés dans nombre de disciplines sportives. Ils présentent malgré tout l'avantage d'être peu encombrants et par conséquent d'être facilement transportables dans différents lieux d'études. À ce jour, aucune étude ne semble avoir exploité ce type de système pour l'analyse du mouvement en judo car il semble encore inadapté à l'étude de mouvements complexes.

Les systèmes optoélectroniques sont utilisés pour la capture tridimensionnelle du mouvement. Ils fonctionnent avec des marqueurs positionnés sur le sujet en fonction d'un

⁹² En situation de « *nage-komi* ».

modèle anthropométrique. Leurs mouvements sont ensuite filmés par un ensemble de caméras, chaque caméra capturant des coordonnées bidimensionnelles. Dès lors qu'un marqueur est visualisé simultanément par à minima deux caméras, les coordonnées tridimensionnelles peuvent être calculées par un modèle algorithmique tel que la « *Direct Linear Transformation* » développée par Abdel-Aziz et Karara en 1971 (Begon et Lacouture 2005). Il s'agit de systèmes non invasifs permettant des captures de mouvements complexes⁹³ ou de mouvements fins⁹⁴. Avec une précision inférieure à un millimètre, ils sont actuellement les systèmes les plus précis (Devos 2017).

Ce système a par exemple été utilisé en judo afin d'identifier le risque de traumatismes crâniens (Koshida et al. 2017). Les auteurs ont utilisé un « *Mac3D motion analysis system* »⁹⁵ équipé de vingt caméras ayant une fréquence d'acquisition de 200 Hz afin de comparer entre novices et experts les paramètres cinématiques de chute. Leur objectif était

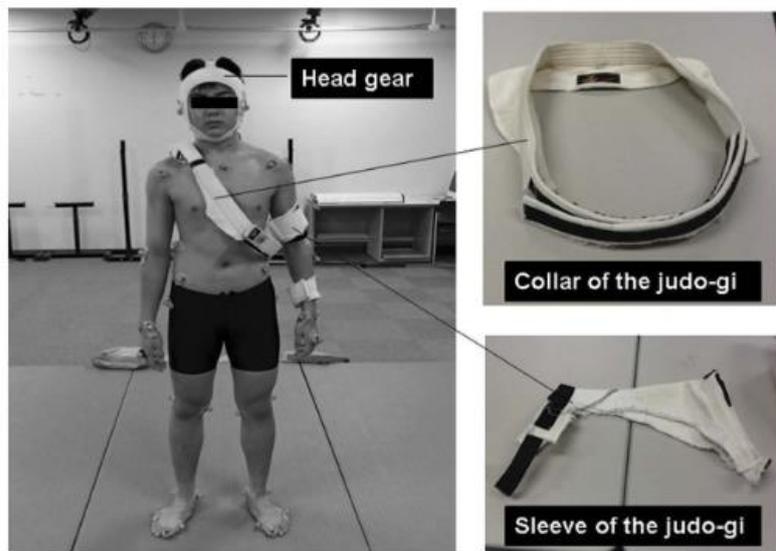


Figure 4 : préparation d'un judoka pour une séance de recueil de données avec un système optoélectronique. Source : Koshida et al. 2017.

d'améliorer le plan de prévention des traumatismes crâniens liés au judo. Les sujets étaient équipés de 41 capteurs ainsi que de morceaux de « *judogi* » découpés permettant la saisie de « *tori* ». Ils étaient ensuite projetés au sol grâce à la technique « *o-soto-gari* »⁹⁶. Leurs résultats montrent une extension du cou lors de la chute significativement plus élevée dans le groupe novice, extension associée à un risque de blessure plus élevé. Les novices ont également un pattern de flexion significativement plus élevé dans les mouvements du tronc et de la hanche, suggérant ainsi que les mouvements de ces parties du corps sont des paramètres cinématiques

⁹³ A titre d'exemple, la thèse de Caroline Martin (2013) qui utilise le système « Vicon MX 40 » pour analyser le service au tennis.

⁹⁴ A titre d'exemple, l'étude de Luker et al. (2014) qui utilise le système « Cortex Motion Analysis » pour décrire la cinématique in-vivo du pouce et de la main lors de l'exécution tâches fonctionnelles.

⁹⁵ Motion Analysis Corp., Santa Rosa, CA, USA.

⁹⁶ Signifie « *grand fauchage extérieur* ».

importants qui déterminent le niveau de compétence dans l'exécution des chutes pour « *o-soto-gari* ».

Ces systèmes présentent l'avantage de permettre l'étude de mouvements complexes tels qu'utilisés en judo. Toutefois, la pose des marqueurs sur les sujets empêche le port d'un « *judogi* » complet qui serait nécessaire à toute situation d'opposition. De plus, leur volume de mesure est souvent insuffisant pour que deux combattants puissent s'exprimer librement. Enfin, leur installation et leur calibrage étant lourds et complexes, ils présentent aussi l'inconvénient d'être exclusivement exploitables en laboratoire.

2.3.2.4) Les technologies magnéto-inertielles

Depuis peu, des capteurs inertiels et magnétiques, miniaturisés et à faibles coûts, sont apparus sur le marché. Désormais démocratisés, ces capteurs sont largement utilisés dans les études de biomécanique. Ces systèmes électromécaniques, appelés centrales inertielles, intègrent généralement trois types de capteurs, chacun mesurant dans les trois dimensions. L'accéléromètre permet de mesurer des accélérations. Le gyromètre mesure une vitesse angulaire par rapport à un référentiel galiléen. Enfin, le magnétomètre mesure soit la norme de la valeur de champ magnétique, soit les composantes du vecteur champ magnétique, permettant ainsi de déterminer l'orientation d'un objet par rapport au nord magnétique.

Leur taille et leur coût en font des outils facilement transportables et exploitables en situation écologique (Lepetit 2018). Ils sont fréquemment utilisés dans des études visant à quantifier les dépenses énergétiques ou les niveaux d'activité de sujets dans différents contextes écologiques comme par exemple en cours d'EPS (Molina-García et al. 2016), dans les cours d'école (Skau Pawlowski et al. 2020), sur le lieu de travail (Bird et al. 2015), ou encore au domicile (Ramulu et al. 2012).

Il y a une dizaine d'années, Paillard mettait en avant la difficulté d'utiliser ces outils pour l'analyse du mouvement sportif, et notamment en judo, du fait des contraintes matérielles et des paramétrages qu'ils nécessitent, du risque qu'ils pourraient engendrer sur l'intégrité physique notamment en cas de chute, ou encore du fait que les dispositifs encore lourds à l'époque seraient susceptibles de modifier la motricité et de biaiser les mesures (Paillard 2010b). Les évolutions technologiques, et notamment la transmission des données sans fil, l'amélioration de leur robustesse, ou encore leur miniaturisation ont contribué à leur

développement dans le champ du sport et en contexte écologique. Ces centrales peuvent notamment servir d'outils pour quantifier les charges de travail (Kniubaite et al. 2019)⁹⁷, pour mesurer des accélérations en course (Alexander et al. 2016)⁹⁸, ou encore dans une optique de prévention des risques, pour évaluer les impacts ou les contacts subis par les sportifs (Wundersitz et al. 2015)⁹⁹. Pour analyser les techniques sportives, elles sont aussi exploitées pour l'étude de mouvements cycliques tels qu'en kayak (Croft et Cury Ribeiro 2013), ou balistiques tels qu'en golf (Lai et al. 2011). Elles ne sont toutefois que très rarement exploitées pour des mouvements plus complexes.

Les études exploitant les centrales inertielles pour l'étude des techniques en judo sont encore à ce jour extrêmement rares. Lors de nos recherches bibliographiques, nous n'avons pu recenser qu'une seule étude exploitant cet outil en judo (Piucco et Santos 2010). Cette dernière avait pour objectif d'analyser l'intensité et la durée des impacts générés sur le corps de judokas projetés grâce à la technique « *ippon-seoi-nage* ». « *Uke* » était équipé d'accéléromètres triaxiaux au niveau des mains, des hanches et des chevilles. Les résultats

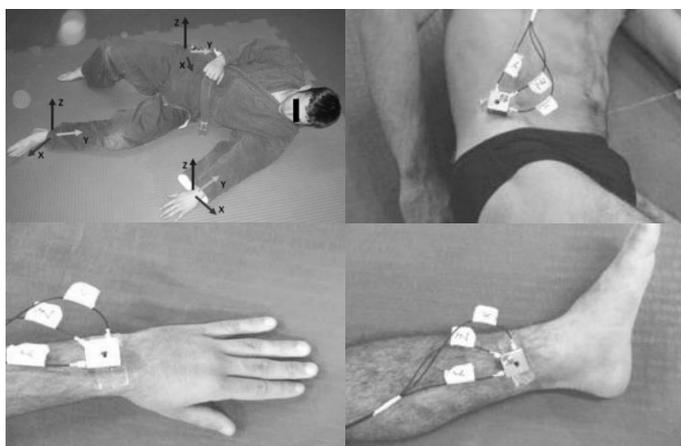


Figure 5 : centrales inertielles. Source : Piucco et al. 2010.

montrent que les plus grandes valeurs observées se situent au niveau des mains selon l'axe vertical tandis que les plus faibles sont au niveau des hanches. Inversement, les durées d'impacts étaient plus importantes au niveau des hanches. Les auteurs mettent en avant les valeurs d'impacts élevées dans leurs résultats, pouvant engendrer des risques traumatologiques lors de séances d'entraînement avec un nombre de chutes conséquent. Ils en concluent qu'afin d'éviter les blessures, les cours et entraînements doivent être améliorés grâce à une évolution de la formation des enseignants et entraîneurs, mais aussi en travaillant davantage avec les pratiquants sur les techniques d'« *ukemi* »¹⁰⁰, ainsi qu'en améliorant le matériel de réception.

Aussi, si les chercheurs s'en sont jusqu'alors peu emparés pour l'analyse biomécanique en judo, les récentes évolutions technologiques dont ces appareils ont bénéficié encouragent à

⁹⁷ Exemple en handball.

⁹⁸ Exemple en athlétisme.

⁹⁹ Exemple en rugby.

¹⁰⁰ Brise-chute.

les exporter davantage sur les tatamis. La transmission des données sans fil ainsi que leur miniaturisation permettent d'envisager à l'avenir l'émergence d'études les exploitant en contexte écologique.

2.3.3) Les contextes de mesure

Tous les outils présentés précédemment ont été exploités dans différents contextes favorables à la mesure, à l'objectivation et à la formalisation. Certaines études ont été opérées sur des individus isolés en l'absence de partenaire ou d'adversaire, et d'autres avec un partenaire en situation de coopération. Enfin, si à ce jour aucune étude en biomécanique n'a étudié une situation en contexte écologique, nous percevons toutefois une tendance de plus en plus importante des scientifiques à rechercher ce type de situations.

2.2.3.1) Mesures sur sujets isolés

Certaines études centrent leur analyse sur des sujets isolés, c'est-à-dire en l'absence de partenaire ou d'adversaire. Elles s'attachent à analyser les qualités motrices des judokas, à valider la pertinence d'ergomètres dédiés à l'entraînement, ou encore à analyser la motricité lors de l'exécution d'une technique de projection.

Les plateformes de force sont par exemple utilisées sur des judokas isolés afin d'observer leurs réactions en situation de déséquilibre et d'analyser ainsi leurs qualités en termes de contrôle postural. C'est par exemple le cas de Perrot et al. qui ont utilisé ce type d'outil, combiné à des EMG, afin de comparer deux groupes : un groupe de judokas et un groupe contrôle. Ils ont analysé les ajustements posturaux des sujets placés sur une plateforme de force qui s'inclinait aléatoirement vers le haut. Ils ont ainsi démontré que les combattants, après déstabilisation, retrouvent leur posture plus rapidement par rapport au groupe contrôle (Perrot et al. 1998).

D'autres études ont eu pour objectif de valider scientifiquement des ergomètres dédiés à la pratique du judo. Ces derniers permettent de se substituer à un partenaire pour l'entraînement en situation d'« *uchi-komi* ». Cet exercice traditionnel, couramment utilisé dans les dojos est défini par l'ouvrage fédéral sur le judo des 13-15 ans comme un « *exercice de répétition des phases de préparation et de déséquilibre, de placement et de remplacement du*

corps sur un partenaire statique et en déplacement » (Fédération française de judo 2013). Cet exercice ne permet pas l'exécution d'un mouvement complet car seules les deux premières phases du mouvement sont réalisées : le « *kuzushi* » et le « *tsukuri* », le geste n'aboutit pas à la projection¹⁰¹. Il est généralement pratiqué sur un « *uke* » n'opposant pas de résistance. Si son usage est conseillé par les manuels afin d'améliorer son niveau technique, ces mêmes ouvrages conseillent son utilisation dans un objectif de préparation physique intégrée, et donc de formation du judoka compétiteur. À titre d'exemple, le manuel fédéral des 15-17 ans préconise son usage pour « *développer la force endurance et la force explosive* » (Fédération française de judo 2015) ou encore « *pour développer la vitesse spécifique* ». Les ergomètres permettent de réaliser des « *uchi-komi* » en l'absence de partenaire. C'est notamment le cas d'une récente étude dont l'objectif était de déterminer la validité d'un nouvel ergomètre¹⁰² (Helm et al. 2018). Ce système est composé de deux câbles, chacun étant enroulés à un rotor freiné par un courant de Foucault lors des tractions. L'extrémité de chaque câble est reliée à des poignées composées d'un tissu identique aux « *judoji* ».

Les auteurs ont comparé l'exécution de la technique de projection « *morote-seoi-nage* » en situation d'« *uchi-komi* », avec ergomètre et avec un partenaire passif. Un groupe d'experts de niveau élite et un groupe de niveau régional étaient comparés. Seule la première phase d'exécution du mouvement, le « *kuzushi* » ou « *mise en déséquilibre* » (Habersetzer et al. 2000), était analysée. L'activité électromyographique du tronc et des muscles des membres supérieurs était relevée afin de mesurer les niveaux d'activation musculaire de chacune des conditions. Le postulat des chercheurs était le suivant : si les signaux sont similaires, alors



Figure 6 : « *uchi-komi* » avec ergomètre et avec « *uke* ». Source : Helm et al. 2008.

¹⁰¹ Le « *kake* ».

¹⁰² Le système JERGo®, Institut pour la Recherche et développement d'équipements sportifs, Berlin, Allemagne.

l'ergomètre permet de reproduire un mouvement comparable à celui exécuté avec un partenaire. Leurs résultats montrent que le groupe élite exerce une force maximale et une puissance supérieure par rapport aux judokas de niveau régional. Au travers de ces résultats, ils constatent une « *validité acceptable du système JERGo®* » pour distinguer les judokas de différents niveaux de performance. Leurs analyses révèlent également des corrélations acceptables entre l'activité musculaire pendant le « *kuzushi* » réalisé avec l'ergomètre par rapport à l'activité musculaire lors de l'exécution sur un partenaire. Ils en concluent que cet ergomètre est valide et fiable pour l'entraînement à la phase de « *kuzushi* » des mouvements de projection.

Blais et al. ont également utilisé un ergomètre spécifique au judo, dit « *ergomètre de Mayeur* », mais dans le but de réaliser une analyse dynamique d'une technique de projection en situation d'« *uchi-komi* » (Blais et al. 2007). Leur étude visait à analyser les forces et moments des principales articulations et segments actifs lors de l'exécution de la technique « *morote-seoi-nage* ». Ils ont ainsi cherché à identifier les charges exercées sur les articulations. L'ergomètre a été utilisé avec deux capteurs de force couplés à deux plateformes de force ainsi qu'un système de capture tridimensionnelle du mouvement. Chacun des sujets, d'un niveau national, devait réaliser une série de dix « *uchi-komi* » sur l'ergomètre chargé à 20kg. Ils montrent par leurs résultats, que contrairement à ce qui est parfois affirmé par les entraîneurs, les principaux moments sont générés au niveau des membres inférieurs et par le tronc et non par les membres supérieurs. Ils mettent également en avant le fait que la dépense énergétique a principalement lieu durant le « *tsukuri* », c'est-à-dire quand « *tori* » vient se positionner sous « *uke* ». Les auteurs concluent que ces données sont précieuses pour l'enseignant et l'entraîneur dans l'objectif de former un judoka complet.

2.2.3.2) Mesures avec un partenaire en contexte de coopération

L'entraînement et l'enseignement en judo s'appuient très fréquemment sur des exercices traditionnels¹⁰³, comme en témoigne la place qui leur est accordée dans les ouvrages professionnels et fédéraux. L'importance qu'ils revêtent dans la discipline est aisément observable dans tous les dojos. Les chercheurs en biomécanique se sont particulièrement saisis de l'un d'entre eux : le « *nage-komi* », défini comme un « *exercice de répétition de gestes techniques qui prolonge l'uchi-komi jusqu'à la projection contrôlée de uke* » (Fédération française de judo 2013). Cet exercice s'effectue sans opposition de la part du partenaire. Il

¹⁰³ Dits « *geiko* ».

présente l'avantage d'être facilement exportable au sein d'un laboratoire de biomécanique pour deux raisons. La première vient du fait que lors d'une projection en « *nage-komi* », « *tori* » peut s'affranchir du port du « *judogi* » sans pour autant dénaturer la technique puisqu'il sera tout de même en capacité de saisir le « *judogi* » de « *uke* ». Ce dernier n'opposant pas de résistance durant l'exercice, sa saisie sur l'exécutant devient donc accessoire. L'absence de port de « *judogi* » permet ainsi d'apposer des bio-capteurs. La seconde raison favorisant sa mesure en laboratoire est que la surface de travail nécessaire à la projection est bien plus réduite que celle nécessaire à une situation d'opposition qui requiert de nombreux déplacements.

Par rapport à l'« *uchi-komi* » présenté précédemment, il présente l'avantage de permettre l'analyse d'un mouvement complet en le décomposant durant ses trois phases classiques telles que définies par l'étude menée par Blais et Trilles : le « *kuzushi* »¹⁰⁴, le « *tsukuri* »¹⁰⁵ et le « *kake* »¹⁰⁶ (Blais et Trilles 2004). Cette étude nous permettra d'illustrer ce type d'approche.

L'objectif affiché par les auteurs est d'analyser « *la réalité du mouvement réalisé par le judoka* », notamment expert, afin de dépasser la simple observation de l'entraîneur. Autrement dit, ils cherchent à identifier ce qui se passe lors de l'exécution d'un geste technique par un expert afin de valider ou invalider les descriptions techniques traditionnelles. En analysant toujours la même technique, ils cherchent également à identifier des éléments communs de la technique et le rôle déterminant de certaines phases du mouvement. Utilisant un système de capture du mouvement¹⁰⁷, leur méthodologie permet une analyse cinématique. Cinq judokas de haut niveau doivent chacun réaliser cinq projections en « *nage-komi* » en utilisant la technique « *morote-seoi-nage* ». Après recueil et analyse des données cinématiques, les auteurs émettent l'hypothèse que leurs résultats, communs à l'ensemble des cinq experts « *constituent de véritables principes (ou règles d'actions) constitutifs de la qualité de la réalisation technique* ». Ils font émerger cinq principes dans l'exécution de cette technique de projection qu'ils considèrent comme « *particulièrement précieux pour l'éducateur comme pour l'entraîneur de haut niveau* ». Par exemple, ils démontrent que « *tori* » exécute simultanément deux décalages : un premier vertical et orienté vers le bas qui permet de placer son centre de gravité sous celui

¹⁰⁴ Phase de déséquilibre de « *uke* », initiée au décollage du premier pied de « *tori* » jusqu'au moment précédent l'envol de « *uke* ».

¹⁰⁵ Phase de placement de « *tori* », initié par la rotation du « *tori* » jusqu'au moment précédent l'envol de « *uke* ».

¹⁰⁶ Initié par envol de « *uke* » jusqu'à son impact au sol.

¹⁰⁷ Cinq caméras 50Hz de type Saga 3DV.

du partenaire et un antéro-postérieur vers l'avant afin de se mettre à la bonne distance de l'adversaire.

2.2.3.3) Mesures en contexte écologique

Dans la logique de notre cadrage introductif, les mesures en contexte écologique nécessitent, à notre sens, de respecter des critères. Certaines études en physiologie (Branco et al. 2013 ; Imed et al. 2020 ; Julio et al. 2018) ou encore en statistiques (Calmet et al. 2019 ; de Camargo et al. 2019 ; Miarka et al. 2014) ont eu une démarche exploitant un modèle similaire au nôtre. À ce jour, nous n'avons pas trouvé d'étude adoptant pour l'instant cette même démarche en biomécanique.

Seule l'étude de Helm et al. présentée précédemment revendique une analyse en contexte écologique (Helm et al. 2018). Toutefois, son objectif étant de vérifier la validité d'un ergomètre, elle considère l'analyse en situation d'« *uchi-komi* » avec un partenaire comme « *écologique* » en opposition à la situation avec ergomètre. Dans la logique de notre modélisation, nous ne considérons pas l'« *uchi-komi* » comme relevant d'un contexte écologique principalement car il s'agit d'une situation de coopération et non d'opposition : il s'agit d'un « *duo* » et non « *duel* ».

Une recherche récemment menée par Ishii et al., qui n'est pas non plus opérée dans un contexte écologique, a le mérite toutefois de prendre en compte dans l'analyse l'attaquant et le défenseur (Ishii et al. 2018). Elle visait à identifier les facteurs biomécaniques qui déterminent l'exécution la technique « *seoi-nage* » en comparant la cinématique entre les athlètes de judo d'élite et universitaires. « *Tori* » devait projeter « *uke* » en « *nage-komi* », c'est-à-dire sans résistance d'« *uke* ». Les données des deux sujets étaient relevées à l'aide d'un système de capture du mouvement. Comme dans l'étude de Koshida et al. décrite précédemment, une saisie « *classique* » de type manche-revers et similaire à celle opérée sur un « *judogi* » est permise tout en apposant des marqueurs, grâce à des morceaux de tissus cousus et apposés sur le buste et le bras du défenseur. Par cette prise en compte des deux sujets, cette étude se veut innovante et témoigne de la volonté des chercheurs, au fur et à mesure des évolutions technologiques, d'appréhender de plus en plus la complexité de la motricité en judo.

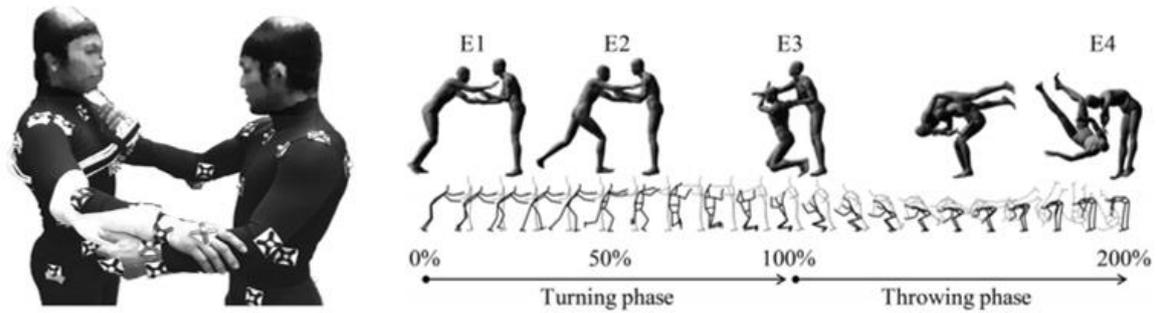


Figure 7 : protocole expérimental de Ischii et al. 2018. Source : Ischi et al. 2018.

2.3.4) Analyse quantitative : un faible nombre d'études

Dans sa thèse soutenue au STAPS de Poitiers en 2004, Blais précisait : « *Le caractère multi-factoriel de l'activité judo fait que de nombreux auteurs ont étudié la performance du judoka à travers des analyses physiologiques, psychologiques ou didactiques, en délaissant toutefois le versant mécanique* » (Blais 2004). Une recherche rapide des publications scientifiques appliquées au judo dans la base de données « *SPORTDiscus with Full Text* »¹⁰⁸ permet de confirmer cette affirmation. Le tableau ci-dessous précise le nombre d'occurrences au 15/12/2020 en croisant dans les mots clés le judo avec les sciences d'appui citées par Blais :

Mots clés recherchés	Occurrences	Occurrences 1961-2004	Occurrences 2005-2020
« judo » AND « physiology »	256	58	198
« judo » AND « psychology »	186	42	144
« judo » AND « biomechanics »	70	15	55
« judo » AND « learning »	54	12	42

Tableau 1 : nombre d'occurrences avec le mot clé « judo » dans « *SPORTDiscus with Full Text* ».

Ces chiffres permettent en effet de mettre en avant que les recherches s'intéressant au judo sont bien plus nombreuses dans les domaines de la physiologie et de la psychologie par rapport à la biomécanique. Si Deusinger est un précurseur dans l'analyse biomécanique du judo par son étude s'intéressant aux chutes en 1968, et Tezuka le premier à s'intéresser aux techniques de projection¹⁰⁹ en 1983, depuis les années 2000, le nombre d'études semble malgré tout augmenter mais reste bien pauvre en comparaison des études en physiologie et en psychologie.

¹⁰⁸ Ressource bibliothécaire EBSCO®.

¹⁰⁹ « *tai-otoshi* » et « *harai-goshi* ».

Lors de nos recherches, nous avons eu le sentiment que le nombre d'études s'intéressant au judo était assez faible. Certains domaines, comme par exemple les déplacements, ne sont par exemple jamais étudiés. Cependant, nous souhaitons dépasser ce sentiment subjectif relatif à la pauvreté de la littérature en judo. Comme précédemment, nous avons dénombré le nombre d'occurrences de publications scientifiques dans la base « *SPORTDiscus with Full Text* » en croisant le mot-clé « *biomechanics* » avec les sports olympiques d'été. Le tableau suivant présente les résultats de ces requêtes. La première colonne correspond au sport olympique, la seconde au mot-clé utilisé¹¹⁰, la troisième au nombre d'occurrences, et enfin la dernière au pourcentage des occurrences de la pratique par rapport à la somme totale des occurrences.

<i>Sports</i>	<i>Mots clés</i>	<i>Occu.</i>	<i>% publi.</i>	<i>Sports</i>	<i>Mots clés</i>	<i>Occu.</i>	<i>% publi.</i>		
1	Football	<i>Soccer</i>	1452	17,4%	17	Triathlon	<i>triathlon</i>	95	1,1%
2	Natation	<i>swimming</i>	969	11,6%	18	Badminton	<i>badminton</i>	93	1,1%
3	Cyclisme	<i>Cycling</i>	865	10,4%	19	Taekwondo	<i>taekwondo</i>	72	0,9%
4	Haltérophilie	<i>weightlifting</i>	527	6,3%	20	Judo	<i>judo</i>	70	0,8%
5	Tennis	<i>Tennis</i>	481	5,8%	21	Canoë-kayak	<i>canoeing</i>	61	0,7%
6	Baseball	<i>Baseball</i>	464	5,6%	22	Boxe	<i>boxing</i>	52	0,6%
7	Basketball	<i>basketball</i>	419	5 %	23	Hockey/gazon	<i>field hockey</i>	49	0,6%
8	Gymnastique	<i>gymnastic</i>	369	4,4%	24	Karaté	<i>karate</i>	47	0,6%
9	Athlétisme	<i>track and field</i>	360	4,3%	25	Escrime	<i>fencing</i>	41	0,5%
10	Escalade	<i>rock climbing</i>	320	3,8%	26	Tennis de table	<i>table tennis</i>	32	0,4%
11	Volleyball	<i>volleyball</i>	312	3,7%	27	Lutte	<i>wrestling</i>	28	0,3%
12	Golf	<i>Golf</i>	295	3,5%	28	Surf	<i>Surf</i>	27	0,3%
13	Aviron	<i>Rowing</i>	244	2,9%	29	Équitation	<i>horse riding</i>	24	0,3%
14	Rugby	<i>Rugby</i>	243	2,9%	30	Tir à l'arc	<i>archery</i>	24	0,3%
15	Handball	<i>handball</i>	165	2%	31	Voile	<i>sailing</i>	21	0,3%
16	Tir	<i>shooting</i>	111	1,3%	32	Skateboard	<i>skateboarding</i>	5	0,1%

Tableau 2 : nombre d'occurrences par sport dans « *SPORTDiscus with Full Text* »

Concernant le judo, nous retrouvons les 70 occurrences précédemment citées. Nous constatons qu'il se classe en 20^e position avec un pourcentage de 0,84% des publications. Les cinq premières disciplines représentent à elles seules plus de 50% des publications. À égalité avec le taekwondo, le judo est malgré tout le sport de combat le plus abordé dans le domaine.

Notre objectif n'est pas ici d'analyser ces chiffres qui pourraient faire l'objet d'une étude à part entière. Nous souhaitons juste confirmer le sentiment d'une faiblesse de la littérature en judo. Ce constat présente un handicap par rapport à notre étude, les recherches servant de bases théoriques à notre sujet restent limitées, mais dans le même temps cela permet d'ouvrir un large spectre de recherches sur des sujets non encore explorés par les chercheurs.

¹¹⁰ La traduction anglaise du sport en question.

2.4) Modélisation de la motricité du judoka

Les définitions et la modélisation de l'activité précédemment proposées, ainsi que les types de mesures réalisées sur les judokas en activité, nous permettent de préciser que les techniques en judo ne se résument pas simplement aux techniques de projection debout et aux techniques d'immobilisations, d'étranglements et de clés au sol. Plusieurs modèles de la technique ou de la motricité sont proposées dans les ouvrages scientifiques et professionnels.

Pour Paillard, l'ensemble du répertoire moteur ou de la motricité spécifique des judokas comprend « *les postures, les déplacements (sol et debout), les saisies, les coordinations spécifiques, les techniques debout, les techniques au sol et les méthodes d'entraînement* » (Paillard 2010b). Loison, dans ses recherches appliquées, modélise la motricité du judoka autour de la notion de « *séquence de combat* », qui pour la phase debout est l'enchaînement d'un déplacement pour atteindre la saisie, de l'installation du « *kumi kata* », d'un déplacement avec la saisie installée puis d'une projection (Loison 2016). Badreau et Barbot caractérisent la motricité du judoka en combat debout au regard de quatre indicateurs : les saisies, les attitudes¹¹¹, les déplacements et le système d'attaque¹¹² (Badreau et Barbot 1990).

Les publications fédérales et professionnelles décomposent le plus souvent la technique en deux catégories : les « *habiletés techniques fondamentales* » et les techniques de « *ne-waza* » ou de « *nage-waza* ». Les premières sont définies comme « *des éléments techniques partiels, constants dans la gestuelle du judoka* » (Fédération française de judo 2014). Selon les publications, elles sont différemment catégorisées mais certains éléments tels que la posture, l'équilibre, les coordinations, les déplacements, la saisie et les « *ukemis* »¹¹³ sont redondants. Les secondes sont les techniques, décomposées de manière analytique ou incluses dans des complexes technico-tactiques, qui permettent par exemple de projeter ou d'immobiliser un adversaire. Le « *gokyo* » de Jigoro Kano, décrivant quarante techniques de projection debout, correspond à cette seconde catégorie.

Pour ce cadrage théorique, nous avons fait le choix de proposer une synthèse de ces modèles qui est personnelle et simplifiée en décomposant la motricité du judoka selon trois secteurs. Il permet, à notre sens, d'intégrer l'ensemble du « *système d'action motrice* » du judo debout (Parlebas 1999). Ce modèle s'inspire et se rapproche de la notion de séquence de combat

¹¹¹ Qui comprennent principalement les postures.

¹¹² C'est-à-dire le complexe technico-tactique ainsi que les techniques de projection.

¹¹³ Techniques de chute.

définie par Loison, ainsi que des indicateurs de Badreau et Barbot, modèles qui apparaissent les plus proches d'une conception écologique de l'activité. Le premier regroupe les postures, l'équilibre et les déplacements. Le second s'intéresse aux saisies. Enfin, le dernier concerne les techniques de projection. Non exhaustif, mais visant à illustrer la motricité dans ces trois catégories, ce cadrage met en perspective et s'appuie sur des publications scientifiques mais également sur des ouvrages techniques et professionnels.

2.4.1) Postures, équilibre et déplacements

2.4.1.1) Postures et équilibre : le « *shisei* »

Dans un combat de judo, les adversaires ont pour objectif, tout en conservant leur propre équilibre, de rompre celui de leur opposant afin de le projeter sur le dos pour marquer un « *Ippon* ». Le contrôle et la régulation posturale des combattants sont par conséquent très complexes et multifactoriels car influencés par une multitude de forces externes. Les appuis, le « *kumi-kata* ¹¹⁴», les déplacements ou encore les attaques de l'adversaire créent de l'incertitude, source permanente de déséquilibre. En outre, l'équilibre peut être qualifié de quadrupédique, et n'est pas seulement bipodal, puisque les combattants s'appuient et agissent avec leurs mains sur le corps adverse.

Certaines postures, attitudes ou positions, dites fondamentales¹¹⁵, sont déclinées de manière analytique dans les ouvrages techniques. Deux grandes catégories de postures sont classiquement définies. La première, « *shizen-tai* » ou « *position naturelle* » peut ainsi être décrite : « *le corps est bien droit, les articulations souples, les jambes légèrement écartées et fléchies mais sans aucune raideur dans les genoux, talons sur la même ligne,[...] le regard porte au loin, le centre de gravité est bien placé dans la région abdominale* » (Inogai et Habersetzer 2002). Des variantes de cette posture existent telles que le « *migi-shizentai* »¹¹⁶ ou le « *hidari-shizentai* »¹¹⁷. Souvent qualifiée de posture d'attaque, elle permet « *à tous moments d'appliquer, comme on le désire, les mouvements « légèrement »* » (Fédération française de judo 1950). La seconde, dite « *jigotai* » est une « *position défensive* » : « *à partir de la position*

¹¹⁴ Saisie du « *judogi* ».

¹¹⁵ Nommées « *shisei* » en japonais.

¹¹⁶ Position naturelle à droite, le pied droit est un peu avancé.

¹¹⁷ Position naturelle à gauche, le pied gauche est un peu avancé.

naturelle on écarte davantage les pieds, talons toujours sur la même ligne, genoux pointant vers l'extérieur, [...] il suffit alors d'augmenter la flexion des genoux pour abaisser le centre de gravité et élargir la base de l'équilibre du corps » (Inogai et Habersetzer 2002).

Sans nécessairement être théorisées, ces notions sont aussi abordées dans les publications techniques et professionnelles selon une approche plus fonctionnelle. Dans leur ouvrage s'intéressant à l'enseignement du judo, Cadière et Trilles précisent que la recherche de verticalité visant à réguler une situation posturale n'est que peu fréquente car l'incertitude créée par l'opposition nécessite d'adapter la posture en réaction à une force adverse, et non uniquement par rapport à la verticale (Cadière et Trilles 1998). Dans la même logique, Albertini dans la revue fédérale utilise le terme d'« *équilibre de couple* » pour qualifier la relation entre les deux combattants s'appuyant l'un sur l'autre et dont l'équilibre est en interrelation (Albertini 1983). Masnières parle de la « *stabilité* » qui est « *la capacité à disposer d'un bon équilibre à partir d'appuis solides au sol. Elle est conditionnée par un écart suffisant des pieds, bien à plat, et par un abaissement du centre de gravité, situé au-dessus de la zone de sustentation des appuis* » (Masnières 1988).

D'un point de vue plus théorique, les sollicitations externes déstabilisant l'équilibre nécessitent un contrôle postural afin d'éviter les chutes. Le contrôle postural se réfère « *au maintien de la position du corps [...] en relation à un cadre de référence externe (l'environnement) ou au corps lui-même* » (Massion 1998). En outre, il « *permet non seulement le maintien d'une position donnée, mais aussi et surtout le mouvement en fournissant une base stabilisée pour l'action* » (Pérennou 2012). Paillard précise qu'il repose sur la contribution de quatre éléments : « *la valeur de référence régulée (verticale subjective) ; le schéma corporel postural (système d'organisation) ; les messages détecteurs d'erreurs (capteurs d'informations) ; les ajustements posturaux (adaptations posturales anticipées et compensées)* » (Paillard 2010a).

Différentes études se sont attaché à montrer que l'apprentissage sportif, dans nombre d'activités, permet une amélioration du contrôle postural chez le pratiquant¹¹⁸. Elles permettent de montrer que les sportifs possèdent de meilleures capacités d'équilibration, une adaptation plus élevée face à une situation nouvelle, une meilleure sensibilité sensorimotrice, un temps de

¹¹⁸ A titre d'exemple : Hugel et al. 1999 en danse ; Perrin et al. 1997 en basketball ; Perrot et al. 1996 en boxe ; Perrin, Vitte, et Pozzo 1991 dans les sports acrobatiques.

réaction plus court, ou encore une meilleure perception de l'orientation du corps dans l'espace. Dans le même esprit, l'activité posturale chez le judoka a également été étudiée en comparaison à des non-judokas ou à des pratiquants d'autres disciplines. Il a par exemple été démontré que l'entraînement en judo permet d'améliorer les capacités posturales (Perrot et al. 1998). Cette étude a comparé deux groupes : un groupe de judokas et un groupe contrôle. Pour mesurer les ajustements posturaux, les sujets étaient placés sur une plateforme de force qui s'inclinait aléatoirement vers le haut. L'activité des muscles triceps sural et tibial antérieur était mesurée par électromyographie de surface. Leurs résultats ont montré que les combattants, après déstabilisation, retrouvent leur posture plus rapidement par rapport au groupe contrôle. Les auteurs mettent en avant l'idée que le traitement cognitif est plus rapide pour le groupe de judokas impliquant une meilleure régulation de la posture debout. Au moyen d'une plateforme de force, une autre étude a comparé les régulations posturales de judokas de haut niveau, de danseurs professionnels et de sujets contrôles (Perrin et al. 2002). L'objectif visait à déterminer si ces sports améliorent le contrôle postural, indiquant ainsi un effet positif de l'entraînement sur les adaptabilités sensori-motrices. Les résultats témoignent de meilleures performances chez les judokas par rapport aux danseurs, eux-mêmes étant plus performants que le groupe contrôle. Lorsque le test est effectué les yeux fermés, les résultats sont amplifiés et seuls les judokas sont en mesure de conserver leur équilibre. Les auteurs concluent leur étude en précisant que les informations visuelles sont fondamentales pour les danseurs, alors qu'elles le sont beaucoup moins pour les judokas dans le contrôle postural. Ces données indiquent que la pratique d'une activité de haut niveau impliquant des afférences proprioceptives améliore la motricité liée au contrôle de l'équilibre.

D'autres études ont comparé l'activité posturale chez les judokas en fonction de leur niveau d'expertise. Il a ainsi été montré que les judokas débutants mobilisent davantage de segments corporels pour conserver leur équilibre en comparaison aux experts dont les stratégies d'équilibration sont beaucoup plus simples (Mesure et Crémieux 1996). En phase de déstabilisation, les débutants ont des stratégies inefficaces et sont incoordonnés là où les experts synchronisent efficacement les différents segments pour réguler la posture. Une autre étude a comparé les capacités posturo-cinétiques et l'utilisation des informations visuelles de combattants de niveaux régional et national (Paillard et al. 2002a). Par une mesure de l'équilibre statique au moyen d'une plateforme de force, aucune différence entre les deux groupes n'a été mise en évidence. Les auteurs en concluent donc que les différences de niveau entre ces deux groupes s'expliquent par d'autres facteurs de performance (physiologiques, techniques, ...).

Enfin, une autre étude a comparé l'activité posturale des judokas en fonction du type de technique utilisée préférentiellement¹¹⁹ (Paillard et al. 2002b). Elle a permis de démontrer que le « *tokui-waza* » influence les ajustements posturaux des judokas. Les auteurs ont mesuré l'équilibre postural de deux groupes sur un système instable constitué par une plateforme à bascule. Le premier groupe était constitué de judokas exploitant préférentiellement des techniques d'épaules ou de bras, techniques nécessitant deux appuis plantaires ; le second groupe utilisait majoritairement des techniques de hanches ou de jambes, techniques s'exécutant sur un seul appui plantaire. Les résultats montrent que les judokas qui exécutent sur deux appuis sont plus stables lorsqu'ils sont évalués en condition bipodale ; lorsqu'ils sont évalués en position unipodale, les résultats sont inversés. Ils en concluent que la répétition de mouvements spécifiques liée à l'entraînement s'accompagne d'adaptations posturales propres à chaque mouvement.

Ainsi, l'ensemble de ces recherches démontre que la pratique du judo permet d'améliorer l'efficacité du contrôle postural. Nous pouvons noter que dans ce type d'études, l'activité est fréquemment mesurée par plateforme de force, par analyse fréquentielle ou encore par EMG dans des conditions de laboratoire. Si quelques unes d'entre elles cherchent à reproduire l'incertitude du combat au travers de mouvements aléatoires d'une plateforme, il n'en demeure pas moins qu'aucune ne cherche à évaluer les ajustements posturaux en situation écologique d'opposition.

2.4.1.2) Déplacements

Les déplacements « *correspondent à un transfert du poids du corps d'un appui sur l'autre tout en maintenant l'équilibre général du corps (maintien de la verticalité du buste)* » (Domagata et al. 2012). Ainsi, la qualité des déplacements conditionne la qualité de l'équilibre évoqué précédemment et fondamental en judo.

Dans une séquence de combat de judo debout, il est possible de distinguer deux temps de déplacement (Loison 2016). Le premier temps correspond à la phase d'approche qui permet de réduire la distance entre les deux combattants avant que le « *kumi-kata* » ne s'installe ; durant cette première phase, les déplacements des judokas sont indépendants les uns des autres. Le second temps correspond au moment où le « *kumi-kata* » est en train d'être installé ou bien est

¹¹⁹ Une technique utilisée préférentiellement par un combattant correspond à son « *tokui-waza* » ou « *spécial* ».

installé. Durant cette seconde phase, les combattants sont en « *équilibre de couple* » (Albertini 1983) et par conséquent dépendants l'un de l'autre. Comme évoqué dans notre modélisation de l'activité, la pratique est circonscrite à une surface définie, les déplacements permettent donc aux judokas d'évoluer dans cette surface. Durant la phase d'installation du « *kumi-kata* » puis de préhension, les déplacements ont pour objectif d'amener l'adversaire dans une situation défavorable générant un déséquilibre permettant l'exécution d'une projection : « *la façon d'évoluer en judo est donc très importante puisque c'est sur un déplacement (provoqué, amené ou occasionnel) que se greffera le déséquilibre propre à provoquer la chute* » (Beaujean 1953). Le terme de « *mobilité* » peut aussi être évoqué pour décrire les déplacements qui sont considérés comme « *l'aptitude à pouvoir déplacer le corps instantanément, en attaque comme en défense, en pivotant, en esquivant, en avançant, en reculant ou en se décalant* » (Masnières 1988).

Dans les ouvrages professionnels, les techniques de déplacement debout sont très peu abordées et sont répertoriées de manière analytique selon une approche culturaliste de l'activité. Trois modes de déplacement sont décrits « *ayumi ashi, tsugi ashi et tai sabaki,* » (Domagata et al. 2012). La marche, qui permet d'avancer ou de reculer, « *peut être normale (ayumi ashi)* » en croisant les pieds, ou « *en pas chassé (tsugi ashi)* » (Duval et Rabilloud 1971), c'est-à-dire en appuis décalés, les pieds ne se croisant jamais. Le « *tai sabaki* » permet de réaliser des déplacements circulaires avec un pivot autour de l'axe vertical du corps : « *le corps tourne soit sur le pied avant (déplacement du pied arrière), soit sur le pied arrière (déplacement du pied avant)* » (Domagata et al. 2012).

Au-delà de ces descriptions analytiques, le fait de faire « *glisser les pieds* » apparaît comme un principe inéluctable des déplacements. Domagata et al. décrivent les déplacements comme devant être « *tous effectués en glissant les pieds (tsuri ashi)* » (Domagata et al. 2012). Cadot explique que savoir se déplacer en « *suri-ashi* » suppose de « *laisser froter, glisser la plante du pied* » (Cadot 2015). Ou encore, Duval et Rabilloud précisent que « *toutes doivent toujours s'effectuer en glissant les pieds sur le tapis* » (Duval et Rabilloud 1971). Enfin « *il faut veiller autant que possible à garder la plante des pieds en contact avec le tatami, par action de l'articulation des chevilles et des genoux, et mettre la force sur les petits doigts* » (Fédération française de judo 1950).

Concernant le champ scientifique, si plusieurs études précédemment décrites se sont intéressées à la posture et l'équilibre des judokas, aucune ne s'intéresse à l'analyse de leurs déplacements selon une approche biomécanique. Seule une étude s'est intéressée aux

conséquences des modes de déplacement des judokas sur leurs qualités physiques (Koyama et al. 2019). Par l'utilisation d'outils de mesure dynamométriques, cette étude a démontré que la force des fléchisseurs des orteils des judokas était significativement plus importante par rapport à celle de sujets d'un groupe contrôle. Les auteurs en concluent donc que le mode de déplacement spécifique en judo a une incidence sur les qualités physiques des pieds des judokas.

2.4.2) Les saisies : le « *kumi-kata* »

Les saisies permettent d'agir avec ses mains sur le « *judogi* » de l'adversaire. En cela, elles sont indispensables pour déplacer, déséquilibrer et projeter. Médiées par l'instrument qu'est la veste, elles distinguent en cela le judo d'autres sports de préhension tels que la lutte libre dans laquelle elles s'opèrent directement sur le corps de l'adversaire. Elles sont traditionnellement identifiées en japonais, selon une approche culturaliste, sous le vocable « *kumi-kata* ». Plus largement, au-delà de la simple saisie au sens littéral d'agripper le tissu, « *le kumi-kata intègre les phases d'approches et d'accroches (grapping) et bien sûr la mise en place des mains, la garde (orientation bras/corps/pieds) et l'utilisation qui en est faite (déstabiliser, déplacer, attaquer)* » (Calmet 2010). En somme, le « *kumi-kata* » est constitué de d'une phase d'approche vers l'adversaire puis d'une phase de positionnement des mains¹²⁰ qui peut être qualifié de « *algorithme d'installation* » (Loison 2016). Il est ensuite exploité au service de l'attaque, via des actions, réactions et déplacements, mais également dans un but défensif. Il est en ce sens « *l'organe de transmission entre les deux partenaires* », car c'est « *le seul point de contact quasi permanent qui existe entre eux* » (Masnières 1988).

Les ouvrages techniques consacrent usuellement assez peu de place aux saisies et au « *kumi-kata* ». Tout comme pour les déplacements, quand ils sont abordés, ils sont généralement décrits de manière sommaire et souvent sans lien explicite avec les techniques de projection qu'ils sont censés amener. Inogai et Habersetzer modélisent deux catégories de

¹²⁰ Également appelée « *garde* ».

« *kumi-kata* » : la saisie fondamentale qui peut être à droite ou à gauche¹²¹, et les saisies libres¹²² (Inogai et Habersetzer 2002). Masnières propose trois catégories : le normal¹²³, le haut et le mixte (Masnières 1988). Thabot quant à lui propose un modèle en fonction de la latéralité des deux combattants : les saisies emboîtées et les saisies inversées¹²⁴ (Thabot 1995). Quelques ouvrages font cependant exception, c'est notamment le cas de celui de Vial et al. de 1988 qui propose une multitude de schémas tactiques permettant d'arriver sur un nombre varié de saisies en lien avec une technique de projection, ou encore l'ouvrage technique fédéral de 1973 qui leur est entièrement dédié.

Au-delà de la forme globale des gestes décrite analytiquement dans ces publications, peu de données relatives à la motricité du mouvement ainsi qu'à son processus sont proposées. Sur ce dernier point, un élément revient toutefois régulièrement et concerne la notion de contraction et de relâchement musculaire des muscles préhenseurs. Les discours convergent pour expliquer que durant des saisies, un relâchement relatif est souhaitable, puis lors des attaques des contractions plus importantes seraient nécessaires afin d'exécuter des mouvements plus explosifs. Chez les moins experts, les contractions des avant-bras seraient en permanence d'intensités élevées conduisant à des fatigues précoces. Ces constats empiriques et professionnels se retrouvent au travers des trois citations ci-après :

- « *En ce qui concerne la façon de tenir, il est des débutants qui essayent de dominer leur adversaire en agrippant fortement le judogi. Cette façon de faire fatigue les mains, rend impossible une rupture habile de l'équilibre de l'autre, et empêche également la liberté de mouvement. Pour cette raison, veillez à tenir votre adversaire avec douceur et souplesse.* » (Fédération française de judo 1950)

¹²¹ La saisie fondamentale y est par exemple décrite de manière très précise mais très formelle : « *la main droite de tori saisit le revers gauche du judogi du uke, au niveau de la clavicule. Le pouce est en dedans, les quatre autres doigts à l'extérieur. La pince du pouce et de l'index ne tient que modérément tandis que les trois autres doigts s'enroulent avec force à partir de l'auriculaire. La main de tori saisit la manche droite de la veste de uke, sous le coude, en emprisonnant le plus de tissu. L'action des doigts est la même que celle des doigts de la main droite. Les deux coudes de tori restent souples et pointent vers le bas.* »

¹²² Les saisies libres sont décrites comme des variantes de la saisie fondamentale permettant de s'adapter à certaines situations ; par exemple : « *les deux mains de tori emprisonnent les deux manches de uke* » ou encore « *une seule main saisit* ».

¹²³ Équivalent au traditionnel décrit par Inogai et Habersetzer.

¹²⁴ Les saisies emboîtées sont particulièrement adaptées à deux droitiers ou deux gauchers s'opposant. Les saisies inversées sont adaptées aux combattants ayant une latéralité opposée.

- « D'une manière générale, une bonne saisie est celle qui permet un contact étroit mais non bloqué de l'adversaire. Une trop grande raideur des coudes et des poignets peut donner une fausse impression de sécurité, car on a le sentiment de pouvoir maintenir Uke à distance. Surtout, il devient difficile de modifier rapidement sa position par rapport à Uke et une contraction prolongée a tendance à remonter le centre de gravité. » (Inogai et Habersetzer 2002)
- À propos du kumi-kata : « les muscles des avant-bras, des bras et des épaules semblent les plus sollicités (et notamment les muscles de l'avant-bras qui se tétanisent si rapidement lors des combats). [...] En effet, il ne s'agit pas de passer d'un relâchement à une explosion, mais il faut arriver "à exploser" (niveau des bras) alors que ces muscles sont en action très intense. [...] Évidemment ce que nous devons rechercher : c'est une combinaison de ces deux types de contractions, c'est-à-dire exercer constamment une certaine pression (contraction isométrique des muscles des avant-bras, bras et épaules), et à partir de celle-ci greffer des actions rapides d'ouverture de garde (contraction isotonique de ces mêmes muscles). » (Fédération française de judo, jiu-jitsu et disciplines associées 1973)

Ces paramètres de la force de préhension nécessaire pour les saisies et pour l'efficacité du « *kumi-kata* » ont été étudiés à de nombreuses reprises. Ces recherches visaient à mesurer et à quantifier la force de ce que l'on appelle couramment le « *grip* » des judokas. Ainsi, il a démontré au travers de mesures dynamométriques que les pratiquants de sports de combat de préhension¹²⁵ ont une force maximale de préhension et une fréquence maximale de préhension en mode impulsif plus importantes en comparaison de pratiquants de sports de combat de percussion¹²⁶ (Iermakov et al. 2016). D'autres études, également par l'utilisation d'outils dynamométriques, ont démontré que les athlètes de haut niveau, adultes ou adolescents, ont à la fois une force de préhension maximale et une endurance intermittente de préhension plus efficaces par rapport à des judokas de niveau régional (Bonitch-Góngora et al. 2013; Franchini et al. 2011).

Comme pour d'autres études présentées précédemment, ces recherches exploitent des dynamomètres permettant d'obtenir des données mécaniques, mais ne permettent pas

¹²⁵ Lutte, judo et sambo.

¹²⁶ Karaté et taekwondo.

d'analyser la motricité des combattants. Elles se cantonnent à l'analyse des qualités physiques nécessaires au combattant en recueillant des données exclusivement en laboratoire dans un contexte éloigné des tatamis.

Quelques études, dans des domaines autres que la biomécanique, ont cependant analysé le « *kumi-kata* » dans un contexte écologique. Ces études s'appuient sur l'analyse, par des experts, de combats en situation réelle. Le recueil de données est établi au travers de grilles précises, détaillées et exhaustives construites par des experts. C'est par exemple le cas de d'une étude fédérale qui analyse tous les combats masculins et féminins des jeux olympiques de 2016 (Loison 2016). Une modélisation du « *kumi-kata* » au travers de douze gardes distinctes croise l'analyse avec les directions d'attaque utilisées pour chacune de ces gardes. Est ainsi fait le constat qu'à haut niveau, en situation écologique, la garde dite « *classique* »¹²⁷ est utilisée dans près de 30% des situations, suivie de la garde « *en double manche* » et de la garde « *haute* » qui sont utilisées dans respectivement près de 14 et 12% des situations. Aussi, la garde « *traditionnelle* », « *classique* », « *fondamentale* » n'est en réalité exploitée que dans trois situations sur dix à haut niveau.

En adoptant la même approche Calmet et al. ont comparé les stratégies d'approche et de saisie de combattants de trois niveaux d'expertise (Calmet et al. 2010). Après avoir modélisé les séquences de combat menant aux saisies puis à la projection, ils ont appliqué ce modèle sur

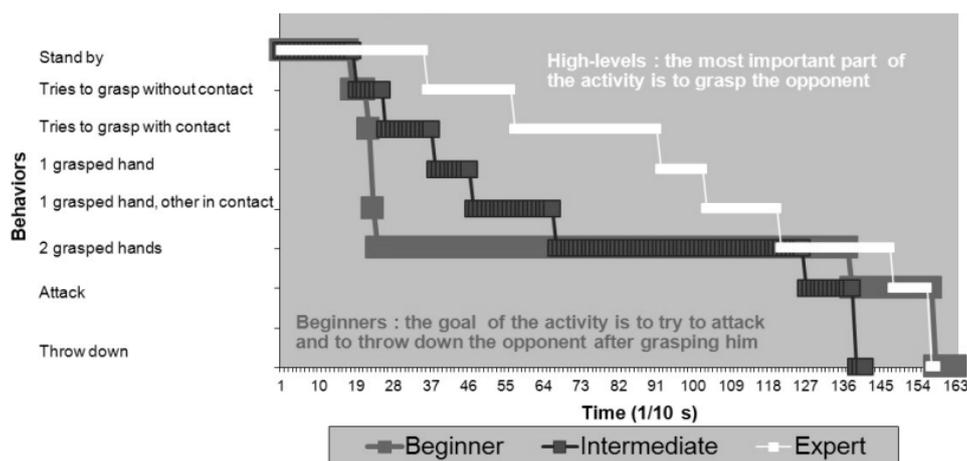


Figure 8 : stratégie de construction du « *kumi-kata* » en fonction du niveau d'expertise. Source : Calmet et al. 2010.

un groupe de débutants, un groupe de niveau intermédiaire et un groupe d'experts. Leurs résultats démontrent que les débutants saisissent presque immédiatement à deux mains le « *judogi* » adverse : 86% de leur temps de combat se déroule avec les deux mains posées, à

¹²⁷ Décrite précédemment au travers des exemples extraits d'ouvrages.

attaquer et projeter. À l'inverse, les experts passent près des trois-quarts du temps de leurs combats à essayer de poser leurs deux mains sur leur opposant dans le but de se retrouver dans une situation dominante : seulement 24% de leur temps de combat se déroule avec les deux mains posées, à attaquer et projeter. Ces résultats, prélevés en contexte écologique, démontrent qu'avec l'expertise la stratégie de construction du « *kumi-kata* » devient de plus en plus prégnante. Les combattants dépensent énormément de temps et d'énergie afin de parvenir à imposer une garde dominante sur l'adversaire, garde qu'ils sont ensuite capables d'exploiter de plus en plus rapidement. D'autres auteurs ont réalisé le même type d'études mais en comparant les stratégies de prise de garde en fonction des catégories de poids. Une autre étude a ainsi analysé les 548 combats masculins de JO de Londres (Brabec et al. 2019). Elle démontre que les judokas des catégories légères passent plus de temps en phase d'approche qu'en phase de saisie. À l'inverse, pour les plus lourds la tendance s'inverse avec des temps de préhension plus importants.

Qu'elles soient scientifiques, ou professionnelles, l'ensemble des publications s'accordent sur l'importance stratégique du « *kumi-kata* ». Si les ouvrages techniques décrivent peu de techniques de saisie et s'attardent souvent sur les gardes traditionnelles, les études en situation écologique modélisent plus finement cette forme de motricité et démontrent qu'un grand nombre de saisies variées sont exploitées par les combattants experts. Ces études démontrent également que la stratégie de saisie, au travers du temps de préparation, devient de plus en plus prégnante avec l'expertise. La préhension du judogi est aussi mise en avant par les publications. Les ouvrages professionnels mettent en avant l'importance du relâchement dans la saisie tout en étant capable d'être explosif au moment des situation clés. Sur ce thème, les publications scientifiques se centrent quant à elles sur la mesure de la force de préhension, qu'elle soit maximale ou d'endurance, au travers d'outil dynamométriques, en démontrant que la pratique du judo tend à développer cette force de préhension. Pour autant, à l'image des déplacements, nous n'avons pu recenser à ce jour aucune étude de biomécanique consacrée à l'analyse des saisies en contexte écologique.

2.4.3) Les projections et les chutes

Lors d'une projection, deux formes de motricité peuvent être analysées : celle de l'attaquant, qui exécute la technique de projection afin d'amener son adversaire sur le dos au sol ; et celle du défenseur, qui cherche à ne pas chuter, ou en cas de chute à ne pas chuter sur le

dos et à éviter la blessure. Les ouvrages professionnels comme les publications scientifiques se sont largement attachés à les décrire et analyser.

2.4.3.1) Les techniques de projection : les « *nage-waza* »

En combat debout, en cohérence avec la logique interne de l'activité, les deux opposants cherchent à projeter leur adversaire sur le dos dans l'objectif de marquer un « *Ippon* » et ainsi remporter le combat.

L'exécution de techniques de projection sur un adversaire nécessite de pouvoir agir et s'appuyer sur ce dernier, au travers des saisies décrites précédemment, et en le déplaçant sur la surface de combat. Dans les deux sous-parties précédentes, nous avons mis en avant le fait que, dans les ouvrages professionnels, peu de place était accordée à la description et l'analyse des techniques de déplacement et de saisie. En effet, ces ouvrages consacrent une large part à la description, plus ou moins formelle et plus ou moins contextualisée, des techniques de projection¹²⁸.

Dans les clubs, durant les cours de judo, traditionnellement et usuellement, lorsque l'on parle de « *techniques* », cela sous-entend dans la plupart des cas « *techniques de projection* »¹²⁹ appelées « *nage-waza* » en japonais. Nous retrouvons ce constat dans les propos de Loizon et al. : « *Pour définir ce que nous entendons par savoir technique, nous dirons que ce savoir correspond à la description formelle des techniques (Fédération Française de Judo et Disciplines Associées 1967), c'est-à-dire à une désyncrétisation avant tout temporelle puisque chaque technique est minutieusement décrite en plusieurs temps. [...] La technique étant définie ici dans son sens le plus restreint comme la manifestation la plus directement observable, essentiellement gestuelle et spatiale, que l'on pourrait qualifier de norme. Elle correspond à des formes de corps que doit s'approprier le judoka pour parvenir à la plus grande efficacité gestuelle possible* » (Loizon et al. 2005).

Jigoro Kano, créateur du judo, est le premier à avoir modélisé l'activité sans pour autant en avoir conçu les techniques. Selon Cadot, « *certaines techniques sont réputées de son intervention, mais il semble plus juste de dire qu'il les a redécouvertes* » car beaucoup ont déjà été décrites auparavant dans d'autres écoles. D'autres « *ont été "créées" par le judo mais*

¹²⁸ Ainsi que pour le « *ne-waza* » des techniques d'immobilisation et de soumission (clés, étranglements).

¹²⁹ Ou d'immobilisations, ou d'étranglements, ou de clés de bras pour le combat au sol.

simplement parce que ce sont les conditions de la pratique du judo qui les ont rendues possibles » et notamment l'utilisation d'un vêtement en tissu pour les saisies (Cadot 2006). Kano a procédé à un tri et un ordonnancement de ces différentes techniques selon des principes mécaniques permettant de les exécuter sans recours à la force musculaire et en excluant tout danger. Il décompose alors les « *nage-waza* » en cinq familles, chacune ayant ses propres principes d'exécution :

- les « *te-waza* » : techniques de mains¹³⁰ ;
- les « *ashi-waza* » : techniques de jambes¹³¹ ;
- les « *koshi-waza* » : techniques de hanches¹³² ;
- les « *mae-sutemi-waza* » : techniques de sacrifice dans l'axe¹³³ ;
- et les « *yoko-sutemi-waza* » : techniques de sacrifice sur le côté¹³⁴.

Au travers de la sélection de trois techniques par famille, le « *nage-no-kata* »¹³⁵, premier « *kata* » que Kano formalise en 1887, vise à synthétiser ces principes (Cadot 2006). Si ce « *kata* » ne recense que quinze techniques, il est à ce jour difficile de dénombrer l'ensemble des formes de projection existantes. En effet, depuis les premiers travaux et le « *gokyo* »¹³⁶ du Maître, de nombreuses techniques ont émergé, souvent « *nées à l'étude d'autres techniques* » par l'évolution de techniques pré-existantes. Aujourd'hui, ces techniques sont largement détaillées dans la littérature professionnelle. Des ouvrages fédéraux¹³⁷ ou produits par des enseignants¹³⁸ y décrivent les différentes techniques selon une forme normative mais surtout les modes de transmissions adaptés. D'autres sont rédigés par des champions qui y explicitent

¹³⁰ Par exemple : « *ippon-seoi-nage* ». Aussi qualifiés dans certains ouvrages de techniques de bras ou épaules.

¹³¹ Par exemple : « *o-soto-gari* ».

¹³² Par exemple : « *o-goshi* ».

¹³³ Par exemple : « *tani-otoshi* ».

¹³⁴ Par exemple : « *sumi-gaeshi* ».

¹³⁵ Kata des projections.

¹³⁶ Constitué de 40 techniques réparties en cinq étapes de progression.

¹³⁷ Par exemple : Fédération Française de Judo et Disciplines Associées 1989.

¹³⁸ Par exemple : Maupu et Vettrains 2011.

soit un ensemble de techniques¹³⁹, soit leur mouvement favori appelé « *tokui-waza* »¹⁴⁰, en mettant en avant leur expertise et des formes motrices qui leur sont propres.

Au-delà de la description ou de la catégorisation des techniques de projection, Kano et les auteurs d'ouvrages plus récents exploitent un modèle basé sur trois étapes afin de décomposer leur analyse. Elles se succèdent théoriquement selon l'ordre ci-après, mais peuvent être parfois imbriquées ou superposées (Blais et Trilles 2004) :

- le « *kuzushi* » qui correspond à la phase de déséquilibre¹⁴¹ ;
- le « *tsukuri* » qui correspond à l'étape de placement¹⁴² ;
- et enfin le « *kake* » qui correspond à la projection¹⁴³.

Toutefois, si désormais il existe un nombre conséquent de techniques répertoriées, les études montrent qu'un petit nombre d'entre elles sont réellement exploitées par les compétiteurs, les autres étant rarement utilisées, réservées à l'examen des grades ou bien interdites en « *shiai* ». Ainsi, lors des championnats du monde de 2017, les dix techniques les plus exploitées représentaient à elles seules 57% du total des attaques, dont 13% pour les formes de « *seoi-nage* » (Martins et al. 2019). Lors des JO de 2012, près de 49% des tentatives d'attaque¹⁴⁴ étaient des formes de « *seoi-nage* », et six techniques au total¹⁴⁵ ont constitué la grande majorité des attaques (Sterkowicz et al. 2013).

Ces modèles culturalistes, correspondant au type d'action de projection¹⁴⁶ ou à la temporalité de l'action de projection, sont largement réinvesties et exploitées dans les études de biomécanique. Comme précisé précédemment, les recherches s'intéressant à l'analyse des

¹³⁹ Par exemple : Demontfaucon et Weiss 2011.

¹⁴⁰ Par exemple : Nakanishi 1998 ou Rougé 1992.

¹⁴¹ Peut aussi être traduit par « *destruction* », « *écroulement* » ou encore « *déstabilisation* » (Cadot 2006).

¹⁴² Egalement « *phase de construction* » qui « *consiste à construire à la fois une position dans laquelle on est fort et où il est possible en même temps de garder l'autre dans une posture aussi inconfortable que possible* » (Cadot 2006).

¹⁴³ « *Le fait de profiter de ce qui a été construit à l'étape précédente pour porter, de manière spécifique, une technique donnée, c'est-à-dire pour appliquer le moyen mécanique qui va concrétiser la situation que le *kuzushi* puis le *tsukuri* ont permis puis construit.* » (Cadot 2006).

¹⁴⁴ 551 attaques sur un total de 1123.

¹⁴⁵ « *seoi-nage* », « *tai-otoshi* », « *o-uchi-gari* », « *ko-uchi-gari* », « *uchi-mata* », « *soto-makikomi* ».

¹⁴⁶ C'est-à-dire la technique de projection utilisée.

projections sont majoritaires¹⁴⁷, avec une large prégnance des études s'appuyant sur la cinématique.

Les études utilisant la dynamique sont les moins fréquentes. Les premières d'entre elles utilisent des plateformes de force afin de mesurer les forces de liaison avec le sol lors de l'exécution des techniques de projection. Tezuka et al. en 1983 puis Harter et al. en 1985 semblent avoir été précurseurs en utilisant des plateformes pour comparer les forces de liaison lors de projections avec « *harai-goshi* », « *tai-otoshi* » et « *uchi-mata* ». Peu après, dès la fin des années 1980 au sein du laboratoire de Poitiers, Cadière, Trilles et al. exploitent également cette approche dans le but de mesurer les forces de liaison avec le sol lors de l'exécution de la technique « *uchi-mata* » (Cadière 1988 ; Trilles et al. 1990). Ces études couplent souvent leurs mesures avec une capture vidéo afin de réaliser également une analyse cinétique. C'est notamment le cas des recherches de Pucsok et al. qui ont comparé par cette approche un groupe d'experts et un groupe de débutants réalisant la technique de « *harai-goshi* » (Pucsok et Nelson 2001). En situation de coopération, « *tori* » devait projeter « *uke* » en posant son pied d'appui sur une plateforme de force, les actions étaient enregistrées par deux caméras vidéo. Les forces horizontales et verticales de la jambe d'appui, et les vitesses horizontale et verticale de la jambe de fauchage lors de l'exécution de la technique ont été mesurées. Les résultats ont montré une différence significative dans l'application de la force horizontale, entre les experts et les débutants. Il y avait également une corrélation entre l'application de la force de réaction horizontale et la vitesse de fauchage des jambes. Les auteurs en concluent donc que la vitesse de fauchage est fonction de l'application de la force de réaction du sol, et que la vitesse de fauchage horizontale joue un rôle primordial dans la bonne exécution de la technique « *harai-goshi* ».

Outre l'analyse des forces de liaison avec le sol, les études s'appuyant sur la dynamique peuvent également permettre de mesurer les efforts articulaires et les dépenses énergétiques lors des projections. C'est notamment le cas de l'étude de Blais et al. présentée précédemment (Blais et al. 2007). Au moyen d'un ergomètre dit de « *Mayeur* », les sujets experts devaient réaliser sous forme de « *uchi-komi* » la technique « *morote-seoi-nage* ». Deux capteurs de force couplés à l'ergomètre et deux plateformes de force ainsi qu'un système de capture tridimensionnelle du mouvement permettaient de relever les données. Leur étude permettait

¹⁴⁷ En comparaison au nombre d'études s'intéressant aux déplacements et saisies.

ainsi d'analyser les forces et moments des principales articulations et segments actifs. Leurs résultats démontrent que les principaux moments sont générés au niveau des membres inférieurs et par le tronc. Ils mettent aussi en avant le fait que la dépense énergétique a principalement lieu durant la phase de « *tsukuri* », c'est-à-dire quand « *tori* » vient se positionner sous « *uke* ».

Les études s'appuyant sur la cinématique sont quant à elles davantage développées. Elles apparaissent principalement à compter du début des années 2000 et visent des objectifs plus variés : déterminer les principes d'efficacité d'une technique, mesurer les paramètres mécaniques de la performance d'un geste, comparer des réalisations en fonction des niveaux d'expertise, de la morphologie ou du contexte d'exécution, ou encore identifier des adaptations personnelles de pratique.

Blais et Trilles utilisent par exemple l'approche cinématique afin de mettre en évidence, lors de la réalisation par des experts de « *seoi-nage* », les « *principes d'efficacité* » ou « *invariants* » censés correspondre aux différents paramètres mécaniques fondamentaux du mouvement (Blais et Trilles 2004). Les auteurs ont sollicité cinq internationaux, spécialistes de cette technique, afin la réaliser sous forme de « *nage-komi* », c'est-à-dire sans opposition, pendant qu'un appareil de « *motion-capture* »¹⁴⁸ a permis de mesurer et calculer les

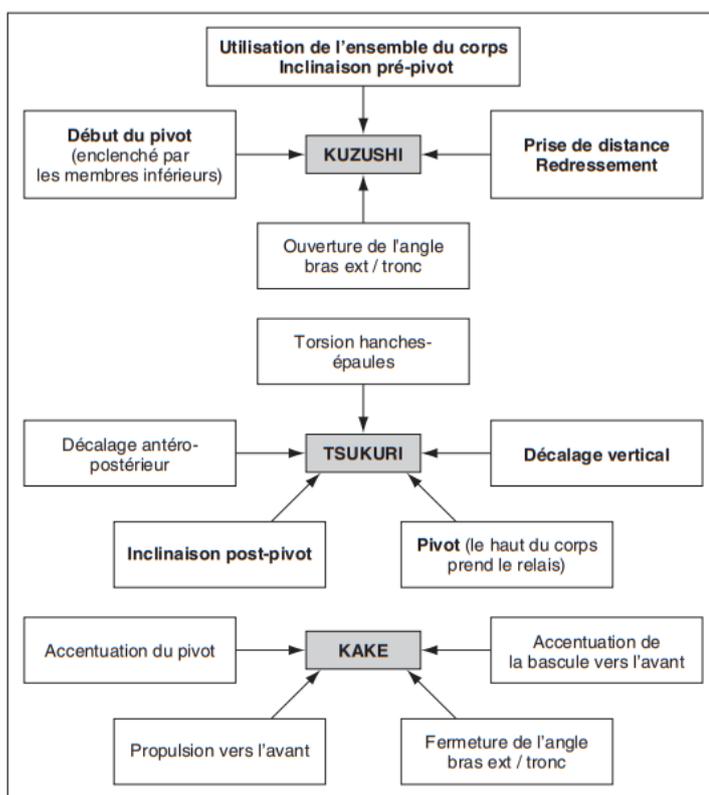


Figure 9 : schéma récapitulatif des invariants mécaniques identifiés par Blais et al. Source : Blais et Trilles 2004.

paramètres du geste. Ils en extraient cinq éléments qui leur paraissent essentiels : « *la torsion hanches-épaules, l'inclinaison pré-pivot, l'inclinaison post-pivot, le décalage vertical et le*

¹⁴⁸ Cinq caméras vidéo à 50Hz synchronisées.

décalage antéro-postérieur », et qui pourraient constituer selon eux des principes d'action fondamentaux de la technique en question.

D'autres travaux visent à comparer des groupes de sujets aux caractéristiques distinctes effectuant une même technique. C'est par exemple le cas de la récente étude de Ishii et al. (2018) évoquée préalablement¹⁴⁹. Ces auteurs ont comparé deux niveaux d'expertise pour la technique « *seoi-nage* » réalisée en coopération sous forme de « *nage-komi* ». Ces derniers partent du postulat qu'en comparant les motricités entre judokas d'expertises différentes¹⁵⁰, il est possible d'identifier les facteurs biomécaniques qui déterminent une exécution rapide et habile de la technique. Les mesures recueillies sur « *tori* » par un système de « *motion capture* »¹⁵¹ ont permis de mettre en évidence des nuances dans les modes d'exécution des deux groupes. Leurs résultats démontrent une vitesse maximale du centre de gravité selon l'axe antéro-postérieur et une vitesse angulaire de la ligne des épaules autour de l'axe longitudinal, supérieures chez les haut niveau. Aucune différence significative entre les deux groupes dans la phase de rotation du mouvement n'a toutefois été mise en évidence. Les auteurs en déduisent donc que c'est la vitesse d'exécution dans la phase de préparation du mouvement qui est révélatrice du niveau de compétence dans l'exécution de la technique « *seoi-nage* ». En adoptant le même type de méthodologie de mesure, des travaux ont aussi comparé les exécutions techniques en fonction des morphologies des judokas. Il a par exemple été montré que le temps d'exécution, et notamment de la phase de préparation, de la technique « *seoi-nage* » était plus court face à un « *uke* » de taille identique ou supérieure à « *tori* » par rapport à un adversaire de taille inférieure (Melo et al. 2013). Des chercheurs se sont également attaché à démontrer que les techniques « *harai-goshi* » et « *o-soto-gari* », si elles sont exécutées par un « *tori* » de grande taille, sont plus puissantes et plus efficaces en comparaison à une exécution d'un « *tori* » de plus petite taille (Imamura et al. 2006). Le contexte d'exécution est également un élément de comparaison pour les chercheurs. Il a ainsi été montré que lors de la réalisation de la technique « *harai-goshi* » par des experts, les vitesses de rotation du tronc de « *tori* » sont similaires lorsqu'on compare une exécution face à un « *uke* » qui n'oppose pas de

¹⁴⁹ En tant que seule étude actuelle s'affichant comme réalisée en contexte écologique au motif qu'elle analyse conjointement « *tori* » et « *uke* ».

¹⁵⁰ Dix judokas de haut niveau vs universitaires.

¹⁵¹ VICON-MX à 250 Hz.

résistance, avec une exécution face à un « *uke* » qui résiste, par contre l'amplitude du geste est significativement supérieure face à un « *uke* » qui oppose une résistance (Imamura et al. 2007).

En analysant ces études relatives aux techniques de projection nous faisons plusieurs constats. Le premier d'entre eux, qui s'avère récurrent, est que ces études sont toujours effectuées dans un contexte de coopération, bien éloigné de la situation écologique. Ensuite, nombre de publications se cantonnent seulement à l'analyse des deux premières phases d'exécution du mouvement, au « *kuzushi* » et au « *tsukuri* », et écartent la phase finale de projection, le « *kake* ». Enfin, la majorité des recherches se centre exclusivement sur la forme du geste, par une description pure, en oubliant leur fonction. Plus précisément, beaucoup d'entre elles ne cherchent pas à extraire de leur résultats les facteurs d'efficacité des techniques.

2.4.3.2) Les techniques de chute : les « *ukemi* »

En tant qu'activité duelle, la conséquence d'une projection pour le défenseur est la chute. Lorsque certains critères de réception sont respectés¹⁵² alors une valeur est marquée par l'attaquant : « *Ippon* » ou « *waza-ari* ». Dans tous les cas, en situation d'opposition, « *uke* » cherche à ne pas se réceptionner sur le dos, tout en essayant de préserver son intégrité physique. La description de techniques qui permettent de chuter sans se blesser, nommées « *ukemi* »¹⁵³, apparaît à compter de 1931 dans les écrits de Kano (Cadot 2006). Par ces techniques, l'objectif du Maître est de « *transformer l'échec immédiat*¹⁵⁴ *en expérience positive, source du succès futur* » en pouvant ainsi « *réitérer les tentatives autant de fois que nécessaire* ». En ce sens, il attribue deux fonctions aux « *ukemi* » : « *ne pas se blesser* » et « *permettre d'essayer sans craindre d'échouer* » (Cadot 2006).

Les ouvrages professionnels et surtout pédagogiques, notamment ceux dédiés à l'enseignement du judo aux enfants, consacrent tous un nombre conséquent de pages à la description et l'enseignement de ces techniques¹⁵⁵. Deux idées directrices font partie intégrante de la technique : l'élimination d'un heurt brutal à la réception en proposant un contact avec un

¹⁵² Définis précédemment.

¹⁵³ Peut être traduit comme « *la chair qui reçoit* » (Cadot 2015), « *brise-chute* » ou encore « *break-falls* » en anglais.

¹⁵⁴ Qu'est la chute.

¹⁵⁵ Pour exemple Augé, Lavie, et Meuley 2003 ou Fédération française de judo, jiu-jitsu et disciplines associées 2018.

corps arrondi et sans saillie osseuse tout en protégeant la nuque et le tête ; et le traitement de l'onde de choc par le principe de d'action-réaction en renvoyant cette onde vers le tatami grâce à une frappe violente et sèche sur le sol avec le bras et la main (Habersetzer et al. 2000). Culturellement, les différents types d' « *ukemi* » sont modélisés selon le sens de la chute :

- vers l'avant : « *mae-ukemi* » ;
- vers l'arrière « *ushiro-ukemi* » ;
- vers le côté « *yoko-ukemi* ».

A l'exception de l'analyse des chutes, les études de biomécanique ne s'intéressent que très rarement aux attitudes du « *uke* » en situation de défense¹⁵⁶. Un certain nombre de publications s'attardent en effet sur l'analyse de la réception consécutive à une projection. Elles ont souvent pour objectif de mieux comprendre la chute dans une optique de prévention, ces dernières étant les causes essentielles de blessure en judo par rapport aux autres causes telles que par exemple celles liées aux clés de bras (Lariosa et al. 2017). En outre, lors des entraînements, un compétiteur est amené à chuter très fréquemment, subissant par conséquent de nombreux impacts¹⁵⁷.

Si nous avons pu recenser une étude utilisant des centrales inertielles pour analyser les impacts avec le sol¹⁵⁸, la grande majorité d'entre elles utilisent l'analyse cinématique. Elles se centrent préférentiellement sur l'analyse de la tête, dont l'impact avec le sol est souvent la cause de graves accidents tels que des traumatismes crâniens (Kamitani et al. 2013). Comme pour les études analysant les techniques de projection, elles cherchent à établir des comparaisons en fonction du niveau d'expertise ou en fonction des techniques de projection réalisées. Par exemple, Hashimoto et al. comparent les cinématiques de la tête de « *uke* » experts lors de la chute liée à deux techniques distinctes : « *o-soto-gari* », technique causant régulièrement des blessures sur le « *uke* » et « *o-uchi-gari* », technique dont la réception s'avère moins traumatisante (Hashimoto et al. 2015). Leurs résultats montrent que la vitesse verticale de la tête de « *uke* » était réduite par une augmentation de la surface corporelle exposée au sol lors de la collision. Ils montrent également qu'au moment de l'impact, la quantité de mouvement de la tête avec

¹⁵⁶ Nous seulement avons pu recenser : Imamura et al. 2007 et Ishii et al. 2018.

¹⁵⁷ En moyenne entre 19 et 55 chutes par judoka et par entraînement (Melo et al. 2009).

¹⁵⁸ Présentée précédemment : Piucco et Santos 2010.

« *o-soto-gari* » est presque deux fois plus importante que par rapport à l'impact suite à une chute entraînée par « *o-uchi-gari* »¹⁵⁹. Ils confirment ainsi que « *o-soto-gari* » est une technique dont l'exécution est dangereuse pour le « *uke* ». Suivant la même méthodologie, une autre étude a justement comparé des experts et des novices lors de la réception de chutes après avoir subi « *o-soto-gari* » (Koshida et al. 2017). Ils observent qu'au moment de l'impact, l'extension du cou, génératrice de l'impact de la tête au sol, est significativement plus élevée dans le groupe des novices par rapport au groupe des experts. Cela suggère que l'élan d'extension du cou pendant la chute est associé au risque de blessure à la tête pendant le judo.

2.4.4) En fonction des niveaux d'expertise

Au travers des analyses présentées dans les sous-parties précédentes, nous avons pu constater que certaines études scientifiques s'attachent à comparer experts et non experts permettant ainsi d'esquisser une modélisation de progression. Dans des contextes de coopération, elles permettent de mettre en avant une amélioration de l'efficacité technique en lien avec une augmentation du niveau d'expertise dans les trois composantes du modèle que nous avons exploité. Par exemple, elles permettent de montrer que les techniques de contrôle postural sont plus efficaces chez l'expert grâce à des stratégies d'équilibration plus simples et une moindre utilisation des segments corporels (Mesure et Crémieux 1996). Concernant les saisies, les stratégies de « *kumi-kata* » évoluent également avec l'expertise : l'expert passe plus de temps à imposer sa saisie et a par conséquent un temps de préhension beaucoup plus court durant un combat, en comparaison à des débrouillés (Calmet et al. 2010). Enfin, lors des projections, la vitesse d'exécution pendant le « *kuzushi* » et le « *tsukuri* » est plus importante chez l'expert par rapport aux pratiquants de moindre niveau (Ishii et al. 2018). Pour autant, les études qui s'attachent à comparer des niveaux de pratique restent loin d'être majoritaires.

¹⁵⁹ 204,82 ± 19,95 kg.m.s⁻¹ pour « *o-soto-gari* » ; 118,46 ± 63,62 kg.m.s⁻¹ pour « *o-uchi-gari* ».

Ce faible nombre d'études contraste avec la culture du judo qui a toujours cherché à modéliser et structurer les niveaux techniques des pratiquants. Dès les prémices¹⁶⁰, Jigoro Kano s'attache à distinguer deux niveaux de pratiquants : les ceintures blanches et les ceintures noires, hiérarchisées en « dan ». Plus tard, apparaîtront les célèbres ceintures de couleur nommées « kyu ». En France, la première progression française de 1967 décompose la progression des « kyu », de la ceinture blanche à la ceinture marron, au regard d'un listing de techniques de projection que le pratiquant doit être en mesure de réaliser pour chaque niveau, indépendamment d'un contexte d'exécution (Fédération Française de Judo et Disciplines Associées 1967). À partir de 1989, la progression intègre pour chaque niveau des « situations d'étude » prenant en compte les contextes de réalisation (Fédération Française de Judo et Disciplines Associées 1989).

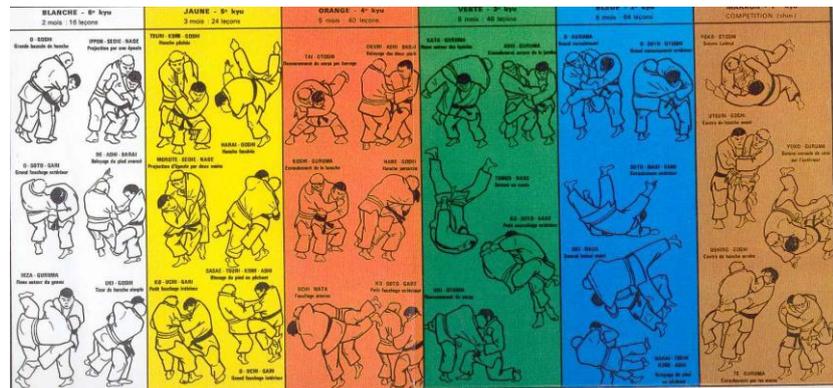


Figure 10 : progression française de judo de 1967. Source : Fédération Française de Judo.

La littérature professionnelle déjà évoquée regorge aussi de modèles concernant les différents niveaux de pratique. Ces modèles utilisent différents indicateurs afin de caractériser la progression. Ainsi, par exemple, l'ouvrage fédéral de 1979 consacré spécifiquement aux niveaux techniques s'appuie sur quatre indicateurs basés sur la temporalité des phases de combat, et déclinés chacun en trois niveaux de compétence (Margnes 2010) :

- le « nage-waza » : le judoka « s'oppose », puis « perçoit », et enfin « provoque » ;
- le « ne-waza » : le judoka « brouillonne », puis « contrôle », et enfin « construit » ;
- la liaison debout-sol : le judoka « tombe », puis « suit », et enfin « crée » ;
- le « kumi-kata » : le judoka « ignore », puis « lutte », et enfin « impose ».

Badreau et Barbot s'appuient quant à eux sur quatre autres indicateurs basés sur les formes de motricité nécessaires à la pratique : les « saisies », les « attitudes », les

¹⁶⁰ Il est difficile de dater très précisément la création des grades. La distinction entre ceinture blanche et ceinture noire apparaîtrait entre 1884 et 1889 (Cadot 2006).

« déplacements » et le « système d'attaque » (Badreau et Barbot 1990). D'autres modèles, comme celui de Calmet et Gouriot, s'appuient sur un nombre beaucoup plus important d'indicateurs : « approche », « saisie », « déplacement », « activité debout », « liaison debout-sol », « activité au sol », « prise d'info », « espace de travail », « corpulation et écoute » (Calmet et Gouriot 1987).

Enfin, les travaux de Bui-Xûan sur le curriculum conatif, précédemment abordés, proposent une modélisation des niveaux d'expertise, au regard des cinq étapes et en fonction des trois composantes : structurelle, fonctionnelle et technique. Augé et Lavie, en référence à ce modèle, nous décrivent assez précisément les trois premières étapes (Augé et Lavie 1994):

- émotionnelle : *« il n'y a pas de prise de distance par rapport à la logique de l'activité. [...] La fuite ou la lutte excessive en sont les caractéristiques principales. Le plus fort impose sa force exclusivement en poussant. » ;*
- fonctionnelle : *« le rapport de force est désormais testé et mesuré. [...] Le dominé organise une défense primaire. [...] Une opposition raisonnée où les deux combattants saisissent les relations de dépendance logique entre les causes et les effets de leurs actions. » ;*
- technique : *« Le problème sera de créer un déséquilibre et de l'exploiter techniquement. Des principes biomécaniques (suppression d'appui, levier), associés à des principes techniques (formes de saisies, contrôles...), sont nécessaires pour réussir. Il va s'agir d'intégrer d'abord et de reproduire ensuite de façon systématique des capacités fonctionnelles (les techniques), afin de déséquilibrer nettement le rapport de force. ».*

Bui-Xuân, afin d'illustrer ses propres travaux, propose également une description des cinq étapes appliquée au judo (Bui-Xuân 1990 cité par Calmet 2002) :

Niveaux de conduite	Compétences / tâches	Fonctions de gestion / Exploration de principes	Capacités fonctionnelles	Capacités structurales
1	<i>Confirmer une domination dans un rapport de force pur</i>	<i>Accepter le combat</i>	<i>Blocages arrières, crochets (o soto). Barrages avants, enroulements (kubi nage)</i>	<i>Rythme, force, axe tonique, coordination gyroscopique</i>
2	<i>Organiser une défense primaire</i>	<i>Percevoir son statut et l'accepter</i>	<i>Renversements en arrière (o soto, tani otoshi)</i>	<i>Vitesse de réaction, dissociation</i>
3	<i>Attaque directe. Appliquer une technique simple</i>	<i>Adapter un contrôle</i>	<i>Techniques de jambes, sutemis primaires (style sasae). Hanchés et épaulés stables. Techniques plus complexes.</i>	<i>Reprise d'appuis, perception spatio-temporelle, porter-lancer, équilibre dynamique</i>
4	<i>Enchaîner dans une complexification contextuelle</i>	<i>Ajustement technico-fonctionnel. Repousser ou attirer selon les fluctuations de la domination</i>	<i>Rayonnement technique autour des spéciaux. Techniques de contres</i>	<i>Dissociation segmentaire, rythme, coordination en déplacements, latéralisation</i>
5	<i>Vers l'action-réaction</i>	<i>Dépasser la technique (stratégie)</i>	<i>Spéciaux intégrés, feintes</i>	<i>Perception, création d'indices, sensations affinées</i>

Tableau 3 : curriculum conatif appliqué au judo. Source : Bui-Xuân 1990 cité par Calmet 2002.

2.5) Conclusion : une absence d'études en contexte écologique

Il est désormais nécessaire de mettre en perspective ce cadrage avec la démarche énoncée en conclusion d'introduction. Après avoir analysé le judo selon une conception sportive et au travers du prisme du concept de « *logique interne* », nous avons proposé un ensemble d'éléments qui nous paraissaient indispensables à la mise en place d'un protocole d'analyse de la motricité des judokas en contexte écologique. L'état des lieux présenté dans les parties 2.3 et 2.4 de ce chapitre nous permet de constater que les méthodologies des études en biomécanique s'intéressant au judo sont bien éloignées de ce cadre. Nous avons présenté une analyse similaire lors d'une précédente publication (Terret et al. 2020). Notre synthèse permet de mettre en évidence les éléments ci-après.

L'intégralité des études s'appuyant sur la biomécanique sont réalisées dans un contexte ne permettant aucune opposition entre les combattants. Elles se déroulent même parfois en l'absence totale de partenaire. D'autres sont réalisées en situation d'exercice traditionnel tels que l'« *uchi-komi* » ou le « *nage-komi* », c'est-à-dire dans un contexte de coopération totale. Or, nous avons montré qu'à l'inverse, le contexte d'étude nécessitait de placer deux sujets dans une activité duelle d'opposition, afin qu'ils recherchent le « *Ippon* » en exploitant leur système d'action motrice de manière alternée, simultanée et symétrique. Ces situations d'opposition peuvent être sous une forme de combats d'entraînement ou de compétition, mais doivent permettre d'intégrer la notion de faute règlementaire et être délimités dans l'espace et le temps.

Certaines études sont parfois proposées dans un contexte d'exécution incomplet du geste où seule la préparation¹⁶¹ est analysée et la projection¹⁶² non réalisée. Ces dernières se centrent donc uniquement sur l'analyse d'une forme décontextualisée du geste, sans se préoccuper de sa fonction qui est la recherche du « *Ippon* ».

D'autres effectuent des mesures sur des « *tori* » et « *uke* » non revêtus d'un « *judogi* » ou d'un vêtement assimilé. Or, le judo étant un sport de combat de préhension, médié par l'instrument qu'est ce « *judogi* », ces publications obèrent totalement tout un pan de la motricité du judoka. Il est même possible de faire l'hypothèse qu'une technique exécutée sans préhension sur un tissu porté par l'adversaire risque d'être dénaturée et modifiée. En outre, l'absence de

¹⁶¹ Le « *kuzushi* » et le « *tsukuri* ».

¹⁶² Le « *kake* ».

préhension écarte de fait l'analyse des saisies qui, mis à part pour l'analyse des qualités physiques, ne semble pas constituer un élément important dans les études.

La notion de déplacement est aussi minorée. Certaines études vont même jusqu'à analyser les projections dans une situation totalement statique. Or, les déplacements constituent un des paramètres essentiels de la préparation et de l'exécution d'une technique de projection. S'il est possible de trouver dans la littérature quelques études s'intéressant de près ou de loin aux saisies, nous n'avons pu recenser aucune étude s'intéressant aux déplacements.

Aussi, en analysant de plus près les typologies d'action qui sont étudiées dans la littérature, nous nous rendons compte que seules certaines projections ainsi que l'équilibre et le contrôle postural sont abordés. Les déplacements et les saisies semblent être pratiquement oubliés. Enfin, rares sont les publications qui prennent en considération le mouvement dans sa globalité ; la majorité se cantonne à l'étude d'une composante du geste, quelques-unes décomposent quelques paramètres lors de l'analyse de techniques de projection.

Ainsi, les mesures ne sont donc pas effectuées dans des contextes écologiques tels que nous les avons précédemment définis et omettent des paramètres essentiels à la performance. À ce jour, nous n'avons pu recenser aucune étude contextualisant l'analyse biomécanique dans une séquence d'opposition. Aucune ne se déroule sur le tapis d'un club ou durant une compétition ; le cadre du laboratoire est exclusivement privilégié. En outre, la complexité du geste n'est jamais prise en compte, toutes les études se cantonnant à l'étude d'une seule phase : soit les saisies, soit les déplacements ou bien les projections.

Plusieurs raisons permettent d'expliquer pourquoi les analyses cinématiques et dynamiques classiques sont encore rendues difficiles en situation d'opposition. Tout d'abord, le contexte de laboratoire présente l'avantage de permettre de normaliser les relevés de données et limite les risques d'erreurs. Ensuite, les outils de mesure présentent souvent un coût conséquent¹⁶³, et du fait de leur fragilité il est difficile de risquer de les endommager par des chutes à répétition. Ce même matériel, positionné sur les judokas, peut aussi être générateur de blessures lors des réceptions. En outre, il est souvent difficilement transportable en dojo de par son volume et les paramétrages qu'il nécessiterait sur place. Enfin, les dispositifs, et notamment les marqueurs, empêchent le port d'un « *judogi* » par « *tori* » empêchant toute forme de résistance de « *uke* ».

¹⁶³ Les appareils de « *motion-capture* » valant plusieurs dizaines de milliers d'euros.

Malgré tout, les auteurs déduisent de leurs études des principes réinvestissables pour la formation et l'entraînement du judoka qui nous semblent pertinents pour travailler certaines ressources propres à l'activité. S'il est difficile de contester les résultats de ces recherches lorsque l'on souhaite les appliquer à une situation de coopération, il est plus difficile de les transposer, en tout cas sans les questionner, à une situation d'opposition. Projeter avec « *morote-seoi-nage* » un partenaire coopératif ne relève peut-être pas tout à fait des mêmes principes que d'exécuter la même technique sur un adversaire sur la défensive. Dans tous les cas, il est légitime pour le chercheur de questionner ces principes.

Blais, dans son travail doctoral, avait proposé un modèle permettant de synthétiser en trois catégories l'ensemble des approches mécaniques s'intéressant au judo (Blais 2004). La première catégorie, qu'il qualifie d'« *approche théorique* », intègre des études cherchant à modéliser la motricité du judoka, en s'appuyant sur les lois de physique et de mécanique, sans pour autant réaliser des mesures¹⁶⁴. La seconde approche, dite « *réductrice* » comprend des études qui ne mesurent qu'un seul paramètre mécanique¹⁶⁵. Enfin, l'approche « *plus complète* » regroupe les études qui exploitent plusieurs outils de mesure afin d'accéder à différents paramètres mécaniques d'un geste¹⁶⁶. Si les résultats de ces études sont fondamentaux dans le cadre des recherches en sciences du sport, ils sont pour l'heure encore difficilement exploitables dans le cadre de l'entraînement et de la formation du judoka au quotidien.

Ainsi, au regard du constat que nous venons de proposer suite à l'exposé de notre cadre théorique, nous pensons qu'il est désormais nécessaire d'initier une nouvelle approche que l'on pourrait qualifier de « *globale et écologique* » prenant en compte la complexité du geste exécuté dans son environnement.

¹⁶⁴ Par exemple : Takahashi 1992.

¹⁶⁵ Par exemple : Leplanquais, Cotinaud, et Lacouture 1994.

¹⁶⁶ Par exemple : Imamura et Johnson 2003.

CHAPITRE 3

OBJECTIFS ET PROBLÉMATIQUES

3.1) Contours épistémologiques

Dans la logique et la continuité de notre cadre théorique, il apparaît désormais nécessaire de proposer une problématique et des objectifs de recherche. Ces derniers ne se conforment pas à la logique académique de type « *top-down* » classiquement utilisée dans les études qui s'appuient sur des données biomécaniques. En effet, nous adopterons une démarche de type inductive ou « *bottom-up* » (Frisch 2008), et en ce sens nous ne formulerons pas, à priori, d'hypothèse à vérifier au travers d'un protocole préalablement défini. À l'inverse, notre démarche consistera à recueillir des données de terrain, analysées ensuite au prisme de diverses approches scientifiques.

Cette démarche inductive suppose toutefois de prendre en considération en amont certains éléments théoriques en procédant à une analyse épistémologique. Au-delà des résultats que nous proposerons, c'est davantage une nouvelle démarche que nous souhaitons initier et promouvoir, et celle-ci suppose un certain nombre de précautions préalables. Les sous-parties suivantes visent par conséquent à définir les contours épistémologiques de ce cadre qui s'appuie en grande partie sur une approche écologique, Parlebasienne et technologique.

Dans cette cohérence, la précédente conclusion résonne tout particulièrement avec l'approche technologique praticienne et scientifique abordée dans le cadre théorique. En effet, comme évoqué en préambule, motricité et techniques sportives constituent à notre sens le cœur de nos pratiques d'enseignement et d'entraînement. Mieux les comprendre et mieux les appréhender ne peut qu' « *accroître les connaissances sur l'intervention, contribuer à la constitution de savoirs sur la formalisation et la transformation des techniques corporelles, contribuer à l'optimisation des procédures d'entraînement, de formation et d'enseignement* » (Mouchet et al. 2010). Nous allons donc procéder à l'analyse des contours épistémologiques d'une telle approche, analyse nécessaire avant la formulation d'une problématique et d'objectifs de recherche.

3.1.1) Une approche technologique praticienne et scientifique

Si les conduites motrices, entendues au sens large, devraient naturellement constituer l'essence des STAPS, elles sont à ce jour souvent mises au second plan. À ce propos, dans le champ de la formation, Bouthier déclarait récemment dans la revue EP&S : « *Au regard d'enjeux politiques en STAPS, la part des heures d'enseignements pratiques et théoriques consacrée aux APSA a diminué significativement. [...] C'est en partie lié à l'universitarisation des recrutements d'enseignants-chercheurs valorisant des travaux qui doivent être reconnus scientifiquement mais qui s'éloignent des préoccupations professionnelles et du terrain. [...] Toute pratique physique doit être accompagnée de l'éclairage des sciences d'appui* » (Bouthier 2021). Léziart fait le même constat concernant la recherche en STAPS : « *le domaine de la technique qui répond à un enjeu fondamental des STAPS, à son territoire majoritaire d'intervention, a été omis comme d'ailleurs dans la majorité des sciences d'appui* » (Léziart 2006). Il ajoute en outre que les STAPS n'ont pas approfondi leur originalité scientifique et ont régulièrement cherché à renforcer les schémas des modèles dominants de la science. Cette démarche de recherche, ayant pour objet premier la motricité, est aussi au centre des idées de Parlebas et de son projet de développement d'une science de l'action motrice. À titre personnel, nous ne pouvons que regretter un tel constat, eu égard à l'importance que nous accordons à la motricité et aux techniques dans notre quotidien. Elles constituent le cœur des contenus à transmettre à nos élèves, étudiants, compétiteurs et sont ce qui font notre spécificité et notre singularité.

Comme exprimé en préambule, cette approche, du moins dans sa philosophie, était à l'initiative de ce travail doctoral. Au même titre que dans le champ des STAPS, les constats

issus de notre cadre théorique démontrent une réelle carence dans l'approche technologique en judo. Aussi, notre ambition est de proposer une analyse des techniques sportives selon une approche que nous qualifions, en référence aux travaux évoqués dans le cadre théorique, de praticienne et scientifique. Elle nous est apparue pertinente au regard de notre sensibilité et de notre statut de pratiquant, d'entraîneur et enseignant. En effet, une caractéristique importante du savoir technologique est d'être constitué d'un ensemble de connaissances scientifiques, professionnelles et personnelles ou intuitives (Mouchet et al. 2010). Bouthier rappelle que « *ces savoirs correspondent à des co-constructions composites évolutives qui amalgament des concepts scientifiques [...] des savoirs professionnels, des intuitions et des expériences personnelles vécues et intégrées dans l'agir professionnel* » (Bouthier 2008).

Un des buts est donc de tenter d'objectiver, par la science et avec comme outil la biomécanique, des techniques afin de confirmer ou infirmer des connaissances empiriques d'intervenants et de pratiquants. Cette tentative ne peut s'envisager que dans le cadre d'une approche globale de la technique conçue comme un phénomène complexe (Morin 1982). C'est d'ailleurs un des intérêts de l'approche technologique car elle « *évite la fragmentation entendue comme une morcellisation de l'objet de recherche [...] elle conserve la complexité de la pratique comme une condition de la recherche* » (Uhlrich et al. 2011).

Nous souhaitons ici rappeler les caractéristiques proposées par Bouthier et Durey nécessaires dans toute approche technologique en STAPS. Elle suppose de s'intéresser à un « *objet d'étude constitué par les techniques corporelles ou techniques sportives* » avec un « *ancrage sur des situations et problématiques de terrain* » et pour « *finalité prioritaire l'intervention et la transformation du réel* ». Le cadre théorique nécessite des « *approches plurielles* » et une « *forme de scientificité privilégiant [...] une approche systémique* » en mobilisant des « *méthodes quantitatives et/ou qualitatives, articulées* » grâce à des « *collaborations entre chercheurs et praticiens* » ou l'expertise du chercheur lui-même (Bouthier et Durey 1994 cités par Mouchet et al. 2010). Ces différents traits de l'approche sont abordés et analysés dans les parties suivantes dans le but d'en délimiter les contours.

3.1.2) Une approche écologique

Pour les raisons préalablement évoquées, étudier la motricité et la technique selon une approche globale et dans un contexte écologique est fondamental afin qu'elles soient ancrées « *sur des situations et problématiques de terrain* » (Mouchet et al. 2010). En effet, en tant que

phénomène éminemment complexe, la motricité et les techniques sportives ne peuvent pleinement s'exprimer que dans le contexte pour lequel elles prennent sens.

Certaines études, utilisant d'autres sciences d'appui, ont adopté cette approche. Dans le champ des sciences sociales, c'est notamment le cas des travaux de Hilpron¹⁶⁷ qui avait déjà adopté cette posture et nous confirme l'importance d'étudier le judo dans un contexte écologique : « *l'influence fondamentale de l'environnement sur la pratique justifie l'adoption d'une posture écologique qui interroge le sens, l'essence et les sens du judo* » (Hilpron 2013). Dans le champ des statistiques, les travaux de Calmet cités à de multiples reprises s'appuient sur cette conception¹⁶⁸. Ce dernier s'est d'ailleurs très tôt interrogé, au travers d'un article intitulé « *Developing Ecological Research in Judo* » (Calmet 2007), sur les démarches de recherche les plus pertinentes à envisager concernant le judo. Il se questionnait déjà sur les limites des études expérimentales, s'appuyant notamment sur la physiologie et la biomécanique, conduites dans le seul contexte du laboratoire. Sa réflexion consistait en l'analyse des résultats des études menées selon ces approches et proposait dès lors de concevoir des recherches avec une approche « *écologique* », ou à minima plus ancrées dans des situations réelles. Il préconisait dès lors que dans le cadre de telles recherches, des collaborations entre experts et chercheurs soient envisagées.

Ces réflexions entrent en concordance avec les travaux sociologiques et épistémologiques de Latour. Il développe un principe méthodologique qui invite à ce que sciences et technologies soient étudiées « *en action* » afin que les résultats puissent bénéficier d'une certaine crédibilité (Latour 1995). Cette approche pose malgré tout des problèmes méthodologiques, notamment dans la mise en place de protocoles dont l'application en contexte réel est souvent plus complexe. Pour autant, les résultats obtenus « *en action* » ont l'intérêt de ne pas présenter de biais environnementaux. Pour Latour, les recherches menées dans ce cadre doivent permettre ainsi d'explorer et de comprendre ce qu'il nomme les « *boîtes noires* ». Elles correspondent aux structures complexes de systèmes qui ne sont pas directement observables et nécessitent des outils pour les explorer et les analyser. Il oppose ces « *boîtes noires* » aux « *boîtes blanches* » dont la structure est directement identifiable. Selon ce cadre, un geste technique pourrait ainsi correspondre aux deux types de boîtes : la finesse d'exécution des éléments d'une technique peut être une boîte noire pour un regard non-expert, et devenir une boîte blanche pour un expert. L'approche technologique en contexte écologique, ou « *en*

¹⁶⁷ Ou encore des travaux de Colin (2010).

¹⁶⁸ Pour exemple : Calmet 2010 ; Calmet et al. 2019 ; Calmet et al. 2010.

action », permet ainsi de se donner pour ambition d'analyser des boîtes noires non directement observables par l'expert, et d'objectiver par la mesure des éléments déjà identifiés par « *l'œil du maquignon* » (Loquet 2006). Nos propos introductifs, visant à modéliser le judo selon l'approche Parlebasienne et selon une conception sportive de l'activité, ont permis et avaient pour objectif de préciser les critères essentiels à la conduite d'une étude en situation écologique répondant à ces critères.

3.1.3) Une nécessaire maîtrise de l'objet « *technique* »

Nous l'avons auparavant évoqué, une approche technologique nécessite soit une expertise de la part du chercheur, soit une étroite collaboration entre chercheur et expert. Nous sommes dans le premier cas. Dans le champ de la technologie et plus spécifiquement des techniques sportives, cette expertise est, nous semble-t-il, indispensable afin de poser des questions pertinentes, intéressant tout particulièrement le terrain puisque la finalité prioritaire reste « *l'intervention et la transformation du réel* » (Mouchet et al. 2010). Le traitement des données suppose tout autant une expertise : comment raisonnablement envisager de séquencer une vidéo de judo sans en connaître finement les clés de lecture. Latour, dans ses premiers travaux, confirme cette posture en expliquant que la production des faits scientifiques nécessite *a priori* une éducation scientifique relative à l'objet (Latour et Woolgar 1979). En effet, il met en avant l'idée qu'une grande partie de l'éducation scientifique consiste à apprendre à trier les données à conserver et celles à écarter. Pour un regard extérieur, ce processus pourrait être perçu comme une manière d'ignorer les données ; pour Latour, c'est au contraire l'expertise du chercheur sur l'objet qui permet de rationaliser ce tri. Il confirmera plus tard cette importance de la relation du chercheur à son terrain et son objet ; connaître l'essence du terrain et l'avoir « *arpenté* » permet ensuite de le transporter en laboratoire et de le reconstituer pour l'étude (Latour et Gille 2001).

Cette situation d'expertise entraîne en conséquence une proximité du chercheur à l'objet. Dans la pure tradition positiviste de Comte, cette notion de proximité ou de distanciation a très tôt été questionnée par les chercheurs, et notamment ceux s'intéressant à l'épistémologie. Pour ce courant, il doit y avoir une distanciation totale entre le chercheur et son objet. Il persiste cependant toujours un débat à ce sujet qui reste d'actualité en épistémologie et qui ne sera vraisemblablement jamais réellement tranché (Association des Cycles Supérieurs en Sociologie de l'Université de Montréal 2009).

Si cette proximité avec l'objet apparaît nécessaire dans le cadre d'une étude technologique, il est toutefois indispensable pour le chercheur d'en avoir conscience afin d'en limiter les biais : « *la connaissance de sa propre subjectivité et le respect des règles déontologiques sont importantes* » (Mouchet et al. 2010). Un des biais pour l'expert-chercheur serait d'adopter une « *attitude prescriptive* » vis-à-vis de ses méthodes et résultats, alors qu'à l'inverse cette expertise doit pouvoir permettre de proposer des formes originales d'études et de protocoles.

Bien heureusement, nous ne sommes pas les seuls à avoir étudié et analysé la technique en judo selon une approche empirique et professionnelle. Nombre d'experts connus et reconnus ont proposé des analyses techniques de l'activité dans une multitude d'ouvrages et de publications. Nous avons préalablement fait part de certaines d'entre elles et les avons mises en perspectives avec les thématiques abordées par la recherche. Elles doivent par conséquent servir d'appui pour l'analyse technique de l'activité et servir d'ancrage pour nos propres analyses. Notre expertise permet en outre une lecture et compréhension fine de toutes ces publications. Au-delà des éléments techniques apportés dans ces différentes publications par des experts, il est également possible d'interroger, à l'aide de méthodes qualitatives ou quantitatives, les enseignants, entraîneurs et pratiquants eux-mêmes sur l'analyse et la vision qu'ils ont de la technique. Le regard de l'acteur du quotidien, qui exploite la pratique pour un usage personnel ou professionnel, peut également avoir du sens dans une étude technologique afin de ne pas borner l'analyse à la seule vision du chercheur expert.

Finalement, l'expertise doit par conséquent permettre de proposer un protocole innovant, avec toute la vigilance épistémologique que cela suppose. Pour autant, c'est cette maîtrise et cette connaissance fine de l'objet qui permet d'adopter une « *approche plurielle* » ainsi qu'une « *forme de scientificité privilégiant [...] une approche systémique* » (Mouchet et al. 2010). Cela conduit notamment à faciliter la construction de la méthodologie, le choix des techniques étudiées, la sélection des sujets, l'analyse et le traitement des données. La connaissance des institutions et des acteurs, autrement dit le réseau lié à cette expertise, doit permettre en outre d'accéder facilement à des sujets de qualité et en nombre suffisant.

3.1.4) Un objet : les techniques, porté par des sujets singuliers

Si nos recherches ont pour ambition d'analyser un objet : la technique en judo, il est fondamental de rappeler que cet objet est incarné par des sujets : les judokas. Cette remarque

peut paraître évidente, elle n'en reste pas moins importante. En effet, chaque sujet exécutant l'objet le fait de manière singulière, propre à ses caractéristiques, à ses expériences antérieures, et surtout en fonction de l'opposition adverse. Ainsi, il serait plus précis de ne pas considérer la technique comme un homomorphisme et de plutôt envisager l'objet comme pluriel, à savoir l'analyse des techniques et des conduites motrices.

L'approche technologique en contexte écologique permet, *in fine*, d'opérer une bascule dans la conception de la démarche. Il ne s'agit plus, comme nous avons pu le constater au travers de notre cadre théorique, de chercher à étudier les facteurs de réalisation d'une technique selon un protocole hyper-formalisé visant à retrouver les mêmes résultats chez chacun des sujets, mais plutôt d'adopter une méthodologie permettant à chaque sujet d'exprimer et de démontrer ses formes motrices, « *sa propre technique* » dans un contexte écologique. L'expertise du chercheur dans l'activité doit ainsi permettre la conception d'un protocole permettant à chaque sujet de s'exprimer en témoignant de son niveau d'habileté motrice et de ses propres formes techniques. Pour autant, cette démarche n'exclut en aucun cas la constitution de différents groupes de sujets, considérés comme relativement homogènes, dans le but de comparer leurs productions motrices. Toutefois, au-delà de critères établis pour intégrer un groupe, « *l'œil du maquignon* » est alors indispensable afin de vérifier qu'en plus d'éléments factuels¹⁶⁹ chaque sujet répond bien aux critères moteurs exigés pour le groupe. Le protocole établi garantira ensuite la possibilité pour chaque sujet d'exprimer son potentiel technique lors du recueil de données. Le choix de l'adversité proposé au sujet faisant l'objet de l'analyse est alors fondamental et relève dans ce cas de l'expertise et de l'œil aiguisé du chercheur.

Cette analyse du lien entre objet et sujet nous ramène finalement au dualisme classique existant entre « *sciences dures* » qui se centrent particulièrement sur l'objet et les « *sciences humaines et sociales* » qui se focalisent sur des sujets comme objets d'étude (Eichberg 2014). La question de cette relation entre objet et sujet nous renvoie à des tensions plus larges qui animent les débats dans le monde de la recherche et qui concernent tout particulièrement notre étude. Les deux traditions scientifiques opposent en effet souvent l'approche des sciences naturelles aux études humanistes, et dans les méthodes, celles quantitatives à celles qualitatives (Eichberg 2014). Ces dualismes classiques et apparents renvoient plus précisément à des tensions telles que :

- la recherche de preuve *versus* la comparaison ;

¹⁶⁹ Par exemple en judo la couleur de ceinture, la catégorie d'âge ou le niveau en compétition.

- la généralisation *versus* l'étude de cas ;
- l'explication *versus* la compréhension ;
- l'exactitude de la réponse *versus* la qualité de la question.

En cherchant à analyser un objet technique incarné par une multitude de sujets singuliers, notre approche vise donc très modestement à se positionner à la frontière de ce dualisme. Connaître et intégrer ces dualités à l'heure de l'élaboration du protocole et du choix des sujets apparaît comme essentiel afin d'éviter toute forme de subjectivité liée à des biais méthodologiques, et dans le même temps afin de s'autoriser certaines latitudes, par rapport à une approche expérimentale classique, permettant d'aller davantage dans la finesse des résultats et des analyses. En ce sens, nous nous inscrivons pleinement dans les propos de Mouchet : « *Les recherches en technologie des APSA ne s'inscrivent pas dans une logique classique de démonstration de la preuve, mais dans un souci de compréhension d'objets complexes et de transformation du réel. Leur scientificité nécessite le respect de précautions épistémologiques et méthodologiques* » (Mouchet et al. 2010).

C'est ici tout l'intérêt de l'approche technologique en contexte écologique. Elle permet en effet une comparaison plus fine, de mieux comprendre et analyser l'objet, d'opérer des études de cas très précises, et parce que les obstacles méthodologiques sont réduits d'améliorer la qualité de la question de recherche. Toutefois, parce que le nombre de sujets est souvent moins conséquent, que les mesures sont soumises à de plus grands risques d'erreurs, et que la reproductibilité des expériences n'est pas toujours garantie, la recherche de preuves, la généralisation et l'exactitude des réponses sont parfois affaiblies. C'est d'ailleurs toute la difficulté de la démarche qui nécessite de trouver « *une méthodologie qui tente de préserver la validité scientifique et la validité écologique, afin de répondre au dilemme de la rigueur et de la pertinence* » (Mouchet et al. 2010). C'est par conséquent une autre raison pour laquelle, dans une approche technologique, l'expertise vis-à-vis de l'objet est primordiale afin d'élaborer un protocole pertinent prenant en compte, dans la mesure du possible, ces dualités épistémologiques, et permettant de faire preuve de finesse et de discernement dans l'analyse et le traitement des données.

3.1.5) Les innovations technologiques comme source d'espoir

Notre cadre théorique nous a permis de mettre précédemment en évidence que les technologies à disposition des chercheurs avaient été, depuis les premières études, un frein aux recherches en contexte écologique appliquées au judo. En effet, la taille et le volume, le coût et

la fragilité des outils de mesure empêchaient toute mesure opérée dans le cadre d'une quelconque opposition.

Toutefois, la miniaturisation, la diminution constante des coûts, les améliorations au niveau du stockage et de la consommation d'énergie, et de la transmission de l'information ont permis de démocratiser certains appareils qui peuvent même désormais sortir du laboratoire. Les objets connectés ont été sujets à de réelles avancées au cours des deux dernières décennies et sont devenus facilement transportables et exploitables en situation écologique (Lepetit 2018). D'autres activités, comme par exemple le tennis, dans lesquelles les impacts et les chocs sont moins prégnants, ont déjà pris ce virage dans le cadre de leurs recherches. Ce couplage technologies et recherche en biomécanique permet dès lors de permettre de réelles avancées dans l'analyse et la compréhension du geste (Peter et Martin 2017).

En cohérence avec ces éléments, Delalandre constate que « *depuis les années 2000, de nouveaux outils permettent d'analyser la performance en contexte écologique, c'est-à-dire dans les conditions de sa production à l'entraînement ou en compétition* » (Delalandre 2010). Il précise son analyse en identifiant trois formes d'évolution de ces outils mobilisés dans le cadre des recherches :

- « *la miniaturisation des appareils de mesure* » ;
- « *la construction de véritables laboratoires terrain de sport* » ;
- « *le développement d'appareils simulant, en laboratoire, les paramètres de la pratique réelle* ».

Notre précédente analyse a permis de mettre en évidence que la miniaturisation des appareils de mesure a engendré une diversification du type d'études biomécaniques appliquées au judo. Après une utilisation massive des outils dynamométriques dans la recherche, les outils de « *motion capture* » ont progressivement émergé, devenant majoritaires dans les analyses mécaniques. Aujourd'hui, des études utilisant les centrales inertielles semblent également apparaître. Toutefois, les deux dernières formes d'évolution identifiées par Delalandre ne semblent pas être encore à ce jour mobilisées dans les études s'intéressant au judo. Une étude en contexte écologique pourra s'appuyer sur la miniaturisation des outils de mesure pour, soit reconstituer la pratique d'opposition en laboratoire, soit s'appuyer sur de nouveaux outils pour exporter le laboratoire dans les dojos et sur les tatamis. Parce qu'elle est plus proche du contexte écologique, mais surtout car elle nous semble plus aisée à mettre en œuvre, nous retenons la deuxième solution.

Delalandre met aussi en avant un nouveau concept qu'il qualifie d' « *objet-frontière* ». Ces objets correspondent à une catégorie d'outils exploitables conjointement par les chercheurs, par les entraîneurs, ou par les sportifs eux-mêmes. Combinés à des logiciels intuitifs et ergonomiques, s'appuyant souvent sur l'intelligence artificielle, ils permettent d'obtenir des données de plus en plus facilement, à un coût toujours plus réduit et avec une précision croissante. Ces « *objets-frontière* » désormais utilisés en masse sur les terrains donnent dorénavant lieu à de nombreuses publications universitaires (Delalandre 2010). Parce qu'elle est souvent moins coûteuse, et surtout plus robuste, cette catégorie d'appareils de mesure nous paraît tout particulièrement adaptée pour le cadre de nos mesures.

3.1.6) Une analyse pluridisciplinaire inspirée de l'approche Parlebasienne

L'approche technologique définie par Bouthier et Durey suppose d'adopter des « *approches plurielles* » ainsi qu'une « *forme de scientificité privilégiant [...] une approche systémique* » (Mouchet et al. 2010). En ce sens, cette démarche se rapproche de celle de Parlebas largement évoquée et exploitée précédemment. En effet, pour ce dernier, ce qu'il qualifie de « *science de l'action motrice* » permet une approche singulière « *à partir d'un objet propre et fédérateur, la conduite motrice* » qui intègre entre autres les techniques sportives (Gonzalez 2013). Son ambition est de développer une approche pluri, voire transdisciplinaire, dont l'objet, les conduites motrices et par extension les techniques sportives, est l'élément fédérateur. Approche technologique et science de l'action motrice convergent donc vers une philosophie et un paradigme communs. La pluridisciplinarité ambitionnée par Parlebas se veut la plus large possible puisque sa science des conduites motrices « *pourrait emprunter de multiples approches complémentaires et non contradictoires : approches biologique, biomécanique, psychologique, psychosociale, sociologique, philosophique...* » avec pour objectif ultime de les « *intégrer dans une synthèse pédagogique* » (Parlebas 1968).

Notre projet se veut toutefois moins ambitieux, car il ne permet pas de croiser toutes ces approches. Il a cependant vocation à s'inscrire dans cette philosophie en cherchant à croiser plusieurs sciences d'appui autour d'un même objet : la technique en judo, envisagée, dans la mesure de nos possibilités, dans sa complexité. Dans notre approche, cette philosophie est première et primordiale car elle était jusqu'à présent inexistante dans l'analyse de la motricité en judo, et encore très peu présente dans les autres activités. Au-delà même des résultats qui seront proposés, et qui se veulent tout à fait modestes, c'est davantage cette nouvelle démarche que nous souhaitons porter et promouvoir via ce travail doctoral.

Comme évoqué à de multiples reprises, l'analyse mécanique du geste, ou la biomécanique est centrale pour cette étude. Nos outils permettant de recueillir les signaux servant de données à l'étude s'appuient sur ses principes et ses modèles. Au-delà des outils en constante évolution que nous offre la biomécanique, elle constitue une approche permettant une analyse fine, détaillée et complexe du geste et d'explorer ce que Latour nomme les « *boîtes noires* » : « *à l'aube du troisième millénaire, on est définitivement passé d'une conception purement descriptive et mécanique du geste à une analyse biomécanique de type systémique* » (Peter et Martin 2017).

Grâce à la constitution et la comparaison de plusieurs groupes de niveaux, les données ainsi obtenues peuvent alors être observées et analysées au prisme de la psychologie et notamment des théories de l'apprentissage. Les données sur différents niveaux permettent d'étudier la dynamique de construction des habiletés motrices jusqu'à un niveau expert révélateur de ce qui est parfois qualifié dans certains ouvrages de la « *technique parfaite* ». Afin de pouvoir comparer des niveaux de maîtrise d'une habileté en référence à une technique, il est alors nécessaire de recueillir des données uniquement sur des sujets ayant précédemment acquis la technique ; l'idée est de s'appuyer sur des sujets qui ont acquis un geste efficace car il répond à sa fonction¹⁷⁰. En effet, « *actuellement, les techniques sont moins appréhendées en termes de produits que de processus* » (Sève 2021) et une des ambitions de nos travaux n'est pas uniquement de décrire le « *modèle de référence* » mais également d'identifier ce processus de transformation d'une technique efficace à une technique experte.

Dans ce cadre, nous nous positionnons sur le courant des approches complexes de l'apprentissage. Deux d'entre elles sont particulièrement pertinentes au regard de notre démarche : l'approche dynamique et l'approche conative. La première considère que la performance ne peut pas être le seul indicateur de l'apprentissage car « *les sujets sont capables d'atteindre des niveaux de performance tout à fait acceptables tout en continuant à exploiter leurs coordinations débutantes, et l'accès à la coordination experte n'est pas nécessairement marqué par une amélioration de la performance* » (Delignières et al. 2009). L'objectif est donc de caractériser l'émergence de coordinations motrices notamment au travers d'indices quantitatifs et de signaux. L'approche conative, quant à elle, se positionne du côté de l'apprenant et postule que l'expérience en action n'est pas directement verbalisable (Bui-Xuân 1998). Le postulat « *se fonde donc sur une logique incorporée et contextualisée de l'action en fonction du sens que l'individu lui confère, ce sens étant tributaire de ce qu'il est* » (Dieu

¹⁷⁰ C'est-à-dire qu'il permet de marquer des points : en judo il aboutit sur un « *Ippon* » ou un « *waza-ari* ».

2012a). L'objet d'étude est alors la mobilisation de l'acteur *in situ* autour des trois composantes que sont la structure, la fonction et la technique. À partir de l'étape « contextuelle » ou « technico-fonctionnelle », les techniques sont intégrées dans un cadre plus global répondant aux exigences d'une situation complexe, le sujet continuant à progresser pour atteindre le stade de l'expertise.

Les résultats ainsi obtenus et analysés ont ensuite pour vocation d'être croisés et confrontés avec les connaissances empiriques expertes proposées dans les ouvrages fédéraux et professionnels ou recueillies auprès des acteurs de terrain. En ce sens, la démarche tend à s'approcher des sciences de l'intervention car la finalité prioritaire d'une telle démarche reste « *l'intervention et la transformation du réel* » (Mouchet et al. 2010).

3.2) Objectifs de recherche et problématiques

Ces contours épistémologiques étaient essentiels en amont de la présentation de notre problématique et de nos objectifs. En effet, dans ce travail doctoral, nous accordons autant d'importance à la démarche que nous avons souhaité initier, qu'aux résultats obtenus. Nous souhaitons nous engager personnellement dans une démarche innovante et singulière pour aborder l'étude des techniques en judo. Cet engagement présentait un réel risque car les éléments de notre recherche avaient jusqu'alors été peu explorés. Le cadre théorique était à construire et à contextualiser au prisme du judo selon une approche nouvelle, mais surtout, les outils étaient totalement inexistantes et donc à inventer. Aussi, ce préalable a permis de définir la philosophie et les contours de notre démarche afin qu'elle puisse prendre tout son sens pour le lecteur dans les propos qui vont suivre. Dans la continuité, les sous-parties suivantes ont pour but de proposer les différentes composantes de notre problématique ainsi que les objectifs de l'étude.

3.2.1) Une méthodologie innovante et singulière

3.2.1.1) Une prise en compte de la logique interne

L'état de l'art relatif aux travaux en biomécanique s'intéressant au judo a mis en exergue le fait qu'aucune étude n'a envisagé ou fait le choix de prélever des données en situation d'opposition. Nous avons expliqué cet état de fait par la difficulté, notamment, à mettre en place un protocole fiable en situation de combat. La fragilité, le coût, le poids et le volume ou encore les canaux de transmission de l'information ont souvent constitué des obstacles à de tels protocoles. En outre, l'incertitude générée par une opposition complexifie la mise en place du protocole en rendant moins rationnel et moins reproductible ce dernier.

Dans ce contexte, notre premier objectif de recherche est d'analyser les techniques en judo en situation écologique grâce à des données mécaniques. Notre problématique a pour nature le développement de notre propre outil de mesure. Après avoir établi l'état de l'art et le cadre théorique afférent à nos recherches, il s'agissait d'un problème majeur mis en évidence afin d'espérer poursuivre nos travaux selon la démarche escomptée. Au-delà de l'outil, c'est tout un nouveau protocole original et singulier, et fonctionnant en synergie avec l'outil qu'il s'agissait d'envisager.

Ce premier « *problème* » majeur est un des éléments qui induit la complexité du travail de recherche, mais c'est aussi ce qui en fait la richesse, l'intérêt et l'originalité. Il s'agissait d'un défi à relever, nécessitant sans le moindre doute une maîtrise fine de l'activité, dont l'issue allait donner l'orientation au travail doctoral. Ce type de problématique est courante dans l'approche technologique qui nécessite « *de faire preuve d'adaptation et de créativité dans les techniques de recueil et de traitement des données* » (Mouchet et al. 2010). C'est un des postulats de cette approche : la spécificité de chaque activité impose l'élaboration d'outils adaptés à leurs singularités.

3.2.1.2) Une prise en compte de la complexité

Nos différents appuis théoriques et épistémologiques exploités jusqu'à présent supposent d'appréhender la technique, et plus largement la motricité, dans sa complexité. Induite par les approches technologique et Parlebasienne, cette prise en compte de la complexité requiert d'aborder l'exécution technique au regard d'un prisme le plus large possible. Il s'agit là de notre second objectif de recherche.

La prestation technique d'un judoka est par essence « *multifactorielle et systémique* » (Paillard 2010) et relève de paramètres qui peuvent être mécaniques, physiologiques, énergétiques ou encore psychologiques. Notre approche se centrant sur l'analyse mécanique du geste, nous bornerons l'analyse au regard de ces paramètres dont la combinaison demande déjà une approche complexe. Notre cadre théorique a permis de modéliser ces paramètres. Nous avons ainsi proposé un modèle décomposant la motricité du judoka en trois éléments : les saisies, les postures et déplacements, et les projections. Afin d'envisager la technique dans sa complexité, notre outil doit par conséquent être en mesure de relever des données pour chacune de ces trois composantes. En outre, la relation duelle implique que le judoka agit en action et en réaction à un adversaire qui lui oppose en retour des actions et réactions visant à attaquer ou à défendre. Afin de témoigner de cette interrelation entre deux combattants, l'outil doit également permettre, dans la mesure du possible, de prélever des informations sur l'adversaire.

Notre seconde problématique consistera donc en la prise en compte de cette contrainte dans la conception de notre outil. Il sera nécessaire de procéder à des mesures de manière simultanée dans les trois catégories d'action du judoka en situation de combat debout, ainsi que sur son adversaire.

3.2.2) Une approche comparative

3.2.2.1) Une comparaison de différents niveaux de maîtrise

Notre cadre théorique a permis de mettre en évidence la relation existante entre technique et habileté technique. Nous avons notamment considéré la technique « *comme une procédure faisant l'objet d'une transmission* », et l'habileté « *comme l'intériorisation, l'appropriation d'une technique* » (Leplat et Pailhous 1981 cités par Devezeaux 2021). Nous avons également distingué la forme et la fonction du geste : l'approche visant à caractériser la technique par sa forme définit le geste en référence à un expert ou à une norme, alors que caractériser le geste par sa fonction revient à le définir par rapport à sa capacité à atteindre un résultat (Lafont 2002). En ce sens, une même technique sportive, considérée comme acquise car répondant à sa fonction, peut être exécutée avec différents niveaux d'habileté en fonction du niveau de maîtrise du sujet. Ce postulat se retrouve également dans l'approche gestaltienne « *les formes de corps et de mouvements corporels qui apparaissent lors de la réalisation d'une habileté motrice, sont significatives d'un certain degré d'organisation de l'organisme, organisation dans et par laquelle se coordonnent différentes fonctions* » (Ganière 2015).

Analyser une technique sportive, notamment selon une approche écologique, exige à notre sens d'étudier différents sujets, ayant des niveaux d'habileté distincts pour une même technique. Pour Mouchet, l'approche technologique vise en effet à « *objectiver précisément les techniques de l'apprenant* » (Mouchet et al. 2010). Aussi, notre troisième objectif de recherche sera d'analyser la dynamique de progression des habiletés techniques en judo debout. Notre objectif n'est pas ici d'analyser le processus d'acquisition de la technique, mais bien le processus d'amélioration de la maîtrise de techniques déjà acquises car répondant à leur fonction.

Pour répondre à cet objectif, notre problématique consistera donc en la comparaison de groupes ayant différents niveaux d'habileté allant de l'étape contextuelle¹⁷¹ au stade de l'expertise du curriculum conatif. Cette comparaison s'effectuera sur des techniques identiques dans des conditions de réalisation similaires.

¹⁷¹ À cette étape, structure, fonction et technique sont assimilées et opérationnalisées dans un contexte d'opposition. Le sujet est globalement mobilisé et se pose les questions : « *Comment font ceux qui réussissent mieux que moi ? Comment être plus efficient ?* ».

3.2.2.2) Une comparaison avec les données professionnelles

Nos précédents propos visant à modéliser la technique du judoka se sont efforcés de mettre en parallèle les données scientifiques avec les connaissances empiriques des professionnels de l'activité. En effet, l'approche technologique accorde une forte importance au regard de l'expert et invite à le croiser avec celui du chercheur. Cet « *œil du maquignon* » de l'expert de la discipline relève de la capacité de l'intervenant à lire et décrypter la motricité du pratiquant sans pour autant s'appuyer sur des éléments tangibles ou sur une quelconque grille d'évaluation (Gouju 2006).

Si l'on souhaite que les résultats de la recherche servent l'intervention, qu'elle soit dans le domaine de l'enseignement ou de l'entraînement, alors il est indispensable de mettre en perspective les données mesurées avec des connaissances empiriques recueillis auprès des acteurs de terrain. Notre dernier objectif de recherche sera donc de valider certaines connaissances empiriques relatives à la technique en judo par l'objectivation de ces connaissances.

Notre problématique consistera alors en la comparaison des données biomécaniques issues de gestes réalisés en contexte d'opposition avec les données empiriques recueillies directement auprès des acteurs de terrain.

3.2.3) Synthèse : une démarche inductive allant vers des conclusions de terrain

3.2.3.1) Résumé des objectifs de recherche et problématiques

En résumé, notre travail doctoral s'inscrit dans une approche technologique et dans une conception sportive de l'activité. Le tableau suivant vise à synthétiser nos objectifs de recherche dont découlent nos différentes problématiques.

Objectifs de recherche	Problématiques
Analyser la technique exécutée en situation écologique afin de respecter la logique interne de l'activité.	Prélever des données biomécaniques afférentes aux gestes en situation d'opposition.
Analyser la production technique dans sa complexité.	Prélever simultanément des données biomécaniques afférentes aux trois paramètres du modèle et sur le défenseur.
Analyser la dynamique de progression des habiletés techniques.	Comparer des groupes avec différents niveaux d'habileté et ayant précédemment acquis les techniques.
Valider des connaissances empiriques relatives à la technique par l'objectivation de ces connaissances.	Comparer des données biomécaniques du geste avec les données empiriques formulées par les acteurs du judo.

Tableau 4 : synthèse des objectifs de recherche et problématiques.

3.2.3.2) Une démarche inductive ou « *bottom-up* »

En cohérence avec notre ancrage théorique, notre recueil de données exige d'être opéré dans un cadre respectant la logique interne de l'activité. Nous avons fait le constat qu'en judo, cela suppose avant tout un contexte dans lequel l'incertitude est engendrée par l'adversaire, contexte que l'on retrouve exclusivement en situation de combat. Cet ancrage demande également d'analyser les productions techniques dans leur complexité. À notre niveau, cela demande d'être en mesure de prélever des informations afférentes aux saisies, aux déplacements, aux projections, à l'adversaire, et cela de manière simultanée.

La première et principale contrainte de notre étude est donc la constitution d'un outil permettant la collecte de données complexes et multiples dans ce cadre d'opposition. S'agissant de ces deux premiers objectifs, les contraintes posées par l'élaboration de l'outil pèsent donc et prévalent sur les autres objectifs de l'étude. C'est de sa capacité à capter les différentes données, en qualité et en quantité, que dépend donc le reste des analyses.

Partant de ce constat, nous avons dès lors choisi d'adopter une démarche de type inductive ou « *bottom-up* » (Frisch 2008). La contrainte dans la méthodologie de recherche étant première, il nous a semblé pertinent et préférable d'initier une analyse à partir des mesures que nous serions en capacité de recueillir sur le terrain : « *l'approche inductive élabore de façon formelle son canevas de recherche en cours de collecte de données pour en faciliter l'analyse rigoureuse* » (Hlady-Rispal 2002). Cette approche est courante dans les recherches en sciences sociales et dans les études utilisant des données qualitatives (Thomas 2006) mais elle l'est beaucoup moins dans les recherches s'appuyant sur des données mécaniques. De toutes les publications s'intéressant au judo proposées dans le cadre théorique, aucune n'adopte une telle démarche. À l'inverse, elle se retrouve fréquemment dans les approches technologiques dont la méthodologie « *se formalise au fur et à mesure du projet [...], elle s'appuie plutôt sur des expériences contrôlées, en construisant des protocoles ancrés dans la pratique réelle* » (Uhrich et al. 2011).

La démarche opposée, c'est-à-dire « *top-down* », aurait nécessité d'élaborer des hypothèses précises à vérifier au travers des mesures, sans être certains que nous serions en capacité d'élaborer l'appareil de mesure adapté. C'est la raison pour laquelle nous ne formulerons aucune hypothèse dans cette partie dédiée à la problématique et aux objectifs. La démarche « *bottom-up* » nécessite de partir des données brutes collectées sur le terrain et de les analyser *a posteriori*. Nous ne présenterons donc pas ici des postulats relatifs à des productions techniques ou motrices que pourraient proposer des judokas en fonction de différents niveaux d'expertise que nous chercherions à vérifier.

3.2.3.3) Une prise de risque pour le chercheur

Il est important de préciser que cette démarche inductive présente des risques importants pour le chercheur. Dans notre cas, le risque est triple ; les deux premiers relevant de l'outil. Le premier réside dans le fait qu'une fois la démarche engagée, nous n'avons aucune certitude quant à nos chances de réussite dans l'élaboration de l'outil. Un échec dans sa conception ou dans son fonctionnement rendrait caducs nos travaux. Le second est lié à la qualité et la quantité des résultats qui résulteront des mesures : au moment de les initier, rien ne présume que les données seront pertinentes pour une quelconque analyse ou qu'ils permettront de proposer des conclusions pertinentes. La modélisation proposée peut en effet éventuellement mener à une impasse en terme de résultats interprétables.

Enfin, le troisième risque réside dans le décalage que nous pourrions rencontrer entre les résultats issus de nos données et les connaissances empiriques. Cela remettrait en question toute notre démarche et nous devrions alors formuler deux hypothèses distinctes. La première consisterait à invalider le concept d' « *œil du maquignon* », hypothèse qui semble plus qu'improbable. La seconde nécessiterait de postuler que les prélèvements réalisés ou l'analyse produite sont erronés, mettant ainsi en péril la validité de nos recherches et de notre production. Inversement, une convergence entre données recueillies et connaissances empiriques permettrait d'émettre un postulat quant à la validité de l'outil.

Aussi, en initiant cette recherche, nous acceptons tacitement ces risques. Toutefois, au-delà de nos hypothétiques résultats soumis à la validité du recueil de données, c'est tout autant une certaine démarche, à laquelle nous croyons profondément, que nous souhaitons explorer et promouvoir.

3.2.3.4) Des conclusions tournées vers l'intervention

Enfin, tel que le préconise l'approche technologique, ce croisement entre données objectives et empiriques doit permettre *in fine* de formuler des propositions pédagogiques et/ou didactiques concrètes, ou encore de nouvelles stratégies d'intervention afin d'améliorer l'efficacité de l'enseignement des techniques sportives : « *elles doivent également satisfaire à la demande des praticiens qui sont dans l'attente de résultats à propos des questions qu'ils ont soumis aux chercheurs, résultats qui sont censés participer à l'optimisation de leur efficacité* » (Mouchet et al. 2010). Toutefois, il est important de les formuler avec une grande modestie, en ayant conscience de leurs limites, et en se gardant bien d'adopter une posture prescriptive.

Il y a maintenant près de cinquante ans, cette finalité orientée vers l'intervention était déjà l'objectif de Parlebas au moment où se construisaient les fondations de sa « *science de l'action motrice* ». Son souhait était alors que les résultats de sa « *nouvelle science* » puissent s' « *intégrer dans une synthèse pédagogique* » (Parlebas 1968) au service de l'enseignement.

CHAPITRE 4

OUTIL ET PROTOCOLE DE MESURE

4.1) Choix de l'appareil de mesure

La résolution de nos deux premières problématiques suppose de développer un outil de mesure capable de prélever simultanément des données biomécaniques afférentes aux trois paramètres du modèle en situation de combat. Nos analyses nous ont invité à rechercher des « *objets-frontière* ». Ces derniers sont susceptibles de répondre à nos besoins car ils sont spécialement conçus pour prélever des données en situations écologiques.

4.1.1) Recherche d'un appareil de mesure

4.1.1.1) Cahier des charges de l'appareil

Afin de respecter la logique interne de l'activité, les combats qui serviront d'appui à nos recueils de données doivent se conformer à des principes prédéfinis. Le contexte d'opposition induit par ce cadre pose un certain nombre de contraintes pour l'appareil amené à réaliser les mesures :

- il doit être robuste afin de résister aux coups qu’il subira durant le combat¹⁷² ;
- il doit conserver sa fiabilité malgré les mouvements violents, brusques et aléatoires¹⁷³ ;
- il doit être petit, léger et non invasif afin de ne présenter aucun danger pour les sujets et ne pas perturber leurs productions techniques¹⁷⁴ ;
- il doit permettre le stockage ou la transmission de données à distance¹⁷⁵ ;
- et il doit être ergonomique et facile d’utilisation afin d’être exploité sur le terrain¹⁷⁶.

Ces éléments constituent un cahier des charges auquel il n’est pas possible déroger. Ils sont même prioritaires sur la qualité des mesures. Le contexte écologique posant des contraintes tellement spécifiques, le chercheur ne peut en effet pas être en droit d’exiger des données aussi fiables que celles recueillies dans l’environnement sécurisé du laboratoire. Enfin, les coups induits par le contexte du combat présentent également un risque de destruction pour l’appareil. Aussi, au-delà de nos moyens financiers qui restent limités pour cette recherche, il est préférable que l’outil représente un faible investissement financier notamment car l’expérimentation pourrait dégrader certains appareils.

4.1.1.2) Choix de la catégorie d’appareil

Nos objectifs de recherche visent également à analyser la technique dans sa complexité. Une de nos problématiques réside donc dans le choix d’un appareil capable de prélever des informations simultanées sur les saisies, les déplacements et les projections.

Le cadre théorique a permis de mettre en évidence qu’il existe à ce jour quatre catégories d’appareils pouvant recueillir des données mécaniques sur un judoka en activité : les outils

¹⁷² Bien que le judo soit un sport de préhension, et au-delà des chutes induites par la nature de l’activité, les caractéristiques propres au combat sont sources de différents coups et impacts dans les différentes phases de l’opposition.

¹⁷³ Malgré les nombreux mouvements (accélération, décélération, impacts, ...) l’appareil doit pouvoir conserver sa position initiale tout au long du prélèvement.

¹⁷⁴ Il ne doit pas présenter de surfaces tranchantes ou trop saillantes et doit pouvoir être placé sur des zones ne perturbant pas l’activité des judokas.

¹⁷⁵ Afin de ne pas perturber la motricité des combattants et pour leur sécurité, aucune connectique de type filaire n’est envisageable.

¹⁷⁶ C’est-à-dire dans les dojos, hors du contexte sécurisé du laboratoire.

dynamométriques, les EMG de surface¹⁷⁷, les systèmes de « *motion capture* », et les centrales magnéto-inertielles.

Les premiers, qui correspondent aux dynamomètres et aux plateformes de force, sont difficilement exploitables en contexte de combat. Les dynamomètres permettent uniquement de mesurer dans la plupart des cas une force mono-axiale et leur utilisation est impossible en opposition. Les plateformes de force nécessiteraient d'être positionnées sous un « *tatami* ». Des données ne seraient recueillies que lors du passage des combattants sur la zone dédiée ; les données seraient très faibles en quantité et aléatoires ce qui ne présenterait que peu d'intérêt. En outre, elles ne fourniraient des éléments que sur les seuls déplacements¹⁷⁸. Enfin, leur paramétrage est sensible et complexe, et nécessiterait une installation spécifique et coûteuse.

Les EMG de surface sont des électrodes placées sur la peau qui recueillent des signaux électriques provenant de la commande volontaire. Ils ne mesurent pas directement une force mais permettent d'obtenir un indicateur indirect de la tension ou de la force musculaire. L'activité collectée des différents muscles permet d'évaluer leur implication dans le geste ainsi que la chronologie d'activation. Il pourrait être envisageable de mesurer l'activité des muscles préhenseurs¹⁷⁹, des muscles soléaires¹⁸⁰, ou encore des abdominaux et des dorsaux¹⁸¹. De nombreux EMG, aux qualités variables, sont proposés sur le marché, dont beaucoup avec des tarifs accessibles. D'autres, conçus pour la recherche ou le domaine médical sont beaucoup plus onéreux. Toutefois, au-delà du coût, les EMG de surface portatifs présentent plusieurs inconvénients. Le premier d'entre eux est que les électrodes sont toujours reliées par un système filaire à un circuit imprimé recueillant le signal. De plus, ces systèmes sont extrêmement fragiles, les électrodes pouvant se décoller ou se déplacer lors de mouvements trop brusques et les dispositifs pouvant être dégradés en cas d'impact important. Enfin, le placement des électrodes sur la peau afin de recueillir les signaux des muscles souhaités demande une très grande précision qu'il est difficile d'obtenir dans l'environnement d'un dojo. Ainsi, si les signaux que permettent de recueillir des EMG de surface sont intéressants dans le cadre de notre

¹⁷⁷ Plus précisément, les EMG prélèvent des bio-signaux (signaux électriques émis par les muscles) dont il est possible d'inférer des données mécaniques.

¹⁷⁸ Et de manière très exceptionnelle sur les projections, à la condition qu'une d'entre-elle soit effectuée au moment exact où l'attaquant pose ses pieds sur la zone de la plateforme. Les probabilités sont par conséquent très faibles.

¹⁷⁹ Ce qui permettrait d'analyser la saisie.

¹⁸⁰ Ce qui permettrait d'analyser les déplacements.

¹⁸¹ Ce qui permettrait d'analyser la rotation du tronc lors de l'exécution d'une technique de projection.

étude, les contraintes de la situation d'opposition rendent malheureusement plus que compliquée l'utilisation d'EMG filaires portatifs.

Les systèmes vidéo de capture du mouvement se sont développés et démocratisés ces dernières années dans les recherches en biomécanique. Ils offrent une facilité d'utilisation et surtout une réelle précision dans l'analyse tridimensionnelle du mouvement. Nous avons précédemment détaillé les deux types de systèmes existants. Les premiers, sans marqueurs, présentent un faible intérêt pour l'analyse du geste en judo car les données recueillies sont peu fiables et surtout ne permettent pas de collecter les données tridimensionnelles d'un mouvement complexe. Les seconds, dits systèmes optoélectroniques, utilisent des marqueurs passifs positionnés sur le corps du sujet par application d'un modèle anthropométrique. Filmés par des caméras, les coordonnées de chaque marqueur sont ensuite capturées et le mouvement ainsi modélisé. Si ce système présente le très grand avantage de pouvoir capturer des mouvements complexes avec une très grande précision, il présente malheureusement l'inconvénient de ne pas pouvoir être transporté dans un dojo. Le paramétrage des caméras, positionnées sur des portiques, est long, difficile et fin et ne peut donc pas s'envisager dans le cadre de notre étude. De plus, les marqueurs doivent être placés directement au contact de la peau du sujet. Cela induit le fait que « *tori* » serait dans l'impossibilité de porter un « *judogi* » complet et les conditions de pratique en contexte écologique ne seraient alors pas réunies.

Enfin, la dernière catégorie concerne les capteurs inertiels et magnétiques, également appelés centrales inertielles. Ils intègrent généralement un accéléromètre mesurant des accélérations, un gyromètre mesurant une vitesse angulaire par rapport à un référentiel galiléen et un magnétomètre permet de déterminer l'orientation d'un objet par rapport au nord magnétique ; chacun mesurant dans les trois dimensions. Miniaturisés et désormais commercialisés à des tarifs très concurrentiels, ils se sont largement démocratisés et sont aujourd'hui exploités dans des études de biomécanique. Leur taille et leur coût en font des outils facilement transportables et surtout exploitables en situation écologique (Lepetit 2018). Il y a près de dix ans, Paillard mettait en avant la difficulté d'exploitation de ces outils pour l'analyse du mouvement complexe et donc du judoka. À cette période, ces outils n'étaient encore que peu développés et supposaient un paramétrage lourd, leur taille et leur fragilité pouvaient engendrer des risques pour les sujets et les appareils, ainsi que modifier la motricité et biaiser les mesures (Paillard 2010b). La transmission des données sans fil, l'amélioration de leur robustesse, et la miniaturisation ont facilité leur développement dans le champ du sport en

contexte écologique¹⁸². Dieu a par exemple utilisé ces outils afin d'objectiver le déplacement de badistes en contexte écologique (Dieu 2012b). Toutefois, ce type d'appareil n'est pas vraiment exploité pour l'étude de mouvements plus complexes.

Cette dernière catégorie d'appareil semble vraisemblablement être celle qui répond le plus à notre cahier des charges, à savoir : la solidité, la fiabilité, une petite taille, la légèreté, l'aspect non invasif, et la capacité à transmettre des données sans fil.

Nous avons précédemment abordé le concept d'« *objet-frontière* » (Delalandre 2010). Ces types d'appareils sont une réelle piste à explorer car, conçus pour la pratique sportive et une utilisation grand-public, leurs caractéristiques peuvent plus facilement répondre à notre cahier des charges. Si leur fiabilité est éprouvée par certaines études, parfois remise en question (Edwards et al. 2019), ou parfois saluée (Chambers et al. 2019), ils n'en restent pas moins des outils parfaitement adaptés au contexte écologique. Même si leur précision est parfois amoindrie par rapport à des appareils conçus pour les laboratoires, c'est un élément à accepter pour le chercheur dès lors que l'on souhaite explorer l'écologie de la tâche (Uhlrich et al. 2011). De plus en plus d'études s'appuyant sur des pratiques variées telles que le rugby (Hulin et al. 2017¹⁸³), le basketball (Vázquez-Guerrero et al. 2019¹⁸⁴) ou encore l'athlétisme (Brice, Hurley, et Phillips 2018¹⁸⁵) exploitent ce type d'objets.

Toutefois, dans toutes les études que nous avons pu relever en judo, aucune à ce jour ne les exploite pour réaliser des mesures en contexte écologique. Au regard des caractéristiques intéressantes qu'ils présentent, c'est dans cette catégorie que nous avons mené nos explorations.

4.1.2) Le « *Myo Armband* » de Thalmic Labs®

Nos recherches ont alors porté en priorité sur les centrales inertiellees proposées sur le marché et adaptées à la pratique sportive de loisir ou de haut niveau. C'est dans le cadre de cette

¹⁸² Nous avons précédemment précisé qu'ils peuvent permettre en contexte écologique de quantifier les charges de travail (Kniubaite et al. 2019), de mesurer des accélérations en course (Alexander et al. 2016), d'évaluer les impacts ou les contacts subis par les sportifs (Wundersitz et al. 2015), d'étudier des mouvements cycliques tels qu'en kayak (Croft et al. 2013), ou balistiques tels qu'en golf (Lai et al. 2011).

¹⁸³ Utilisation de l'« *Optimeye S5* » de Catapult Solutions®.

¹⁸⁴ Utilisation du « *Wimu Pro* » de RealTrack Systems S.L.®.

¹⁸⁵ Utilisation du « *IMUs* » de Bosch®.

prospection que nous avons découvert, presque par hasard, un brassard connecté qui a retenu toute notre attention.

4.1.2.1) Présentation du bracelet

Le « *Myo Armband* » ou brassard « *Myo* » est un appareil connecté conçu et distribué par la start-up canadienne *Thalmic Labs*[®] à partir de 2014. L'objectif initial de la société est de commercialiser un brassard porté sur l'avant-bras capable d'interpréter la gestuelle des mains, des doigts et de l'avant-bras. L'entreprise est partie du constat que les interfaces homme-machine se développent de manière exponentielle mais, en s'appuyant principalement sur la voix ou sur des systèmes de capture vidéo, ils n'exploitent pas tous les possibles. Ils mettent en avant l'idée que peu d'interfaces sont aisément transportables, et rares sont en contact direct avec l'utilisateur. Leur projet est en ce sens de développer une nouvelle forme d'interface homme-machine.



Figure 11 : le « *Myo Armband* ». Source : *Thalmic Labs*[®].

Plus précisément, l'appareil permet d'analyser la gestuelle des mains et des doigts de l'utilisateur dans le but de contrôler différents appareils à distance. Grâce à une variété d'applications développées par la société, le brassard peut, par exemple, permettre de remplacer une souris d'ordinateur, de piloter des diaporamas, de contrôler une enceinte de musique, de jouer à des jeux vidéo. Le principe étant que le brassard transmet à une application, de manière codée, les gestes de la main et des doigts, puis chaque mouvement est associé à une action spécifique dans le logiciel.

Le modèle économique de la société est basé sur la vente de l'appareil, pour un montant d'environ 200€, puis sur la mise à disposition en ligne gratuite des applications permettant de l'exploiter dans une grande variété de situations. Un logiciel, nommé « *Myo Connect* », permet

de connecter aisément un ou des brassards à un ordinateur. En outre, un « *SDK* »¹⁸⁶, utilisant le langage informatique « *C#* »¹⁸⁷, est laissé en libre accès afin que tout un chacun puisse développer ses propres applications.

4.1.2.2) Intérêt suscité pour l'élaboration de l'outil

Au-delà des fonctions commerciales qui ne sont pas d'une grande utilité dans le cadre de notre étude, ce sont les éléments technologiques qui le composent qui étaient susceptibles de nous intéresser tout particulièrement. En effet, le brassard exploite huit EMG de surface couplés à une centrale inertielle. Un petit processeur intégré sert d'unité de calcul afin d'étudier les signaux reçus à l'aide d'algorithmes. De plus l'appareil, fonctionnant sur batterie, est autonome et transmet les données par *Bluetooth*. Enfin, il est constitué de matériaux synthétiques¹⁸⁸ qui le rendent inoffensif.

Nous cherchions en priorité une centrale inertielle accessible et c'est pour cette raison que nos recherches nous ont conduit à cet objet, tout comme elles nous ont menés vers d'autres types de centrales. La combinaison des EMG et de la centrale inertielle nous a toutefois rapidement interpellés et nous a invité à nous y intéresser davantage. En effet, nous avons fait le constat que les EMG de surface présentaient de nombreux intérêts pour analyser le geste technique. Cependant, leur utilisation en contexte écologique est quasi impossible du fait de la difficulté de placer les électrodes, et surtout de la présence de connectiques. Or, ce brassard ne dispose d'aucun fil, et élude également la précision du placement des électrodes par la combinaison du signal de huit électrodes. En somme, avec un appareil nous pourrions être en mesure de collecter simultanément deux types de données complémentaires pour notre étude.

Toutefois, il ne s'agit pas strictement d'un « *objet-frontière* » tel que nous l'avons défini. Ces derniers ont pour objectif de collecter des données sur l'activité afin de pouvoir l'analyser. Originellement conçus pour la pratique sportive de loisir, ou de plus haut niveau, des algorithmes et des interfaces permettent de traiter l'information pour la communiquer à l'utilisateur. La frontière réside dans le fait que des chercheurs, plutôt que d'utiliser des outils spécifiquement conçus souvent coûteux et fragiles, exploitent les données collectées par ces

¹⁸⁶ « *Software Development Kit* » ou kit de développement.

¹⁸⁷ Se prononce « *C sharp* ». Il s'agit d'un langage de programmation commercialisé par Microsoft®, dérivé du « *C++* » et proche du « *Java* » : <https://docs.microsoft.com/fr-fr/dotnet/csharp/>

¹⁸⁸ À l'exception des capteurs EMG en acier inoxydable.

objets en détournant finalement la fonction initiale de l'appareil. Dans notre cas, le brassard « *Myo* » n'est pas strictement un « *objet-frontière* » au sens de la définition car il ne s'agit pas d'un outil de collecte de données à vocation sportive. Il s'agit comme expliqué précédemment d'une interface homme-machine visant à transmettre des informations à une application.

Avant de poursuivre sur la voie de l'utilisation de cet appareil, nous avons donc dû mener des recherches afin de vérifier que les données brutes collectées, qui ont initialement vocation à être traitées et transmises, pouvaient être recueillies de manière indépendante. Nos recherches ont heureusement été fructueuses puisque nous avons pu trouver dans les produits complémentaires proposés par la société, un logiciel libre, nommé « *MyoCapture* » permettant de recueillir l'ensemble des données brutes sur des fichiers « *Excel* »¹⁸⁹.

4.1.2.3) Description et caractéristiques du brassard

Le brassard est commercialisé en taille et modèle unique. La figure ci-dessous décrit les différents éléments le composant¹⁹⁰ :

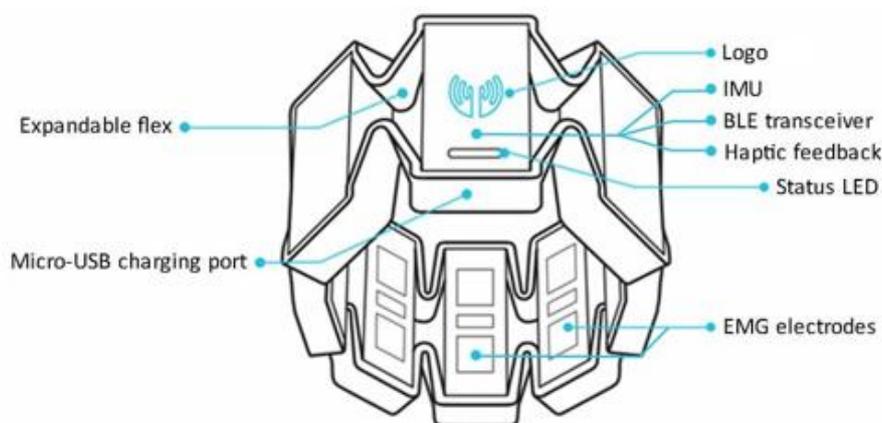


Figure 12 : description du « *Myo Armband* ». Source : *Thalmic Labs*®.

¹⁸⁹ Fonctionnalités précisées ultérieurement.

¹⁹⁰ Traduction des termes :

- « *Expandable flex* » : bande extensible ;
- « *Micro-USB charging port* » : prise de chargement micro-USB ;
- « *IMU* » : « *Inertial Measurement Unit* » ou centrale inertielle ;
- « *BLE transceiver* » : « *Bluetooth Low Energy* », émetteur-récepteur *Bluetooth* ;
- « *Haptic feedback* » : retour haptique ;
- « *Status LED* » : voyant d'état ;
- « *EMG electrodes* » : électrodes EMG.

Les caractéristiques techniques de l'appareil communiquées par le constructeur sont synthétisées dans le tableau ci-après.

ÉLÉMENTS	CARACTÉRISTIQUES
Centrale inertielle	9 composantes contenant : - un gyroscope à trois axes - un accéléromètre à trois axes - un magnétomètre à trois axes Fréquence d'acquisition : 50 Hz
EMG	8 capteurs EMG Acier inoxydable de « <i>qualité médicale</i> » Fréquence d'acquisition : 200 Hz
Transmission données	<i>Bluetooth Smart 4.0</i>
Processeur	ARM Cortex M4
Batterie et recharge	Batterie lithium-ion rechargeable intégrée Recharge micro-USB
Masse	93 grammes
Dimension et taille	11.9 x 7.4 x 10.4 centimètres Taille du bras extensible pour des circonférences comprises entre 19 et 34 cm, 10 clips d'ajustement
Compatibilité informatique	Windows, Mac, Android, iOS
Développement	SDK en C#

Tableau 5 : caractéristiques techniques du « Myo Armband ».

Enfin, un logiciel est dédié à la gestion de l'interface de connexion brassard/PC : le « *Myo Armband Manager* ». Il permet d'avoir une vision en temps réel sur les appareils connectés et donc en liaison avec l'ordinateur. Le nombre de brassards connectés simultanément à un ordinateur est plafonné à trois.

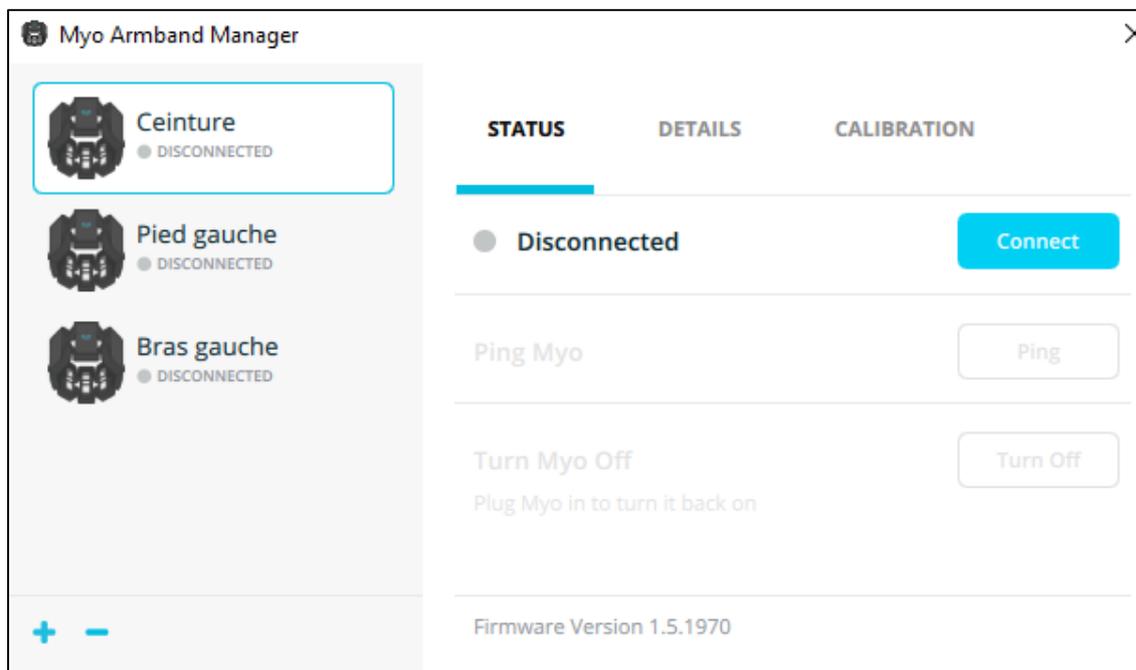


Figure 13 : interface du logiciel « Myo Diagnostics ». Source : capture d'écran personnelle.

4.1.2.4) Données collectées

Deux outils permettent de recueillir les données. Le premier est une solution en ligne¹⁹¹ permettant de vérifier la fonctionnalité de l'appareil, et de visualiser en direct sous forme de graphes l'ensemble des données transmises. Ce soft ne permet pas directement d'enregistrer des données, mais son ergonomie permet d'envisager des pré-tests de l'appareil afin d'en vérifier la fonctionnalité dans le contexte d'un combat.

¹⁹¹ Accessible via l'URL suivante : <http://diagnostics.myo.com/>

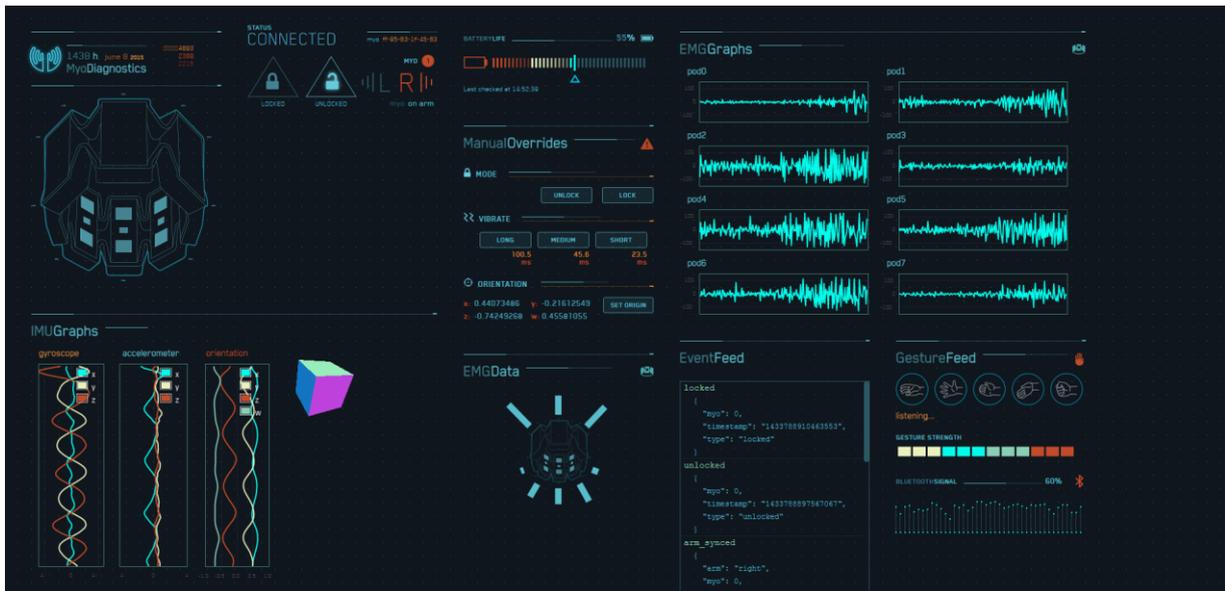


Figure 14 : logiciel en ligne « MyoDiagnostics ». Source : Thalmic Labs®.

Le second outil est celui nous intéressant tout particulièrement. Il s'agit d'un logiciel nommé « MyoCapture » et développé par la société elle-même. Le but de ce programme est de rendre les données accessibles aux développeurs de nouvelles applications.

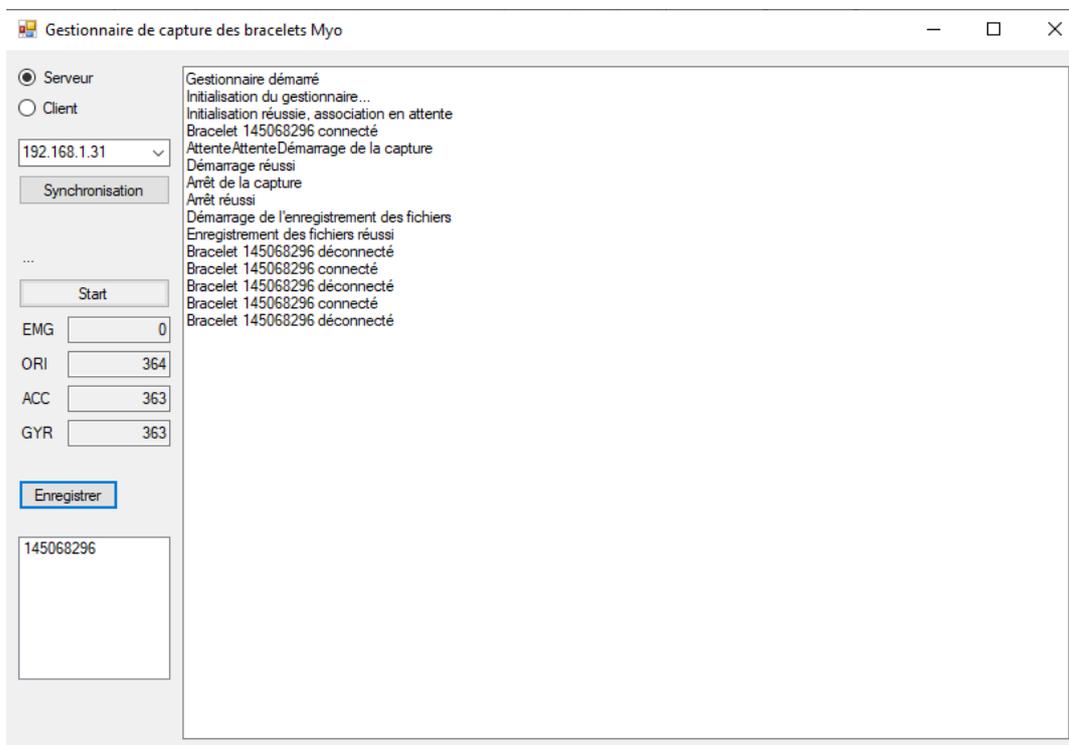


Figure 15 : interface du logiciel « MyoCapture ». Source : capture d'écran personnelle.

Sur la temporalité de la séquence de collecte des données, il récupère des informations afférentes aux huit EMG ainsi qu'à la centrale inertielle : accélérations, données gyroscopiques et orientations.

Les données de la séquence sont ensuite transformées en cinq fichiers « Excel » distincts sur un format avec valeurs séparées par virgules comme dans l'exemple ci-après. Trois appareils peuvent au maximum être connectés simultanément à un ordinateur. Toutefois, en cas d'acquisitions simultanées, le logiciel a le grand inconvénient de ne pas identifier sur chaque ligne de données l'appareil concerné.

Au sein de ces fichiers, chaque ligne est composée d'une information d'horodatage¹⁹², puis des données correspondantes, toutes séparées par une virgule. L'horodatage fonctionne sur le système « UNIX » qui mesure le temps écoulé depuis le « 1^{er} janvier 1970 00:00:00 UTC », Il est ici exprimé en microsecondes. Par exemple, dans la ligne 2 de la figure ci-après, le nombre « 1513195871247312 » correspond au nombre de millisecondes écoulées depuis cette date au moment du prélèvement de la donnée et en se référant à l'horloge de l'ordinateur recueillant les données.

	A	B	C	D	E
1	timestamp,emg1,emg2,emg3,emg4,emg5,emg6,emg7,emg8				
2	1513195871247312,104,-2,53,56,-15,15,102,-106				
3	1513195871247312,119,-2,47,41,46,-56,-34,-122				
4	1513195871254341,-38,-2,-31,-20,-35,-20,-97,-128				
5	1513195871254341,-83,-1,-82,27,-8,-1,-128,-128				

Figure 16 : fichier Excel avec données brutes d'EMG. Source : capture d'écran personnelle.

Les cinq fichiers distincts générés reposent tous sur ce principe d'horodatage permettant d'obtenir des données synchronisées sur les différents paramètres. Les données enregistrées, qui suivent le « timestamp », et apparaissant sur les fichiers répondent chacune à des caractéristiques spécifiques.

Concernant les EMG, la figure X présentée en amont fournit un exemple de données brutes. Ils mesurent des données avec une fréquence d'acquisition de 200 Hz et enregistrent de manière bipolaire afin de mesurer une différence de potentiel (Korb et al. 2013). Aussi, spécifiquement pour les EMG, une donnée collectée à un instant t est enregistrée sur deux lignes distinctes qui auront donc le même horodatage¹⁹³. La première ligne du tableur correspond aux

¹⁹² « timestamp ».

¹⁹³ Dans l'exemple présenté, les lignes 2 et 3 ont toutes les deux l'horodatage : « 1513195871247312 ».

données électriques d'une des deux électrodes de chacun des huit EMG. La deuxième correspond aux données de la seconde électrode des mêmes EMG lors du même prélèvement. Techniquement, le brassard extrait les données sous forme de signal analogique de tension en millivolts¹⁹⁴, puis utilise ses filtres pour supprimer les bruits et produit un signal numérique fonctionnant sur 8 bits, soit 256 valeurs. Les tensions de sortie varient entre -30mV et +80mV puis sont numérisées de -128 à 127 (Sattar et al. 2021). Enfin, les données des électrodes « *emg1, emg2, emg3, ...* » correspondent aux électrodes désignées conformément à la figure suivante :



Figure 17 : schéma de placement des électrodes. Sources : image Thalmic Labs® et conception personnelle

La centrale inertielle, intégrée dans le bloc 4 du brassard¹⁹⁵, est en mesure de fournir quatre types de données :

- les accélérations¹⁹⁶ en « *nombre de g* »¹⁹⁷ et selon trois axes : *x*, *y* et *z* ;
- les accélérations angulaires¹⁹⁸ exprimées en « *radians par seconde carrée* »¹⁹⁹ et selon trois axes : *x*, *y* et *z* ;

¹⁹⁴ mV

¹⁹⁵ Conformément à la figure X.

¹⁹⁶ C'est-à-dire la variation des vitesses au cours du temps.

¹⁹⁷ $1 g = 9,81 \text{ m/s}^2$

¹⁹⁸ C'est-à-dire les variations des vitesses angulaires au cours du temps.

¹⁹⁹ rad/s^2

- les orientations exprimées à l'aide des angles du cardan selon trois axes : « *roll* », « *pitch* » et « *yaw* »²⁰⁰ et en fonction de l'orientation initiale de l'appareil au début de l'enregistrement des données ;
- et enfin les mêmes orientations exprimées sous forme de quaternions : x , y , z et w .

Les figures ci-dessous illustrent ces quatre types de données telles que collectées à l'état brut par l'application « *MyoCapture* » :

	A	B	C	D		A	B	C	D
1	timestamp,x,y,z				1	timestamp,x,y,z			
2	1513195871064147,0.103516,0.237793,-0.253906				2	1513195871064147,82.25,-11.0625,120.688			
3	1513195871072152,-0.112793,0.135254,-0.1875				3	1513195871072152,76.5625,19.0625,99.375			
4	1513195871074154,-0.446777,0.32959,0.287109				4	1513195871074154,157.375,-75.4375,-33.625			
5	1513195871077156,-0.398438,0.0209961,0.379395				5	1513195871077156,-42.3125,83.3125,-98.9375			

Figure 18 : fichier Excel, données brutes accélérations (à gauche) et accélérations angulaires (à droite). Source : capture d'écran personnelle

	A	B	C	D		A	B	C	D	E
1	timestamp,roll,pitch,yaw				1	timestamp,x,y,z,w				
2	1513195871064147,3.00855,-0.154417,2.34245				2	1513195871064147,-0.391785,-0.91449,-0.0910034,0.045105				
3	1513195871072152,3.0379,-0.161546,2.30888				3	1513195871072152,-0.406433,-0.908691,-0.079834,0.0527954				
4	1513195871074154,1.19732,0.3704,-1.70148				4	1513195871074154,0.479614,-0.316101,-0.678833,0.457397				
5	1513195871077156,-0.479299,0.399011,-0.602128				5	1513195871077156,-0.1651,0.252869,-0.237427,0.923218				

Figure 19 : fichier Excel, données orientation. Source : capture d'écran personnelle

Le référentiel (x ; y ; z) utilisé fonctionne selon la figure suivante schématisant le bloc 4 d'un brassard :

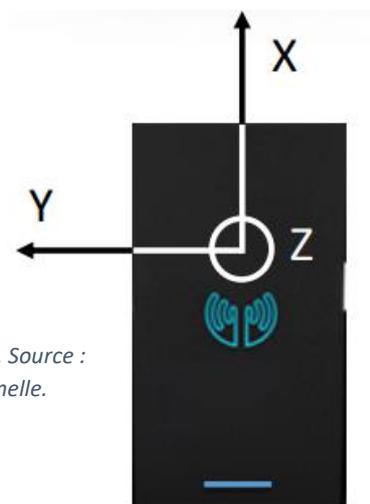


Figure 20 : référentiel (x ; y ; z) du brassard. Source : image Thalmic Labs® et conception personnelle.

²⁰⁰ Roulis, tangage et lacet.

4.1.3) Publications scientifiques utilisant le « *Myo Armband* » comme outil

Si le « *Myo Armband* » n'est pas strictement un « *objet-frontière* » au sens où le définit Delalandre, il est toutefois dès 2015 exploité dans des recherches selon une philosophie s'en approchant. Un an après le début de sa commercialisation, des publications scientifiques en langue anglaise et exploitant le brassard sont publiées. Il continue encore à ce jour d'être exploité puisque nous avons recensé quatre publications le concernant pour l'année 2021. Ces études l'utilisent soit pour les caractéristiques liées à sa fonction initiale, soit comme nous souhaitons le faire nous-même, en le détournant afin de recueillir des données brutes.

Nous avons recensé trois catégories d'études s'appuyant sur l'outil. Les deux premières catégories, qui concentrent la majorité des articles, sont en lien avec le domaine médical, soit en s'intéressant aux gestes et techniques d'interventions médicales, soit en se centrant sur des handicaps ou pathologies. La dernière catégorie concerne les études s'intéressant à l'analyse de gestes qui peuvent être du quotidien ou sportifs. La synthèse de ces études proposée ci-après ne se veut en aucun cas exhaustive.

Concernant les gestes et techniques d'interventions médicales, l'outil est par exemple utilisé pour améliorer l'interface chirurgicale homme/robot afin d'améliorer la précision du geste lors de télé-opérations (Qi et al. 2021). D'autres encore exploitent l'outil afin d'aider le personnel dans leur apprentissage de gestes techniques tels que les bronchoscopies (Cold et al. 2021), les laparoscopies (Kowalewski et al. 2019 ; Sánchez-Margallo et al. 2017), ou encore plus simplement le lavage des mains (Kutafina et al. 2016).

Toujours en lien avec le milieu médical, d'autres recherches s'appuient sur l'appareil pour intervenir sur des pathologies ayant des incidences motrices ou sur des handicaps. Il est par exemple utilisé pour catégoriser différentes phases évolutives dans la maladie de Parkinson à l'aide d'une tâche d'écriture (Casarano et al. 2019), pour assister la rééducation de patients ayant subi un accident vasculaire cérébral (Holmes et al. 2017), pour piloter une prothèse de main robotisée (Gaetani et al. 2019), pour favoriser le développement moteur de patients atteints de paralysies cérébrales (MacIntosh et al. 2020), ou encore pour permettre le contrôle d'un ordinateur à distance pour des patients amputés des membres supérieurs (Matos et al. 2016).

Enfin, une dernière catégorie d'études nous intéresse tout particulièrement car analysant, en contexte écologique, des gestes moteurs du quotidien ou sportifs. Les bracelets ont par exemple été exploités pour analyser les gestes moteurs de sujets lors de la prise d'un

repas (Manton et al. 2016) ou bien pour analyser et catégoriser des gestes du quotidien (Totty et Wade 2018). Une seule étude utilisant l'appareil s'intéresse à la pratique sportive (Lin et al. 2021). Elle cherche à exploiter le brassard afin de proposer un dispositif d'apprentissage innovant en badminton, permettant d'obtenir en temps réel des « *feedback* » sur les gestes techniques réalisés.

4.1.4) Conclusion sur le choix de l'appareil

Ainsi, au regard du cahier des charges fixé à l'outil afin de répondre à nos deux premières problématiques, le « *Myo Armband* » possède de nombreux avantages mais également quelques inconvénients.

Tout d'abord, en répondant positivement à des éléments du cahier des charges, voici les nets avantages qu'il présente :

- il est composé d'une centrale inertielle, c'est-à-dire le type d'outil que nous cherchions en priorité, et les données qu'il permet de recueillir correspondent à nos attentes ;
- il est robuste et peut ainsi résister aux différents coups et impacts potentiellement subis ;
- il est léger et non invasif et ne perturbera donc pas les mouvements des sujets ;
- il n'est pas conçu avec des éléments saillants ou tranchants et par conséquent n'est pas dangereux pour les judokas en situation de combat ;
- la transmission des données s'opère par *Bluetooth* et le stockage s'effectue dans l'ordinateur, il n'y a donc aucune connectique à apposer sur les sujets ;
- sa fonction principale est d'être placé sur l'avant-bras et permet donc d'envisager de collecter des données relatives aux saisies ;
- et au-delà de sa fonction principale, ses caractéristiques lui permettent d'être placé sur d'autres zones du corps afin d'exploiter la centrale inertielle, telles les chevilles ou la ceinture, et ainsi prélever des informations afférentes aux déplacements.

Aussi, nombre d'éléments du cahier des charges sont respectés et une collecte de données dans les trois composantes définies de la motricité est envisageable. Au moment de

faire notre choix²⁰¹, des articles rassurants sur sa pertinence scientifique et sa fiabilité ont déjà été publiés. Son tarif de vente est aussi un net avantage, de même que sa disponibilité sur le marché. Enfin et surtout, il présente l'avantage d'être équipé d'EMG de surface. Nous avons identifié les avantages de tels outils dans la collecte de données, mais nous les avons automatiquement écartés de par les contraintes matérielles que ce type d'objets imposaient en contexte de combat. Or, les EMG du « *Myo Armband* » paraissent tout à fait adaptés.

À l'inverse, il présente malheureusement des inconvénients qui le rendent, en l'état, inopérant pour des mesures en situation écologique.

Tout d'abord, si la bande élastique de l'appareil est suffisante pour le maintenir sur l'avant-bras lors de l'exécution de gestes doux, elle ne permet absolument pas de maintenir le brassard en place en situation de combat. Lors d'une opposition, le bracelet finirait inexorablement au niveau du poignet, interrompant de fait les mesures. Il s'agit là d'un problème mineur, puisqu'il est au final très facile de maintenir les appareils à l'aide de bandes adhésives élastiques adaptées à la pratique sportive.

Le problème provient de l'ergonomie du recueil et du traitement des données. Comme il ne s'agit pas initialement d'un « *objet-frontière* » visant à réaliser des mesures, mais d'un appareil jouant un rôle d'interface homme/machine, la collecte des données n'est, en l'état, pas adaptée à une situation de terrain :

- pour chaque séquence de mesures, cinq fichiers²⁰² sont générés, ce qui nécessiterait à posteriori une concaténation des données rendant leur traitement extrêmement chronophage ;
- l'horodatage est basé sur le système « *UNIX* » qui indique le temps écoulé en microsecondes entre le 01/01/1970 et l'heure et date du prélèvement de données : un recalcul est donc à chaque fois nécessaire pour calibrer l'horodatage à partir du début de l'acquisition à $t=0$;
- en cas d'acquisition simultanée, toutes les données relatives à une même catégorie²⁰³ sont collectées dans le même fichier sans que les différents appareils y soient identifiés :

²⁰¹ Achat du premier bracelet pour pré-tests fin 2016.

²⁰² Correspondant aux cinq types de données : EMG, accélérations, accélérations angulaires, orientations par cardans et par quaternions.

²⁰³ Par exemple toutes les données d'accélérations angulaires.

cela rend le traitement des données impossible puisque nous ne pouvons distinguer les données relevant du brassard A, de celles relevant des brassards B ou C ;

- le nombre de brassards connectés simultanément est plafonné à trois par ordinateur, ce qui est un vrai frein par rapport à notre souhait de collecter des données dans les trois catégories du modèle²⁰⁴ ainsi que sur l'adversaire.

Si les trois premières contraintes sont mineures, l'une se solutionnant par de simples bandes élastiques, et les deux suivantes par un surinvestissement temporel, les deux dernières doivent obligatoirement être résolues.

Il est par conséquent nécessaire de trouver une solution technique afin que les différents appareils soient clairement identifiés dans les lignes de données. Il est aussi fondamental de trouver une solution permettant d'exploiter plus de trois brassards. Utiliser trivialement deux ordinateurs en parallèle, sans autre apport technique, n'est pas une solution envisageable car les horodatages étant en référence à l'horloge de l'ordinateur associé, les données obtenues ne seraient pas synchronisées et donc non exploitables.

Toutes ces contraintes techniques sont finalement parfaitement résumées dans la citation suivante concernant les méthodologies employées dans l'approche technologique : « *il convient souvent de faire preuve d'adaptation et de créativité dans les techniques de recueil et de traitement des données* » (Mouchet et al. 2010).

L'acquisition d'un brassard pour effectuer des essais et pré-tests nous a permis de proposer cette analyse. Nous avons choisi d'exploiter cet appareil. Dans la partie suivante, nous proposons des solutions techniques aux problèmes précédemment évoqués et à formalisons le développement de l'outil.

²⁰⁴ Saisies, déplacements, projections.

4.2) Élaboration de l'outil de recueil de données

4.2.1) D'un appareil connecté à un réel outil de mesure

Après avoir validé le choix du « *Myo Armband* » de la société Thalmic Labs® au regard des éléments discutés, il a été nécessaire de résoudre les problématiques soulevées. En effet, pour dépasser le simple appareil connecté à notre disposition et espérer développer un réel outil en mesure de répondre aux deux premières problématiques de notre thèse, il est indispensable d'apporter des solutions techniques.

Antérieurement à la proposition de solutions par des développements informatiques exploitant le *SDK*, il est essentiel de définir le nombre de brassards nécessaires ainsi que leurs positionnements.

Pour rappel, souhaitant avoir une approche complexe de la motricité, il est fondamental, en cohérence avec notre modélisation, de collecter des données relatives aux saisies, aux déplacements et aux projections, ainsi que des éléments sur l'adversaire. Pour répondre à cette problématique, il est envisageable d'exploiter les appareils ainsi :

- Saisies : au regard de la fonction primaire de l'appareil, il paraît logique qu'un brassard soit apposé sur chacun des avant-bras, permettant ainsi de collecter des données au moyen des EMG ;
- Déplacements : l'architecture des appareils permet d'envisager d'apposer un brassard sur chacune des chevilles du sujet et de collecter les données de l'accéléromètre ;
- Techniques de projection : ces dernières peuvent être analysées par exploitation des données des brassards positionnés sur les avant-bras et chevilles, mais il est également possible d'en apposer un au niveau du nœud de ceinture, emplacement approximatif du centre de gravité du sujet, et de collecter les données de l'accéléromètre ;
- Défenseur : de la même manière, il est intéressant d'apposer un appareil sur le nœud de ceinture de ce dernier afin d'obtenir des données relatives aux accélérations de son centre de gravité.

Aussi, un total de six brassards paraît indispensable afin de recueillir des données sur les productions techniques en contexte écologique et en les appréhendant dans leur complexité.

En outre, il est important de préciser que nous n'exploiterons pas les données du magnétomètre. Les positions étant à chaque fois calculées en référence à la position initiale du brassard au début de la séquence d'acquisition, il apparaît plus que complexe de les exploiter. Pour cela, il faudrait positionner en amont de l'acquisition les six brassards à plat avec des orientations strictement identiques et formatées, puis lancer la séquence, et enfin équiper les sujets²⁰⁵. Enfin, pour analyser chaque technique, il faudrait ensuite recalculer toutes les coordonnées de positionnement en rapport avec le référentiel initial. Pour toutes ces raisons, nous avons fait le choix de ne pas utiliser ces données.

Les sous-parties suivantes visent à proposer les solutions techniques aux problèmes évoqués et qui constituent un frein au déploiement de notre outil. Ces solutions sont basées sur un développement informatique apportant des modifications au logiciel d'acquisition « *MyoCapture* ». Elles s'appuient sur le *SDK* proposé par Thalmic Labs® et sont développées en langage « *C#* ».

Enfin, afin de pouvoir analyser finement les techniques produites, les données collectées dont l'horodatage aura été synchronisé doivent pouvoir être mises en perspective par rapport aux images vidéo des combats. Pouvoir isoler les données mécaniques relatives à une projection réalisée ayant entraîné un « *Ippon* » est fondamental pour analyser la complexité. Il est donc également nécessaire de trouver une solution technique afin de synchroniser précisément vidéos et signaux.

4.2.2) Solutions techniques

4.2.2.1) Identification des brassards

Le premier problème était l'identification des brassards dans les fichiers. Pour ce faire, nous avons nommé chacun des six appareils utilisés en fonction de leur positionnement :

- « *bras droit Emg* » et « *bras gauche Emg* » ;
- « *jambe droite* » et « *jambe gauche* » ;
- « *ceinture* » du sujet et du défenseur.

²⁰⁵ A notre sens, l'équipement des sujets n'étant pas envisageable pendant une séquence d'acquisition.

Chaque appareil possède sa propre identification et ses données sont ensuite associées à son nom dans le fichier du tableur dans une nouvelle colonne. Il suffit ensuite de simplement appliquer un tri par appareil ou bien un filtre pour extraire les données de chaque brassard.

Les lignes de codes suivantes ajoutées au « *MyoCapture* » nous ont permis d'effectuer ces modifications :

```
private void tsmi_activerEmg_Click(object sender, EventArgs e)
{
    Myo m = TrouverMyo();
    if (m != null)
    {
        m.EmgActive = !m.EmgActive;
        if (m.EmgActive)
            m.Name += " Emg";
        else
            m.Name = m.Name.Replace(" Emg", "");
        lst_Bracelets.Items[lst_Bracelets.SelectedIndex] = m.Name;
    }
}
```

Figure 21 : code C# pour identification des brassards

En outre, nous avons profité de ces modifications pour supprimer la capture des données des EMG des brassards apposés aux chevilles et sur les ceintures. Lourdes à traiter par les ordinateurs lors des transferts, elles peuvent par conséquent être sources de « *plantage* » lors d'une séquence trop longue. Comme elles sont totalement inutiles, nous avons procédé au gel de leur prélèvement :

```
private Myo TrouverMyo()
{
    long res;
    foreach (Myo m in gb.Myos)
    {
        if (m.Name == listBox_selecteditem ||
            (Int64.TryParse(listBox_selecteditem, out res) && res == (long)m.Handle))
        {
            return m;
        }
    }
    return null;
}
private void tsmi_Membre_Click(object sender, EventArgs e)
{
    Myo m = TrouverMyo();
    if (m != null)
    {
        m.Name = ((ToolStripMenuItem)sender).Text;
        lst_Bracelets.Items[lst_Bracelets.SelectedIndex] = m.Name;
    }
}
```

Figure 22 : code C# gel du prélèvement des données EMG sur brassards ceintures et chevilles

4.2.2.2) Synchronisation des horloges et horodatage

Le second problème à résoudre, complexe et majeur, est la synchronisation des mesures sur l'ensemble des appareils. L'horodatage dans les lignes de données sur les tableurs doit être strictement le même à la milliseconde près. Or, comme précisé auparavant, seuls trois brassards peuvent être connectés simultanément sur un même ordinateur. L'horodatage étant calculé en référence à l'horloge de l'ordinateur sur lequel est connecté le bracelet, il est en l'état impossible d'avoir des données synchronisées avec une telle précision.

Bien que les ordinateurs disposent d'horloges s'actualisant automatiquement et régulièrement par le biais d'internet, il existe forcément et toujours un décalage de quelques secondes ou millisecondes entre eux. Ces dernières fonctionnent grâce à des oscillateurs basés sur des cristaux à quartz. De tels oscillateurs ont un phénomène de dérive compris entre 10^{-5} à 10^{-6} seconde par seconde (Faria Da Fonseca 1999). Concrètement, ce phénomène de dérive d'horloge implique que, chacune ayant son propre quartz avec des caractéristiques singulières, toutes les horloges n'avancent pas au même rythme. Aussi, lorsque deux horloges sont utilisées dans un même but ou pour un même objet, une synchronisation s'impose. Dans le cas présent, trois mesures de 6 heures ont été réalisées pour déterminer la dérive entre nos deux PC. Celle-ci est de 31,2 ms par heure.

Les sciences de l'information et de la communication proposent différentes solutions à ce problème. Le concept de la synchronisation des horloges consiste en l'alignement de deux systèmes distincts en cherchant à obtenir une différence entre leurs temps subjectifs tendant vers zéro. Deux grands modèles prédominent dans ce concept : la synchronisation en temps logique et la synchronisation en temps absolu (Lamport 1978). La première s'appuie sur un algorithme dont l'objectif n'est pas de synchroniser les différentes horloges, mais qu'elles s'accordent sur l'ordre dans lequel se produisent les différents événements. Le principe est que l'émetteur insère son horloge dans un flux de données que le récepteur récupère pour se synchroniser sur le rythme de traitement des données, c'est-à-dire pour se synchroniser avec l'horloge de l'émetteur et non pas avec une horloge de référence absolue. Cette solution présente l'avantage de mettre les horloges en synergies, qui fonctionnent alors en boucle : la synchronisation est donc permanente.

La seconde solution, dite de la synchronisation en temps absolu, est basée sur le principe de l'horloge *P* « *primaire* » et des horloges *S* « *secondaires* ». Le principe est qu'une horloge *P* sert régulièrement de référence à des horloges *S* pour se mettre à l'heure (Scheiterer et al. 2008). Le temps absolu est donc défini par le temps de l'horloge de *P* puis est confondu avec

le temps des horloges S . Il s'agit en fait du principe de synchronisation automatique de nos PC ou de nos smartphones : plusieurs fois par jour ces derniers, « *secondaires* », vont récupérer l'heure précise auprès de l'horloge atomique qui est « *primaire* » et l'acceptent comme nouvelle heure de référence. Cette solution a l'inconvénient de laisser dériver les deux horloges entre deux synchronisations, mais a dans le même temps l'avantage d'être bien plus simple dans sa mise en œuvre. Dans la pratique, l'analyse préalable de la dérive permet de conserver une très bonne fiabilité de la synchronisation pendant la durée des séquences de capture. C'est donc cette solution que nous avons retenue.

Le principal est que les horloges soient parfaitement synchronisées au début de la séquence. Il suffit donc pour cela de procéder à une synchronisation avant chaque séquence d'acquisition. Enfin, pour améliorer la précision dans la synchronisation, nous avons choisi une transmission filaire : les ordinateurs sont reliés entre eux par un câble « *RJ45* » et leurs entrées « *Ethernet* ». Le principe de la programmation a été de reprendre le protocole *PTP*²⁰⁶ de synchronisation de temps entre ordinateurs. Celui-ci sur un *LAN*²⁰⁷ peut atteindre une précision de $50\mu\text{s}$. Nous avons des synchronisations à moins de $150\mu\text{s}$ ce qui était largement suffisant au regard de la durée de nos séquences de mesure.

Voici le programme développé et intégré au « *MyoCapture* » permettant cette synchronisation :

```
public static void Connect(string IP)
{
    Thread.CurrentThread.Priority = ThreadPriority.Highest;
    Process pcur = Process.GetCurrentProcess();
    pcur.PriorityClass = ProcessPriorityClass.RealTime;
    AddingLog?.Invoke(null, "Connexion au serveur " + IP + " ...");
    try
    {
        Int32 port = 13000;
        TcpClient client = new TcpClient(IP, port);
        NetworkStream stream = client.GetStream();
        AddingLog?.Invoke(null, "Connexion réussie");

        Byte[] msg_envoye;
        Byte[] msg_recu = new Byte[16];
        int nb_bytes_lus;
        long ticks_client;
        long ticks_serveur;
        long delta;
        List<long> deltas = new List<long>();
        for (int i = 0; i < 100; i++)
```

²⁰⁶ « *Precision Time Protocol* ».

²⁰⁷ Réseau local.

```

{
    msg_envoye = BitConverter.GetBytes(DateTime.Now.Ticks);
    if (i == 50)
        derniere_synchronisation = DateTime.Now.Ticks;
    stream.Write(msg_envoye, 0, msg_envoye.Length);

    while ((nb_bytes_lus = stream.Read(msg_recu, 0, msg_recu.Length)) != 0)
    {
        if (nb_bytes_lus == 16)
        {
            ticks_client = BitConverter.ToInt64(msg_recu, 0);
            ticks_serveur = BitConverter.ToInt64(msg_recu, 8);
            delta = ticks_serveur - ticks_client;
            if (delta > -1e15 && delta < 1e15)
                deltas.Add(delta);
            break;
        }
    }
}

stream.Close();
client.Close();

decalage_moyen = deltas.Sum() / deltas.Count;
AddingLog?.Invoke(null, "Décalage moyen non corrigé : " + (decalage_moyen /
10).ToString() + " µs");
if (frm_Synchronisation.derniere_correction != new DateTime(0).Ticks &&
frm_Synchronisation.decalage_microsec_par_heure != 0)
{
    AddingLog?.Invoke(null, "Décalage moyen corrigé : " + ((decalage_moyen -
(derniere_synchronisation - frm_Synchronisation.derniere_correction) *
frm_Synchronisation.decalage_microsec_par_heure * 10 / (double)TICKS_PAR_HEURE) /
10).ToString() + " µs");
}
}
catch (ArgumentNullException e)
{
    AddingLog?.Invoke(null, "ArgumentNullException: " + e.Message);
}
catch (SocketException e)
{
    AddingLog?.Invoke(null, "SocketException: " + e.Message);
}
}
private static void CalculerDecalage(byte[] msg_recu)
{
    long local_tick_1 = BitConverter.ToInt64(msg_recu, 0);
    long distant_tick = BitConverter.ToInt64(msg_recu, 8);
    long local_tick_2 = BitConverter.ToInt64(msg_recu, 16);
    int i = 16;
    long local_tick_moyen;
    List<long> delta = new List<long>();

    while (true)
    {
        local_tick_moyen = (local_tick_2 + local_tick_1) / 2;
        delta.Add(distant_tick - local_tick_moyen);
        local_tick_1 = local_tick_2;
        if (msg_recu.Length <= i + 8)
            break;
        distant_tick = BitConverter.ToInt64(msg_recu, i += 8);
        local_tick_2 = BitConverter.ToInt64(msg_recu, i += 8);
    }
    delta = delta.Where(x => x > -1e15).Where(x => x < 1e15).ToList();
    decalage_moyen = delta.Sum() / delta.Count;
}
}

```

Figure 23 : code C# synchronisation des horloges

Enfin, pour améliorer l'ergonomie du logiciel et surtout le temps de traitement des données, il est intéressant de convertir l'horodatage aux conventions « UNIX » afin que le début de chaque acquisition débute à $t=0$ et soit affiché en millisecondes au lieu de microsecondes. Bien qu'un séquençage soit malgré tout nécessaire dans le traitement afin de synchroniser les données avec la vidéo, cette opération en amont permettra de ne pas opérer cette action manuellement sur chaque fichier. Cela contribue à gagner de temps et surtout à limiter le risque d'erreurs.

Voici le programme développé modifiant le système d'horodatage :

```
private static long realTicks(long original_ticks)
{
    if (decalage_microsec_par_heure == 0)
        return (long)Math.Round((original_ticks - debut_enregistrement +
decalage_fuseau_horaire) / (double)10000, 0);
    else
        return (long)Math.Round((Convert.ToInt64(original_ticks + (debut_enregistrement
- original_ticks) * decalage_microsec_par_heure * 10 / (double)TICKS_PAR_HEURE) -
debut_enregistrement + decalage_fuseau_horaire) / (double)10000, 0);
}
```

Figure 24 : code C# modification du système d'horodatage

4.2.2.4) Synchronisation de l'horodatage avec la capture vidéo

Dans notre approche, associer correctement les données mécaniques correspondant à une exécution technique est fondamental. L'ensemble des données ainsi synchronisées, il est désormais nécessaire de pouvoir les aligner avec des images vidéo.

Il s'agit également d'un problème de synchronisation. Le lancement de la capture vidéo ne pouvant être parfaitement simultané, à la milliseconde près, avec le lancement de la collecte des données, une solution technique doit être envisagée.

Il est pour cela nécessaire d'identifier un évènement spécifique dans la vidéo que nous pourrions facilement visualiser et isoler sur les signaux. À l'image du « *clap de début* » dans le cinéma, cet évènement doit constituer le temps initial « $t=0$ » pour la vidéo comme pour les données. En comparant les horodatages de la vidéo et des données, il sera alors possible d'extraire facilement les données relatives à un évènement intervenant à l'image, ou bien à l'inverse de retrouver les images correspondant à des données intéressantes sur les signaux.

Nous avons fait le choix de créer cet évènement en tout début de séquence. Il est demandé au sujet principal d'effectuer un saut vertical le plus haut possible avec une réception, pieds à plat, bras le long du corps, sans aucun amorti des jambes.



Figure 25 : illustration de saut vertical. Source : photos C. Terret.

Impact au sol

À l'impact au sol, l'accélération est censée atteindre un pic maximal pour l'ensemble des cinq brassards, pic facilement identifiable sur les signaux de données. Au regard du placement des appareils sur le corps du sujet, et de sa posture à l'impact, l'accélération est visualisable selon l'axe x pour les brassards des jambes et des bras. Concernant le brassard ceinture, l'accélération est visualisable en normant les données des trois axes. Il suffit ensuite de réaliser un découpage sur la vidéo en la faisant démarrer à l'impact, et de faire débiter l'horodatage des signaux aux pics correspondant à cet impact.

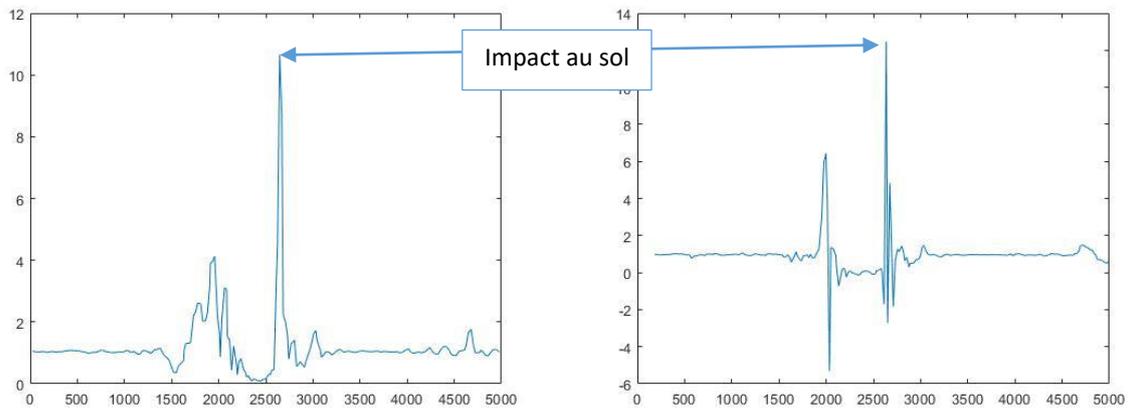


Figure 26 : graphes des accélérations d'un saut vertical d'un sujet (abscisse en ms ; ordonnée en g). À gauche : données ceinture, norme des composantes (x ; y ; z). À droite : jambe droite, axe (x). Source : images Matlab.

4.2.2.5) Simplification de la présentation des données

Enfin, une dernière modification à envisager concerne l'ergonomie du fichier de données. Pour rappel, par séquence, cinq fichiers distincts sont générés avec des données présentées sur colonne unique et séparées par des virgules. Si cette amélioration n'est pas fondamentale car cette contrainte ne fait pas obstacle à l'analyse et au traitement des données, elle a le mérite de faire un gagner un temps précieux en évitant des opérations manuelles lourdes et répétitives. Qui plus est, ces opérations auraient pu être sources d'erreurs.

Les lignes de code suivantes permettent donc de regrouper les cinq fichiers générés par ordinateur au sein d'un seul et unique composé de cinq onglets.

```
public static void Enregistrer()
{
    DateTime t = DateTime.Now;
    nom_de_fichier_excel = "Myo-" + t.Year.ToString() + t.Month.ToString("00") +
t.Day.ToString("00") + "-" + t.Hour.ToString("00") + t.Minute.ToString("00") +
t.Second.ToString("00") + ".xlsx";

    SpreadsheetDocument spreadsheetDocument =
SpreadsheetDocument.Create(nom_de_fichier_excel, SpreadsheetDocumentType.Workbook);

    WorkbookPart workbookpart = spreadsheetDocument.AddWorkbookPart();
    workbookpart.Workbook = new Workbook();

    Sheets sheets = spreadsheetDocument.WorkbookPart.Workbook.AppendChild<Sheets>(new
Sheets());

    WorksheetPart worksheetPart = workbookpart.AddNewPart<WorksheetPart>();
    Sheet sheet = new Sheet()
    {
        Id = spreadsheetDocument.WorkbookPart.GetIdOfPart(worksheetPart),
        SheetId = 1,
        Name = "Emg"
    };
    sheets.Append(sheet);
    [...]// Partie lignes EMG

    worksheetPart = workbookpart.AddNewPart<WorksheetPart>();
    sheet = new Sheet()
    {
        Id = spreadsheetDocument.WorkbookPart.GetIdOfPart(worksheetPart),
        SheetId = 2,
        Name = "Orientation"
    };
    sheets.Append(sheet);
    [...]// Partie lignes Orientation

    worksheetPart = workbookpart.AddNewPart<WorksheetPart>();
    sheet = new Sheet()
    {
        Id = spreadsheetDocument.WorkbookPart.GetIdOfPart(worksheetPart),
        SheetId = 3,
        Name = "Orientation Euler"
    };
};
```

```

sheets.Append(sheet);
[...]// Partie lignes Orientation Euler

worksheetPart = workbookpart.AddNewPart<WorksheetPart>();
sheet = new Sheet()
{
    Id = spreadsheetDocument.WorkbookPart.GetIdOfPart(worksheetPart),
    SheetId = 4,
    Name = "Acceleration"
};
sheets.Append(sheet);
[...]// Partie lignes Acceleration

worksheetPart = workbookpart.AddNewPart<WorksheetPart>();
sheet = new Sheet()
{
    Id = spreadsheetDocument.WorkbookPart.GetIdOfPart(worksheetPart),
    SheetId = 5,
    Name = "Gyroscope"
};
sheets.Append(sheet);
[...]// Partie lignes Gyroscope

workbookpart.Workbook.Save();

spreadsheetDocument.Close();
}

```

Figure 27 : code C# pour regroupement des fichiers

Ce traitement fournit deux fichiers par séquence de mesure, soit un fichier par ordinateur, regroupant chacun les données de trois appareils, réparties chacune en colonnes indépendantes.

4.2.2.6) Essais et validation

Suite à ce développement, des essais ont été effectués, directement sur tatami avec différents judokas afin de vérifier le fonctionnement, la fiabilité et l'ergonomie de l'outil.

La première action a consisté à vérifier le bon fonctionnement de la synchronisation des horloges des deux ordinateurs. Pour ce faire, un sujet est totalement équipé et une synchronisation entre les deux ordinateurs grâce au « *MyoCapture* » modifié est lancée. Puis une séquence d'enregistrement est initiée. Il est ensuite demandé au sujet d'effectuer un saut vertical le plus haut possible avec une réception, pieds à plat, sans aucun amorti des jambes. Les deux sujets réalisent ensuite un combat de 5 minutes durant lequel l'acquisition des données se poursuit. En fin de séquence, il est redemandé au sujet principal d'effectuer un saut de contrôle. Les deux fichiers sont ensuite générés et l'intervalle entre les pics du premier et second

saut comparés. L'opération a été répétée à trois reprises avec trois sujets distincts. Pour chacun des trois essais, aucune différence temporelle entre les deux fichiers n'a été constatée, confirmant ainsi le bon fonctionnement de la synchronisation des horloges.

Ensuite, au regard de la capture d'écran ci-après, nous pouvons constater que les autres modifications ont bien été intégrées dans les fichiers générés, améliorant ainsi considérablement l'ergonomie du dispositif, et diminuant le temps de traitement et le risque d'erreurs.

	A	B	C	D	E	F	G
1	TimeStamp	X	Y	Z	Id		
2	15	-0,5824901	0,7700195	-0,3007813	Bras gauche Emg		
3	19	-0,5498047	0,9199219	0,06689453	Ceinture		
4	24	1,029297	-0,05761719	0,00341797	Jambe gauche		
5	31	-0,6757813	0,8452148	-0,3598633	Bras gauche Emg		
6	40	0,9394531	0,01367188	-0,1103516	Jambe gauche		
7	42	-0,5268555	0,8530273	0,1147461	Ceinture		
8	57	-0,5429688	0,7954102	0,1455078	Ceinture		
9	60	-0,6367188	0,7270508	-0,2915039	Bras gauche Emg		
10	70	1,014648	0,02490234	-0,00439453	Jambe gauche		
11	75	-0,6547852	0,7402344	-0,2929688	Bras gauche Emg		
12	77	0,9663086	-0,07226563	-0,04248047	Jambe gauche		
13	79	-0,5463867	0,8061523	0,2006836	Ceinture		
14	98	-0,5761719	0,8149414	-0,3203125	Bras gauche Emg		
15	107	1,027344	-0,04101563	-0,01611328	Jambe gauche		
16	109	-0,6162109	0,7885742	0,1928711	Ceinture		
17	113	-0,5488281	0,8188477	-0,4101563	Bras gauche Emg		
18	115	0,9677734	-0,02636719	-0,05908203	Jambe gauche		
19	116	-0,6259766	0,7832031	0,1821289	Ceinture		
20	134	-0,5942383	0,7441406	-0,4135742	Bras gauche Emg		
21	136	0,9819336	-0,04736328	-0,01904297	Jambe gauche		
22	139	-0,5585938	0,7910156	0,1362305	Ceinture		
23	162	-0,4780273	0,7910156	0,1069336	Ceinture		

Figure 28 : fichier de données accélération. Source : capture d'écran personnelle.

4.2.3. Synthèse de l'outil

En somme, au travers de ces différentes solutions techniques apportées, nous avons souhaité passer de l'usage d'un appareil connecté capable de prélever des données, à un véritable outil de collecte de données complexes en situation écologique de combat.

L'appareil présentait déjà en lui-même certains avantages : composé d'une centrale inertielle et d'EMG de surface, robuste, léger, non invasif, non dangereux, capable de fonctionner en autonomie en télétransmettant les données. La fonction initiale permettait d'envisager des données relatives à la saisie, mais également de le placer sur les chevilles ou la ceinture afin d'envisager des mesures relatives aux déplacements et aux techniques de projection.

Toutefois il présentait certains inconvénients qui le rendaient, en l'état, non-fonctionnel. Nous avons donc développé des solutions techniques afin : de synchroniser les horloges des deux PC, de remplacer l'horodatage « UNIX » pour le remplacer par un $t=0$, de synchroniser l'horodatage avec la capture vidéo, d'identifier les brassards, de supprimer les données EMG pour les brassards des jambes et des ceintures, de fusionner les cinq fichiers générés en un seul et d'affecter des colonnes à chacune des catégories de données.

Ces modifications nous permettent de disposer d'un outil totalement fonctionnel capable de prélever des données complexes en situation écologique dont le fonctionnement est synthétisé par le schéma suivant.

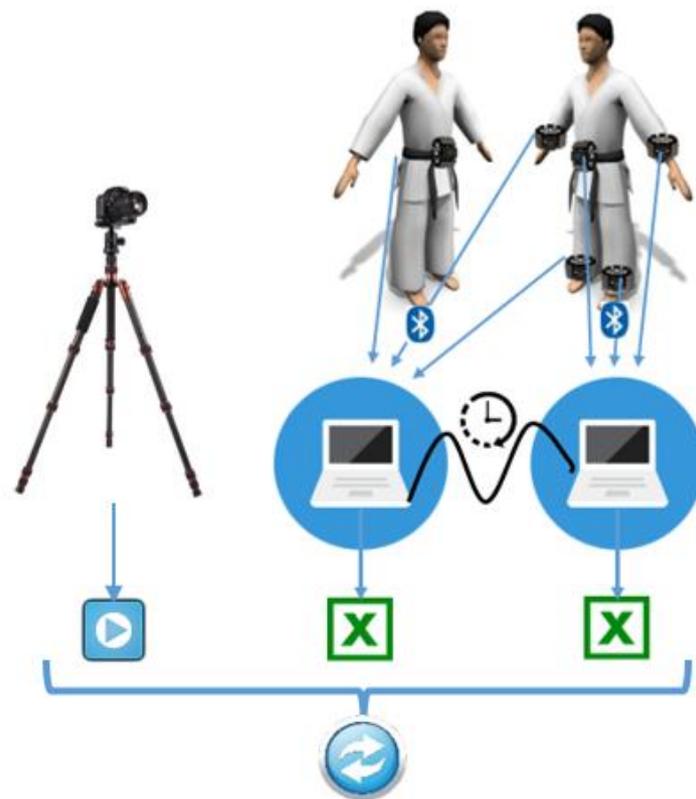


Figure 29 : schématisation de l'outil de prélèvement de données. Source : conceptions personnelles, images libres de droits.

4.3) Constitution des groupes de sujets

4.3.1) Trois groupes de niveau

4.3.1.1) En référence au curriculum conatif

Un de nos quatre objectifs de recherche est d'analyser la dynamique de progression des habiletés techniques. Pour cela il est donc nécessaire de constituer des groupes de sujets de niveaux distincts, échelonnés dans un ordre croissant de maîtrise des techniques étudiées.

L'étude d'une dynamique ne peut se limiter à la comparaison de seulement deux groupes. Dans ce cas, nous serions strictement dans une analyse de passage d'une étape à une autre sans pouvoir en mesurer les phases de progression. La prise en compte de la dynamique de progression suppose donc à minima un troisième groupe dans un niveau intercalé entre ces deux étapes. Il est bien entendu possible d'étudier la dynamique à l'aide de quatre, cinq groupes, ou plus mais cela alourdit de manière conséquente le dispositif, et surtout, cela nécessiterait d'être en mesure de constituer les groupes sur des critères suffisamment fins et précis.

Au regard de ces éléments, nous avons fait le choix de constituer trois groupes distincts, pour des raisons de faisabilité et de contraintes temporelles, mais surtout car dans le cadre que nous nous sommes fixé, il nous était difficile de constituer davantage de groupes avec des critères et une finesse suffisante pour l'analyse.

Pour rappel, nous souhaitons analyser la dynamique de progression d'une habileté technique d'une technique sportive déjà acquise. Nous ne souhaitons en aucun cas étudier les processus d'apprentissage des techniques. Le principe sous-jacent se base sur le fait qu'une technique, souvent représentée et décrite dans sa forme idéale ou experte, est considérée comme acquise à partir du moment où elle répond à sa fonction. Cela n'empêche pas pour autant un sujet ayant acquis la technique de continuer à progresser en améliorant son niveau d'habileté afin que la technique soit plus efficace puis plus efficiente, ce qui la rend généralement plus esthétique.

Précédemment, nous nous sommes appuyés sur le curriculum conatif de Bui-Xûan pour analyser différents niveaux de pratique. Ce modèle propose différents des niveaux d'expertise, au regard des cinq étapes et en fonction des trois composantes : structurelle, fonctionnelle et technique. À compter de la quatrième étape, structure, fonction et technique sont assimilées et opérationnalisées dans un contexte d'opposition. Le sujet est alors globalement mobilisé et se

pose les questions : « *Comment font ceux qui réussissent mieux que moi ? Comment être plus efficient ?* ». C'est donc à partir de cette étape que les catégories techniques que nous souhaitons analyser sont totalement intégrées et maîtrisées au sein d'un système d'opposition. L'étape suivante et ultime est celle de l'« *expertise* » dans laquelle le sujet cherche à innover, à individualiser et personifier ses actions.

Bui-Xuân, afin d'illustrer ses propres travaux, a proposé une description de ses cinq étapes appliquée au judo (Bui-Xuân 1990 cité par Calmet 2002). Les deux dernières étapes y sont décrites comme suit :

Niveaux de conduite	Compétences / tâches	Fonctions de gestion / Exploration de principes	Capacités fonctionnelles	Capacités structurales
4	<i>Enchaîner dans une complexification contextuelle</i>	<i>Ajustement technico-fonctionnel. Repousser ou attirer selon les fluctuations de la domination</i>	<i>Rayonnement technique autour des spéciaux. Techniques de contres</i>	<i>Dissociation segmentaire, rythme, coordination en déplacements, latéralisation</i>
5	<i>Vers l'action-réaction</i>	<i>Dépasser la technique (stratégie)</i>	<i>Spéciaux intégrés, feintes</i>	<i>Perception, création d'indices, sensations affinées</i>

Tableau 6 : étapes 4 et 5 du curriculum conatif appliqué au judo. Source : Bui-Xuân 1990 cité par Calmet 2002.

Nous appuyant sur ce modèle comme base théorique, il est donc nécessaire de définir la constitution des groupes en référence à celui-ci. C'est notamment ici que l'expertise dans l'activité, nécessaire dans une approche technologique, est indispensable afin de proposer des choix cohérents.

4.3.1.2) Groupe 3 : étape experte

Tout d'abord, si on s'intéresse à l'étape de l'expertise, nous pourrions raisonner en disant que seuls les médaillés voire champions du monde ou olympiques peuvent définir ce groupe. Toutefois, leur nombre est insuffisant et surtout ils ne nous sont pas directement accessibles. Notre raisonnement nous a alors amené vers une question : « *quel est le niveau des meilleurs judokas que nous pouvons avoir à notre disposition sur notre site de recherche²⁰⁸ et en nombre suffisant ?* » Travaillant professionnellement avec le Pôle France de Bordeaux, structure de haut niveau s'adressant aux juniors, nous avons alors recensé les judokas qui s'y entraînent, ainsi que tous les judokas séniors gravitant autour de la structure. Nous pouvions

²⁰⁸ C'est-à-dire la région bordelaise.

ainsi solliciter des médaillés nationaux et internationaux dans les catégories jeunes²⁰⁹, mais ceux-ci étaient au final en nombre insuffisant. Nous en sommes arrivés à la conclusion que nous serions en mesure de sélectionner un nombre suffisant de sujets, à minima titulaires du grade de 1^o dan²¹⁰, mais surtout étant ou ayant été jusqu'à l'année précédente « 1^o division sénior » dans leur catégorie de poids. Ce critère nous paraît suffisant pour définir l'expertise puisque ce statut concerne environ les trente meilleurs Français de chaque catégorie de poids. Ce critère permet d'inclure à la fois des juniors et des séniors puisque le système permet de surclasser les plus jeunes dans la catégorie supérieure s'ils en ont le niveau. Par exemple, un judoka du Pôle France en catégorie junior peut à la fois concourir dans le championnat junior et être classé athlète de 1^o division sénior s'il parvient également à se qualifier dans cette catégorie.

4.3.1.3) Groupe 1 : étape contextuelle

Concernant le niveau inférieur, c'est-à-dire l'étape contextuelle, nous avons comparé les indicateurs de niveau fédéraux avec les caractéristiques du niveau en judo définis par Bui-Xuân. Nous pouvons retrouver de grandes similitudes avec le programme de la ceinture bleue et notamment :

- « *je fais chuter uke en me déplaçant sur tout le tatami* » ;
- « *je sais bloquer et contre-attaquer après un blocage* » ;
- « *uchi-komi* » et « *nage-komi* » ;
- « *amélioration des techniques tokui-waza*²¹¹ » ;
- « *je me lance des défis : compétition* ».

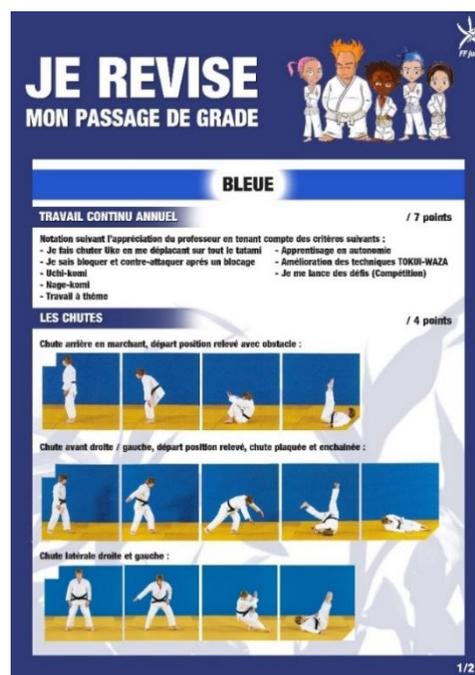


Figure 30 : programme grade ceinture bleue.
Source : France Judo.

²⁰⁹ Cadets et juniors.

²¹⁰ Premier niveau de la ceinture noire.

²¹¹ Technique spéciale.

Aussi, les judokas ayant le grade de ceinture bleue, c'est-à-dire âgés de 13-14 ans et de catégorie minimale correspondent à l'étape contextuelle.

4.3.1.4) Groupe 2 : étape intermédiaire

Ayant défini les critères des niveaux extrêmes, il reste à définir un niveau intermédiaire. Un groupe étant défini en référence à son niveau de compétition, et le second en référence à son grade, il nous est apparu nécessaire de prendre en compte ces deux paramètres. Il s'agit donc de définir un groupe ayant un grade supérieur au groupe de l'étape contextuelle, mais ayant un niveau de compétition inférieur au groupe d'expert. Aussi, en conséquence, nous retenons les caractéristiques suivantes : judokas d'un niveau *1^o dan*, de catégorie d'âge cadet, junior ou sénior, et ayant, ou ayant eu, un niveau de compétition départemental ou régional au maximum.

4.3.2) Caractéristiques générales des sujets

Les caractéristiques propres à chaque groupe ont pour but de permettre les comparaisons que nous avons visées dans nos objectifs de recherche. Afin de faciliter ces comparaisons, il est important de fixer certains paramètres communs à l'ensemble des groupes. Ces derniers ne pourront pas être des éléments sujets à interprétations. En ce sens, deux caractéristiques auxquelles doivent répondre tous les sujets nous paraissent essentielles.

4.3.2.1) Des compétiteurs

Tout d'abord, tous doivent obligatoirement être compétiteurs. Notre introduction a permis de définir deux conceptions de la pratique : une première sportive et une seconde plus traditionnelle. Notre modélisation de l'activité s'est basée sur la première. Afin d'assurer une certaine qualité des mesures, notamment au regard de l'approche écologique défendue, il est donc important que les sujets s'inscrivent dans cette conception sportive afin que leur motricité et surtout leurs actions dans les phases d'opposition soit cohérente avec notre approche. Nous ne faisons pas pour autant l'hypothèse que nos résultats seraient différents avec des pratiquants

ne faisant pas de compétition, mais nous préférons homogénéiser ce paramètre afin d'éviter tout biais lié à celui-ci.

4.3.2.2) De sexe masculin

La seconde caractéristique commune à tous nos sujets est le sexe masculin. Plusieurs études ont démontré des différences de motricité chez des compétiteurs de judo en fonction du genre. Il a par exemple été montré chez des athlètes olympiques que les femmes ont une plus grande fréquence et diversité d'attaques debout par rapport à leurs homologues hommes, et inversement que les hommes ont une plus grande diversité de techniques de « *kumi-kata* » (Dal Bello et al. 2019). De même, chez des internationaux, les femmes utiliseraient des techniques de bras et de jambes plus variées par rapport aux hommes ainsi qu'un plus grand nombre de techniques au sol (Miarka et al. 2017). Enfin, une étude sur des judokas de niveau national, s'appuyant sur un indice d'efficacité offensive, n'a montré aucune différence significative au niveau de l'efficacité technique entre les hommes et les femmes, mais démontre toutefois qu'en fonction du sexe, le type de technique utilisé a un effet sur cet indice : les hommes sont plus efficaces avec les techniques de projection « *tani-otoshi* » et « *uchi-mata* », alors que les femmes sont plus efficaces avec « *o-soto-gari* » et « *o-uchi-gari* » (Drljević et al. 2020). En conséquence, afin d'éviter tout biais de genre, nous avons fait le choix de centrer notre étude exclusivement sur des sujets masculins.

4.3.3) Choix de la technique étudiée

4.3.3.1) Les formes de « *seoi-nage* »

Souhaitant aborder la technique en judo par sa complexité, nous avons modélisé l'activité selon trois composantes : les saisies, les postures et déplacements, et les techniques de projection. Cette dernière est très vaste puisqu'il existe un nombre considérable de techniques de projection recensées, chacune ayant des variantes. Bien qu'il soit possible de les regrouper sous différentes familles, leurs principes d'exécution sont tous différents. Aussi, afin d'être en mesure d'analyser plus précisément les données recueillies, et notamment dans une optique de comparaison, il nous paraît préférable et cohérent de nous centrer sur l'étude d'une technique ou forme technique en particulier.

C'est avec cette logique que nous avons choisi de nous centrer sur l'étude des techniques de projection de type « *seoi-nage* ». Cette forme technique est une sous-catégorie des techniques de mains appelées « *te-waza* »²¹² (Cadot 2006). « *Seoi* » correspond au dos et « *nage* » à la projection, « *seoi-nage* » signifie « *projection en chargeant sur le dos* » (Habersetzer et al. 2000).

La technique la plus connue de cette forme est « *ippon-seoi-nage* », qui signifie « *projection par-dessus l'épaule* ». L'ancien champion Demontfaucon la décrit ainsi sous sa forme « *idéale* » dans son ouvrage :

- « *Tori, en déplaçant son pied droit en avant du pied droit d'Uke, écarte les bras en tirant vers le haut et vers l'avant.* »
- « *Tori pivote et lâche le revers. Tori vient placer son coude droit dans l'aisselle droite d'Uke.* »
- « *Lors de la rotation, Tori fléchit les jambes abaissant ainsi son centre de gravité sous celui de son partenaire. La poitrine d'Uke est en contact avec les épaules de Tori.* »
- « *Le bras droit de Tori exerce une pression vers le haut, sous l'aisselle d'Uke tandis que le bras gauche tire la manche vers le bas. Les appuis sont parallèles, écartés de la largeur des épaules.* »
- « *Tori fait basculer Uke par-dessus son épaule, en poussant sur ses jambes et en exerçant une rotation de la tête et du tronc vers la gauche.* » (Demontfaucon et Weiss 2011)

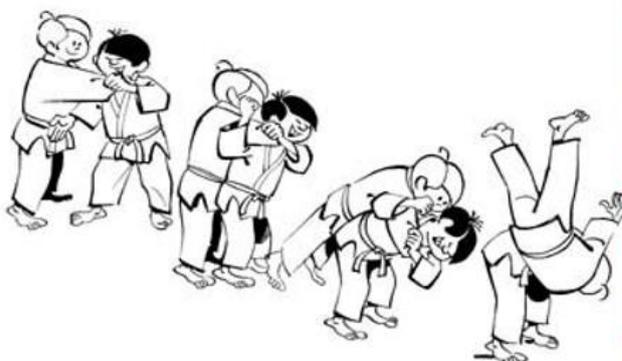


Figure 31 : à gauche : schématisation ippon-seoi-nage, source : méthode française de judo, FFJDA. A droite : Toshihiko Koga réalisant ippon-seoi-nage, source : David Finch, JudoPhotos.com

²¹² Qualifiées également dans certains ouvrages de techniques de bras ou d'épaules.



Figure 32 : kinogramme ippon-seoi-nage. Source : photos et montage personnel.

D'autres techniques de projection existent dans la même catégorie des « *seoi-nage* ». Deux formes très proches de « *ippon-seoi-nage* » diffèrent principalement par le placement des mains sur le « *judogi* » adverse. Il s'agit de « *morote-seoi-nage* » qui signifie « *projection d'épaule à deux mains* » et d'« *eri-seoi-nage* » : « *projection d'épaule avec saisie au revers* » (Inogai et al. 2002). La première se réalise en conservant la saisie au revers et en venant positionner le coude sous l'aisselle de « *uke* », et la seconde à l'identique mais avec une saisie manche/revers homolatérale. Ces mêmes techniques peuvent aussi être exécutées avec la variante « *otoshi* », c'est-à-dire avec une jambe en barrage.

L'ensemble des techniques listées ainsi que toutes les variantes possibles sont prises en compte. L'expertise, au sens du curriculum conatif, étant caractérisée par la capacité du sujet à innover, à individualiser et personnaliser ses actions, il est important de pouvoir intégrer dans l'étude toute forme, se basant sur les principes fondamentaux des « *seoi-nage* », mais ayant été adaptée par les sujets. En effet, « *la projection au-dessus de l'épaule, "seoi-nage", est à la fois un ensemble d'éléments invariables sans lesquels il n'y a pas de projection d'épaule, [...] elle est aussi une libre création faite par les grands champions, qui n'hésitent pas à construire leurs propres variations en rompant les barrières théoriques et les classifications.* » (Charlot 2017). L'exclusion ou l'inclusion de ces variantes dans nos mesures sera effectuée par nos soins en nous appuyant sur notre expertise dans l'activité.

4.3.3.2) Intérêts des formes de « *seoi-nage* »

Il était nécessaire de cibler une forme technique parmi une multitude existante. Le choix des formes de « *seoi-nage* » s'explique par plusieurs raisons. Tout d'abord, il s'agit de notre technique spéciale personnelle. Aussi, non seulement nous avons donc plus d'appétence à étudier cette forme, mais surtout il s'agit de la forme technique que logiquement nous

maîtrisons le mieux. Au regard de la place de l'expertise dans l'approche technologique, il nous paraissait donc important de choisir une forme que nous maîtrisons plus qu'une autre.

En outre, sans avoir fait d'analyse quantitative précise²¹³, elle nous paraît être la forme la plus abordée et étudiée dans la littérature scientifique ; ces publications peuvent nous servir de point d'ancrage et d'appui théorique.

Enfin, la littérature a démontré à plusieurs reprises que cette forme technique est une des plus utilisées en compétition, si ce n'est la plus utilisée (Kuźmicki et al. 2016 ; Martins et al. 2019 ; Sterkowicz et al. 2013 ; Wang 2021). Les ouvrages fédéraux et professionnels confirment cet élément en précisant que c'est une technique adaptée à de nombreux profils de judokas. En témoignent les mots de l'ouvrage fédéral de 1950 qui caractérise le mouvement de « *très populaire* » pouvant être « *utilisé par différents types de judokas* ». Sont ainsi caractérisés, avec des mots « *d'époque* » les profils de judokas pouvant facilement exploiter ces formes techniques lors de combats :

- « *les 'petits' qui le réussissent sur des adversaires bien plus grands et puissants qu'eux grâce à leur rapidité d'entrée* » ;
- « *les 'moyens' qui peuvent allier dans l'exécution de ce mouvement une bonne rapidité et une certaine puissance* » ;
- « *les 'gros' qui lorsqu'ils ont un bon déplacement deviennent très efficaces avec cette technique avec laquelle ils peuvent extérioriser leur puissance* »
- « *seuls les 'grands' sont défavorisés pour l'exécution de ce mouvement* » (Fédération française de judo 1950).

Puisque les « *seoi-nage* » sont des formes parmi les plus fréquentes chez les compétiteurs, cela facilite ainsi la recherche de sujets répondant aux critères.

4.3.3.3) « *Tokui-waza* » ou « *technique spéciale* »

Le choix de la forme technique effectué, deux modes d'entrée étaient alors possibles dans la sélection de nos sujets. Soit les sujets étaient simplement choisis en référence aux critères précédemment définis et nous isolions alors les « *seoi-nage* » lorsque ceux-ci étaient effectués au fil des combats, soit nous sélectionnions exclusivement des sujets spécialistes de

²¹³ Sur EBSOhost®, une recherche de « *seoi-nage* » offre 22 occurrences sur des publications scientifiques ; alors que « *uchi-mata* », « *harai-goshi* » et « *o-soto-gari* » en ont respectivement 20, 10 et 4.

cette forme de mouvement. La première solution facilite le choix des sujets, mais a le grand inconvénient d'engendrer un risque quant à la production des formes techniques recherchées en phase de combat. De plus, il y aurait alors un risque d'obtenir dans les résultats une vraie hétérogénéité entre, pour un même groupe, un mouvement produit par un spécialiste et le même exécuté par un non-spécialiste. Il s'agirait là d'un vrai risque de biais.

Nous venons de montrer que ces formes techniques sont courantes chez les judokas. Aussi, il nous est apparu totalement réalisable de sélectionner uniquement des sujets spécialistes de cette forme technique. Au-delà de sa faisabilité, ce choix nous apparaît nécessaire et cohérent afin d'homogénéiser dans une moindre mesure les sujets au sein des groupes. C'est également cohérent au regard des caractéristiques de chacun des groupes, puisque l'utilisation et l'exploitation d'un « *tokui-waza* » est un acquis technique à compter de la ceinture bleue et donc pour notre groupe à l'étape contextuelle.

En conséquence, seuls les judokas, répondant aux critères déjà énoncés, et dont le « *tokui-waza* » est une forme de « *seoi-nage* » peuvent être sélectionnés en tant que sujets de notre étude.

4.3.4) Taille des groupes

Les critères propres à chaque sujet et à chaque groupe rendent la recherche de judokas y répondant longue et complexe. La quantité de sujets qui correspond à ces critères n'est pas illimitée sur la région bordelaise et nous serons donc contraints dans la taille de groupes. De plus, le protocole proposé ne permet de collecter des données que pour un seul et unique sujet par séance, et celles-ci supposent un traitement très lourd, *a posteriori*, conséquence de la démarche « *bottom-up* ».

Aussi, il est fait le choix de constituer des groupes d'une taille de 10 sujets chacun, soit 30 sujets au total. Ce nombre nous apparaît comme un bon compromis entre les contraintes liées à leur sélection et au traitement des données, et la contrainte statistique nécessaire à la visualisation de résultats significatifs. En outre, les études qui exploitent des données biomécaniques dépassent rarement ce nombre, et ont même souvent des tailles inférieures.

Les critères de constitution des groupes, le type de données recueillies ainsi que la taille des groupes supposera une analyse par comparaison de groupes deux à deux. En conséquence, le test *t* de *Student* sera privilégié.

Afin d'estimer la puissance de nos futurs tests, nous avons utilisé le logiciel libre G*Power® (Faul et al. 2009, 2007). Nous avons ainsi configuré des groupes de taille $n=10$, et nous espérons un « *effect size* » de l'ordre de 1, c'est-à-dire fort. En effet, nos critères de constitution des groupes, très homogènes, nous permettent d'espérer des écarts-types de l'ordre de l'écart des moyennes. La probabilité de voir un résultat significatif avec un *p-value* inférieure à 5% est alors légèrement supérieure à 55%.

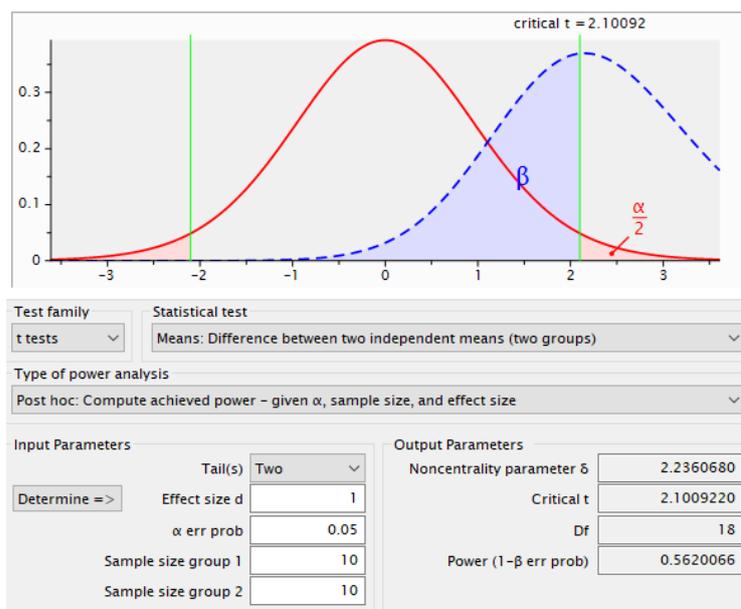


Figure 33 : calcul de puissance, bilatéral, $n=10$, $p\text{-value}=5\%$, *effect size*=1. Source : capture d'écran G*Power®

Ce calcul de puissance est effectué avec un paramétrage bilatéral, signifiant que la comparaison des groupes est réalisée dans les deux directions. Ce paramétrage postule donc que les groupes 1 et 2, pourraient obtenir de meilleurs résultats que le groupe 3 expert. Or, les critères de constitution des groupes envisagés par niveaux sportif et technique suggèrent fortement que l'analyse pourrait être unilatérale.

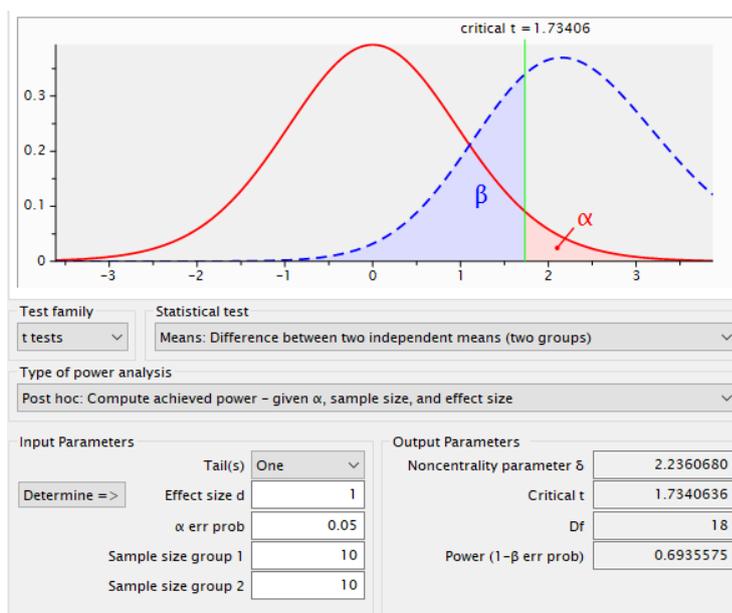


Figure 34 : calcul de puissance, unilatéral, $n=10$, $p\text{-value}=5\%$, *effect size*=1. Source : capture d'écran G*Power®

Aussi, en paramétrant des groupes de taille $n=10$, un « *effect size* » de l'ordre de 1, et une analyse unilatérale, la probabilité de voir un résultat significatif avec un *p-value* inférieure à 5% est monte alors à près de 70%.

Cette puissance estimée inférieure à des études traditionnelles constitue un des risques que prend le chercheur en s'engageant dans une approche technologique. Les contraintes liées

à la constitution des groupes sont la conséquence de l'intégration dans l'écologie de l'activité,

et il est alors important d'accepter des tailles de groupe inférieures au laboratoire associées à des puissances réduites.

4.3.5) Synthèse et sélection des sujets

4.3.5.1) Synthèse des critères

Le tableau présenté ci-après synthétise l'ensemble des critères retenus pour constituer les trois groupes :

Groupe	Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3
Étape curriculum conatif	<i>Étape contextuelle</i>	<i>Étape « intermédiaire »</i>	<i>Étape expertise</i>
Nombre sujets	10	10	10
Sexe	<i>Masculin</i>	<i>Masculin</i>	<i>Masculin</i>
Compétition	<i>Compétiteur</i>	<i>Niveau départemental ou régional</i>	<i>1° division sénior (année N ou N-1)</i>
Grade	<i>Bleue</i>	<i>1° dan</i>	<i>1° dan et plus</i>
Catégorie d'âge	<i>Minime (13-14 ans)</i>	<i>Cadet, junior, sénior</i>	<i>Junior, sénior</i>
Technique spéciale	<i>Forme « seoi-nage »</i>	<i>Forme « seoi-nage »</i>	<i>Forme « seoi-nage »</i>

Tableau 7 : critères de constitution des groupes

4.3.5.2) Méthode de sélection des sujets

Les trente sujets nécessaires à l'étude ont été choisis en premier lieu sur la base de tous ces critères. Tous ont été sélectionnés dans des structures du bassin bordelais au sein de quatre clubs²¹⁴ ainsi que des Pôles France et Universitaire.

En outre, tous les sujets sélectionnés étaient volontaires pour participer à l'étude. En conformité avec la RGPD²¹⁵, un consentement a été signé par chacun. Pour les mineurs de

²¹⁴ ASPOM Bordeaux ; ASSM Saint-Médard-en-Jalles ; JCFL Gradignan ; Dojo Béglais.

²¹⁵ Règlement général sur la protection des données.

moins de 15 ans, le consentement a également été co-signé par un titulaire de l'autorité parentale. Comme l'exige la RGPD, l'acte de consentement était :

- libre : c'est-à-dire que le consentement n'était pas contraint ;
- spécifique : le consentement est à destination exclusive du travail doctoral ainsi que des publications ultérieures qui pourraient en découler ;
- éclairé : le protocole et la finalité des mesures étaient clairement explicités ;
- univoque : validé par la signature d'un formulaire détaillant clairement la démarche, sa finalité et le protocole.

Notre expertise et notre ancrage dans le monde fédéral ont été utiles à deux niveaux. En premier lieu, cela favorise grandement l'accès aux différentes structures sans aucun frein particulier. Toutes celles sollicitées m'ont accueilli sans aucune contrainte et avec bienveillance. En ayant accès aux tatamis, cela permet ainsi de pouvoir observer et discuter avec différents judokas et de faciliter la sélection directement sur site. En second lieu, le regard expert permet de rapidement visualiser les profils répondants aux critères et ainsi de gagner un temps précieux. En parlant un langage commun avec les sujets, cela permet en outre des rapports facilités, notamment pour expliciter notre démarche.

La sélection des sujets ne s'est pas faite en amont, mais durant une année au fil de l'eau, au fur et à mesure de nos visites et déplacements dans les structures. Lorsque le sujet était identifié, s'il était d'accord, nous procédions directement aux mesures sur place et le jour même. Il est parfois arrivé, notamment au sein du groupe d'experts, que certains sujets acceptent les mesures, mais sur une séance différée afin que la séquence n'interfère pas avec leur entraînement.

Le tableau présentant l'ensemble des caractéristiques des sujets ainsi que les dates et lieux de mesure est présenté page 184.

4.3.5.3) Méthode de sélection des « uke »

Afin que les sujets principaux puissent valablement produire un judo d'un niveau technique leur correspondant, il est absolument indispensable que l'opposition qui leur est proposée soit adaptée. Le choix du « uke » est en ce sens stratégique puisqu'un défenseur d'un

niveau trop faible ou trop fort biaiserait totalement la mesure. Aussi, les caractéristiques des « *uke* » doivent être sensiblement similaires à celles des sujets. Les niveaux doivent donc être équivalents et le poids des deux combattants proches. La seule exception réside dans le « *tokui-waza* » du « *uke* », ce dernier n'ayant nul besoin d'être spécialiste d'une forme de « *seoi-nage* ».

Ici encore, il est nécessaire pour le chercheur de faire appel à son regard d'expert afin d'anticiper des choix de « *uke* » cohérents, et d'éventuellement écarter une séquence, *a posteriori*, dans l'hypothèse d'une opposition trop déséquilibrée.

4.3.5.4) Limite : des âges distincts

Les critères proposés pour la constitution des groupes entraînent automatiquement une limite qu'il est, à minima, nécessaire d'exposer et de formaliser. Le découpage aura pour conséquence de créer des groupes de moyennes d'âge significativement différentes. En effet, eu égard aux critères définis, les contraintes pour trouver les sujets correspondants sont telles que l'ajout d'un critère âge rendrait la recherche des sujets très complexe voire impossible.

Le groupe 3 étant constitué de judokas étant, ou ayant été, en 1^o division sénior, l'âge plancher pour ce dernier est nécessairement de 17 ans. La première division sénior est seulement accessible à partir de la catégorie junior, donc seuls des judokas âgés de 17 ans ou plus peuvent intégrer ce groupe. Il aurait donc fallu trouver des sujets pour les groupes 1 et 2 avec les mêmes critères d'âge. Si cela aurait été éventuellement envisageable pour le groupe 2, cette contrainte appliquée au groupe 1 aurait nécessité de trouver des sujets âgés de 17 ans ou plus, ceinture bleue et possédant l'ensemble des critères définis : masculins, compétiteurs et spécialistes de « *seoi-nage* ». Or, ce grade à cet âge est rare, ce sont souvent des judokas ayant commencé tardivement la pratique, et qui font donc rarement de la compétition. La recherche, sans être certaine d'aboutir, aurait dû s'effectuer sur un secteur très élargi.

Aussi, ne pouvant pas éviter ces différences qui peuvent, éventuellement, être source de biais, il faudra à minima discuter cet élément comme une limite au moment de la discussion sur nos résultats.

4.4) Protocole de recueil de données

4.4.1) Cadre de pratique

4.4.1.1) Respect de la logique interne

En toute cohérence avec notre démarche, le cadre de pratique dans lequel s'opèrent les mesures respecte un cahier des charges afin de s'inscrire pleinement dans la logique interne de l'activité et dans une approche écologique. Ce dernier a été présenté en conclusion de notre partie introductive. Son opérationnalisation dans le cadre des mesures est synthétisée dans le tableau suivant, et concerne à la fois le sujet « *tori* » et le « *uke* ».

Tenue	<i>« Judogi » complet et ceinture.</i>
Système d'action motrice	<i>Toutes techniques debout autorisées par le règlement de compétition.</i>
Score	<i>Recherche du « Ippon » ou du « waza-ari ». Le « Ippon » n'arrête pas le « randori ».</i>
Règlement	<i>Fautes interdites par le règlement fédéral. Autorégulées si mineures ; régulées par le chercheur si majeures. Pas d'arbitrage.</i>
Zone de combat	<i>Tatami. Espace alloué par la structure durant l'entraînement. Zone délimitée : en moyenne entre 6m X 6m et 8m X 8m.</i>
Temps	<i>Temps d'opposition entre 4 et 6 minutes en fonction des possibilités offertes par la structure. Régulation du temps par le chercheur.</i>

Tableau 8 : cahier des charges pour respect de la logique interne

4.4.1.2) Utilisation du « *randori* »

En introduction, nous avons pu préciser et définir les deux types d'opposition existant en judo : le « *shiai* » qui est un combat de compétition, et le « *randori* » un combat

d'entraînement. Tous deux répondent aux critères du cadre de pratique écologique précédemment énoncé.

Si le « *shiai* » présente des avantages pour notre étude, il pose malheureusement de nombreuses contraintes. Nous souhaitons analyser la technique en judo chez des sujets ayant une conception sportive, la mesurer dans un contexte de compétition aurait été idéal. Mais, les contraintes générées auraient été trop importantes et n'auraient pas permis de mettre en place notre protocole. Il aurait été nécessaire d'accomplir de nombreuses formalités administratives, avec de faibles chances d'issue positive, afin d'obtenir l'autorisation d'équiper des sujets en compétitions. De plus, le recrutement de sujets acceptant d'être mesurés et équipés dans le cadre d'une compétition officielle aurait été complexe car beaucoup auraient été réticents par rapport au caractère intrusif de la démarche et auraient eu peur d'être perturbés durant le déroulé de leur compétition.

Le « *randori* » répond également à tous nos critères. De par sa souplesse, il offre beaucoup plus de possibilités et est bien plus adapté aux contraintes de l'étude. Forme de travail habituelle dans le cadre de l'entraînement, il a l'avantage d'être adaptable dans sa préparation et dans son déroulé. Il permet de délivrer toutes les consignes nécessaires aux sujets en amont, ou même si nécessaire, pendant les mesures. C'est donc ce dernier que nous avons sélectionné dans le cadre de notre étude.

Toutefois, même en situation de « *randori* », la référence au « *Ippon* » et au « *waza-ari* » reste indispensable. Selon l'approche conative développée par Bui-Xuân, le judo est en effet une activité à « *score* », caractéristique première de ce qui pousse le pratiquant à agir. Conserver la notion de score dans ce contexte est un des éléments permettant de s'assurer que les mesures ont lieu dans un cadre écologique et en respectant la logique interne de l'activité.

Concernant l'analyse des techniques de projection, le score permet en outre de vérifier que la technique est fonctionnelle. C'est ce critère de score qui permettra de sélectionner les techniques retenues et analysées dans le cadre de l'étude.

4.4.1.3) Utilisation des « *geiko* »

Les « *geiko* » sont « *des situations qui mènent vers le randori* » (Cadot 2015). Il s'agit donc de situations d'entraînement aussi qualifiées d'exercices traditionnels. Parmi eux, on retrouve l'« *uchi-komi* » et le « *nage-komi* » précédemment abordés car fréquemment exploités

dans les différentes études. Le premier peut être défini comme un « *exercice de répétition des phases de préparation et de déséquilibre, de placement et de remplacement du corps sur un partenaire statique et en déplacement* », et le second comme un « *exercice de répétition de gestes techniques qui prolonge l'uchi-komi jusqu'à la projection contrôlée de uke* » (Fédération française de judo 2013).

Si ces exercices sont éloignés du contexte écologique, nous avons malgré tout choisi de les intégrer dans notre protocole. Placés en amont du « *randori* », ils présentent plusieurs avantages à la condition que l'on demande au sujet de les réaliser avec son « *tokui-waza* ».

Tout d'abord, ils permettent de vérifier que le sujet est réellement spécialiste d'une forme de « *seoi-nage* ». Les sujets se seront en amont déclarés spécialistes, et nous aurons pu les observer brièvement durant leur entraînement. Pour un œil expert, ces exercices permettent très rapidement d'observer la forme corporelle générale, l'efficacité du geste et l'aisance dans son exécution. Réalisés en amont du *randori*, ils permettent donc d'écarter un sujet qui ne répondrait pas aux exigences techniques relatives à son groupe.

Leur second avantage est qu'ils permettent de vérifier avant la phase d'opposition la bonne synchronisation des ordinateurs et le bon fonctionnement des appareils. La visualisation de la connexion et de la synchronisation via les logiciels « *MyoCapture* » et « *Myo Armband Manager* » permet de valider le bon appareillage des brassards. Ils permettent donc d'éviter d'initier un « *randori* » inutilement dans l'hypothèse où les mesures ne fonctionneraient pas.

Enfin, ils présentent un intérêt pour la poursuite de travaux ultérieurs à notre thèse. Nous avons pu constater que nombre d'études biomécaniques exploitent aussi ces exercices pour réaliser leurs mesures. Aussi, nous voulions profiter de notre protocole et de ces séquences de mesures afin d'obtenir un maximum de données exploitables et pouvant donner lieu à publication. Ici, ces données peuvent par exemple permettre d'émettre des comparaisons avec des études utilisant les mêmes catégories d'exercices et les mêmes formes techniques. Plus intéressant encore, il sera aussi envisageable de comparer les « *seoi-nage* » exécutés en coopération puis exécutés par les mêmes sujets en opposition.

Aussi, il est fait le choix de demander aux sujets en amont du « *randori* » l'exécution de quinze mouvements à partir de leur forme personnelle de « *seoi-nage* » :

- dix « *uchi-komi* » ;
- suivis de cinq « *nage-komi* ».

4.4.2) Protocole

4.4.2.1) Matériel

Voici la liste exhaustive et détaillée du matériel utilisé dans le cadre du protocole de mesure :

- deux PC portables : Dell® *Latitude 5280*, Hewlett-Packard® *EliteBook 820* ;
- un câble *RJ45*, classe F, catégorie 7 ;
- six brassards « *Myo Armband* » de Thalmic Labs® ainsi qu'un brassard de secours ;
- bandes adhésives élastiques d'Elastoplast®, modèle *Sport*, taille 6cm x 2,5m et ciseaux de découpe ;
- un mètre ruban de couture ;
- une serviette, des lingettes et de l'alcool à 90° ;
- une tablette numérique Samsung® *SM-T580* avec caméra vidéo 8 MP - 1920x1080 pixels - 30 ips²¹⁶, ainsi qu'un pied ;
- un pèse-personne Terraillon® *Fitness Coach Initial*.

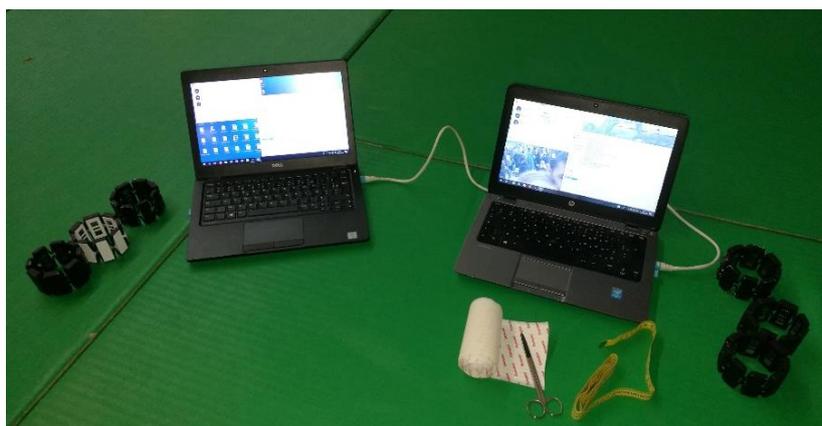


Figure 35 : partie du matériel de l'outil de recueil de données. Source : photo personnelle

²¹⁶ Images par seconde.



Figure 36 : matériel de l'outil de recueil de données. Source : photographie personnel

4.4.2.2) Préparation et appareillage des sujets

Après avoir été sélectionnés pour l'étude et avoir signé leur consentement, les sujets sont équipés du dispositif. Cinq brassards sont apposés sur le sujet principal « *tori* », et un brassard sur le sujet secondaire « *uke* ».

« *Tori* » est tout d'abord équipé de deux brassards au niveau de ses avant-bras. Afin que l'installation soit toujours identique quel que soit le sujet, le modèle anthropométrique de De Leva est utilisé (De Leva 1996). Concernant l'avant-bras, ce modèle précise que le centre des masses est situé à une distance de 46% en proximal de la distance olécrâne / apophyse styloïde cubitale. Aussi, à l'aide du mètre ruban, la distance entre les deux saillies osseuses est mesurée puis multipliée par 0,46. Cette distance est ensuite mesurée à partir de l'olécrâne indiquant ainsi l'emplacement du centre du brassard. Puis la zone est séchée à l'aide d'une serviette et nettoyée à l'alcool à 90°. L'appareil étant conçu pour une utilisation quotidienne avec de larges électrodes, il n'est pas nécessaire de procéder à un rasage préalable comme c'est habituellement le cas avec d'autres types d'EMG. Afin que le brassard soit toujours orienté à l'identique, le boîtier intégrant la centrale inertielle est celui positionné de la manière la plus antérieure possible lorsque le sujet est positionné les bras le long du corps, les mains à plat sur les cuisses. L'axe (x) de l'appareil représente alors l'axe vertical, les valeurs positives étant orientées vers

le haut. Enfin, l'ensemble est entouré de la bande adhésive élastique avec un serrage optimal ne perturbe pas la circulation sanguine mais qui permet le maintien du brassard.



Figure 37 : appareillage de l'avant-bras. Source : photographie personnelles.

Il est procédé de la même manière à l'équipement des chevilles de « *tori* ». Les brassards sont cette fois positionnés en appui sur la malléole. La zone est également séchée puis nettoyée à l'alcool à 90°. L'orientation de brassards est identique à celle des bras : le boîtier intégrant la centrale inertielle est celui positionné de la manière la plus antérieure possible lorsque le sujet est debout, pieds dans l'axe. L'axe (x) de l'appareil représente alors l'axe vertical, les valeurs positives étant orientées vers le haut. De la même manière, l'ensemble est entouré de la bande adhésive élastique.

Ensuite, « *tori* » et « *uke* » sont équipés à l'identique d'un brassard au niveau du nœud de ceinture. Il est ici impossible d'obtenir une position constante du brassard. L'orientation importe donc peu puisque les valeurs de ces deux appareils seront



Figure 38 : appareillage sujet « *tori* ». Source : photographie personnelle.

ultérieurement normalisées. Bien serré, le nœud de la ceinture permet de maintenir le brassard autour de la zone du nombril.

Enfin, les sujets, « *tori* » comme « *uke* », réalisent l'échauffement proposé par l'enseignant de la structure d'accueil. Puis, avant chaque séquence, les deux judokas équipés sont pesés à l'aide de la balance. Les données personnelles nécessaires sont également recueillies : nom et prénom, année de naissance, grade et niveau en compétition.

4.4.2.3) Consignes aux sujets

Avant de procéder aux mesures, des consignes sont délivrées aux sujets. Tout d'abord, le protocole visant à la synchronisation des outils est expliqué et démontré : un ou plusieurs sauts d'entraînement sont réalisés en amont jusqu'à appropriation du geste. Le saut doit être le plus élevé possible avec une réception les bras le long du corps, et sans amorti des jambes.

Les sujets principaux ont le choix de leur adversaire, mais avec pour consigne qu'il soit d'un niveau équivalent au leur. Nous avons bien entendu un droit de regard sur ce partenaire et pouvons opposer notre veto en cas d'écart de niveau trop important.

À la suite au saut de synchronisation, il est demandé à « *tori* » d'exécuter dix « *uchi-komi* » suivis de cinq « *nage-komi* » selon leur forme personnelle de « *seoi-nage* ». À la suite de cette phase, l'opposition débute sous la forme d'un « *randori* ».

Concernant le « *randori* », il est demandé aux sujets d'avoir une attitude engagée proche de celle de la compétition et respectueuse des règles du judo. Afin de conserver la logique de score essentielle à l'activité dans sa conception sportive, il est demandé aux deux combattants de rechercher à marquer « *Ippon* ». Contrairement à un combat de « *shiai* », ce dernier n'interrompt pas l'opposition qui se poursuit jusqu'à l'arrêt de la séquence à l'initiative du chercheur. Plusieurs « *Ippon* » ou « *waza-ari* » peuvent donc être comptabilisés au cours d'une même séquence. Ce sont ces valeurs qui permettront de déterminer la validité d'une action qui pourra ensuite être étudiée et analysée.

La zone dédiée au « *randori* » est définie en amont et dépend de la surface qui est allouée par la structure. Elle est précisée aux sujets afin qu'ils cantonnent leurs actions à cette surface. C'est en moyenne une surface comprise entre 6m x 6m et 8m x 8m.

Le temps d'acquisition est compris entre 4 et 6 min. Ce temps est un juste équilibre entre ce qui est permis par la structure d'accueil afin de ne pas perturber les entraînements et le temps nécessaire à l'acquisition de données en nombre suffisant. En compétition junior et sénior le temps de combat est de 4min, il est de 3min en cadet et minime. Ce temps est entendu indépendamment des arrêts de combat par l'arbitre. Dans le cadre d'un « randori », le chronomètre n'est pas arrêté à chaque fois qu'il y a un passage au sol ; il convient donc d'ajouter un peu de temps à ce temps règlementaire. L'expertise du chercheur intervient dans ce cas afin de trouver le juste équilibre entre les contraintes de la structure et les besoins de la recherche. Les niveaux et âges des sujets étant très variés, il est aussi important d'ajuster les durées en fonction des caractéristiques de chacun.

Lors du combat, il est demandé aux sujets de ne pas produire de travail au sol. Dès que ces derniers sont tous deux au sol, ils doivent se relever afin de poursuivre l'opposition debout.

Enfin, aucune consigne n'est donnée aux sujets quant à la réalisation de formes de « *seoi-nage* » durant le combat. Le choix de spécialistes de cette technique de projection doit naturellement induire leur réalisation. Demander aux sujets d'orienter leurs actions vers des « *seoi-nage* » aurait pu modifier la motricité des sujets qui ne se seraient plus adaptés en fonction de leur adversaire, mais en fonction de la technique à réaliser. Afin d'éviter tout biais à ce sujet, nous n'avons donné aucune consigne de cette sorte.

4.4.2.4) Synchronisation horloges / données / vidéo

La synchronisation finale entre l'ensemble des données et la vidéo demande le respect d'étapes précises :

- 1) Connexion des brassards : les six brassards sont connectés via Bluetooth sur les deux PC, trois par PC ; l'état de la connexion est visualisable via le « *Myo Armband Manager* ».
- 2) Synchronisation des horloges : les deux ordinateurs sont mis en réseau à l'aide du câble RJ45 ; le logiciel « *MyoCapture* » est lancé sur les deux ordinateurs ; la synchronisation est déclenchée à partir de l'ordinateur « *maître* ».
- 3) Début de l'enregistrement des données : l'enregistrement des données est initié via le logiciel « *MyoCapture* » et l'enregistrement de la vidéo est lancé.

- 4) Sauts de synchronisation : le sujet principal exécute un saut vertical et réalise les « *uchi-komi* » et « *nage-komi* » ; puis exécute un second saut de contrôle avant d'effectuer son « *randori* » ; et clôture la séquence par un troisième saut de contrôle.
- 5) Fin de la mesure : arrêt de la collecte de données et vérification de la génération du fichier Excel sur chacun des deux ordinateurs ; arrêt de l'enregistrement vidéo.

4.4.2.5) Rôle du chercheur pendant la séance de mesure

Durant l'ensemble des séances de mesure, le rôle du chercheur est fondamental. Au-delà de la mise en œuvre stricte du protocole, une vigilance est nécessaire afin du respect des aspects techniques. Si l'expertise est essentielle dans le choix des sujets afin qu'ils correspondent aux caractéristiques techniques du groupe, elle l'est aussi pour assurer la mise en place et le suivi du protocole dans le cadre très spécifique d'un dojo et d'un entraînement de judo.

En cours de mesure, une attention particulière doit être portée afin de contrôler à la fois le bon déroulé des mesures, et notamment la stabilité des brassards sur les sujets, et le respect des critères par les combattants. En cas de besoin, il est nécessaire de pouvoir proposer des ajustements arbitraux, un rappel des consignes ou des régulations techniques.

4.4.2.6) Nombre de séquences par sujet

La durée d'un entraînement de judo et les contraintes physiques induites par le protocole permettent de réaliser deux séquences de mesure avec un même sujet. Aussi, une fois équipé, après avoir réalisé une première séquence avec un « *uke* », une période de repos d'une durée de 15 minutes permet au sujet d'avoir une transition vers la deuxième séquence. Dans l'intervalle, un second « *uke* » est sélectionné et équipé. Ces deux séquences permettent d'augmenter de manière conséquente la quantité de données à disposition.

4.4.2.7) Synthèse de la chronologie d'une séance de mesure

Étape	Description	Phase
1	Sélection d'un sujet et des deux « uke »	Préparation
2	Explication du protocole et signature des consentements	
3	Appareillage des sujets	
4	Consignes relatives au déroulé de la séquence	
5	Synchronisation des horloges, démarrage acquisition des données et enregistrement vidéo de la Séquence 1	Séquence 1
6	Saut de contrôle, 10 « uchi-komi » puis 5 « nage-komi » Si niveau technique du sujet insuffisant, arrêt de la séquence	
7	Saut de contrôle et « randori »	
8	Saut de contrôle et arrêt de l'acquisition des données et de l'enregistrement vidéo de la Séquence 1	
9	Vérification du bon enregistrement des données et sauvegarde des fichiers	
10	Temps de récupération de 15 minutes et équipement du deuxième « uke »	Séquence 2
11	Synchronisation des horloges, démarrage acquisition des données et enregistrement vidéo de la Séquence 2	
12	Saut de contrôle, 10 « uchi-komi » puis 5 « nage-komi » Si niveau technique du sujet insuffisant, arrêt de la séquence	
13	Saut de contrôle et « randori »	
14	Saut de contrôle et arrêt de l'acquisition des données et de l'enregistrement vidéo de la Séquence 2	
15	Vérification du bon enregistrement des données et sauvegarde des fichiers	
16	Déséquipement des sujets	Clôture
17	Pré-traitement des fichiers de données	

Tableau 9 : synthèse de la chronologie d'une séquence de mesure

4.4.2.8) Pré-traitement des fichiers de données

Par la suite, chaque séquence de mesure est pré-traitée afin d'être opérationnelle pour l'analyse ultérieure. Les fichiers générés par les deux ordinateurs sont concaténés en un seul. Ensuite, le bon fonctionnement de la synchronisation des horloges est vérifié en comparant la durée entre le saut initial, les sauts intermédiaires et le saut final sur la vidéo et les données grâce à l'horodatage. En cas de décalage supérieur à 10 ms entre le premier et le dernier saut, la séquence est retirée de la banque de données. Puis, l'horodatage est reparamétré en prenant comme $t=0$ la réception au sol lors du premier saut vertical. Pour cela, le pic des accélérations de la composante (x) des jambes et des bras est pris en référence. La vidéo correspondante est montée afin de débiter à l'instant $t=0$. Par ce processus, l'horodatage des données et de la vidéo sont parfaitement synchronisés permettant ainsi d'extraire très précisément des données.

4.4.3) Limites du protocole

La mesure en contexte écologique entraîne certaines difficultés dans la mise en place du protocole. Entre la théorie et son application sur le terrain, il existe toujours un petit décalage entraînant des incidents mineurs ou majeurs. Nous avons ambitionné de réaliser deux séquences de mesure sur l'ensemble des trente sujets, soit théoriquement soixante au total. Dans la réalité, nous avons dû effectuer davantage de séquences car des incidents nous ont conduit soit à supprimer une séquence car non valide, soit à devoir annuler une séance. Les premières séquences réalisées sont souvent celles qui ont été source d'échec. Avec l'expérience, les erreurs se sont estompées et les séances de mesure sont devenues beaucoup plus fluides. La typologie des incidents ayant conduit à des annulations est présentée ci-dessous :

- un des fichiers Excel n'a pas été généré à l'issue de l'acquisition ;
- un brassard se désolidarisant de l'avant-bras et se retrouvant au niveau des poignets ;
- interruption du combat de manière prématurée par l'enseignant du club du fait de la fin du cours ;
- niveau technique du sujet insuffisant
- niveau d'opposition proposé par « *uke* » insuffisant ou à l'inverse trop important ;
- déconnexion prolongée d'un ou plusieurs brassards ;
- aucune projection de type « *seoi-nage* » réalisée au cours des deux séquences.

En théorie, un cours de judo nous permettait de réaliser deux séquences de mesure avec un sujet. Théoriquement, trente cours de judo étaient donc nécessaires pour assurer le recueil des données. Il aura fallu finalement 44 séances d'enregistrement pour collecter les données de 56 séquences sur nos 30 sujets.

Malgré ces incidents, dont certains ne sont plus survenus avec l'acquisition de la maîtrise du protocole, il est important de noter la robustesse de l'outil. En effet, nous n'avons dû écarter aucun fichier de données du fait d'un décalage d'horloges.

4.5) Synthèse méthodologique

Le développement de cet outil de mesure a nécessité un important travail de conception et de développement. L'appareil sélectionné présentait de sérieux atouts par rapport à nos recherches, mais il n'était pas en l'état suffisant pour mesurer la motricité de judokas en situation d'opposition.

Si des limites de l'outil ont été mises en avant, elles s'estompent progressivement avec l'apprentissage du chercheur pendant la mise en place du protocole et sont aisément compensées par un surinvestissement temporel. Les données fournies donnent satisfaction par rapport aux objectifs fixés.

Au final, le développement de l'outil exposé dans ce chapitre permet de répondre à nos deux premières problématiques. En effet, nous avons pu démontrer qu'il est parfaitement opérationnel afin de « *prélever des données biomécaniques afférentes aux gestes en situation d'opposition* » et de « *prélever des données biomécaniques de manière simultanée afférentes aux trois paramètres du modèle et sur le défenseur* », à savoir les déplacements, les saisies et les projections, prenant ainsi en compte la complexité.

En outre, la constitution des trois groupes selon différents critères permet d'envisager, au regard des données recueillies, de répondre ultérieurement à la troisième problématique : « *comparer des groupes ayant différents niveaux d'habileté et ayant précédemment acquis les techniques* ». Si la sélection des sujets au regard de ces critères paraît complexe car chronophage, et qui plus est présenter une limite liée à l'âge, elle n'en est pas moins indispensable afin d'espérer répondre à nos objectifs de recherche.

CHAPITRE 5

TRAITEMENT DES DONNÉES ET RÉSULTATS

5.1) Synthèse et choix des données recueillies

5.1.1) Synthèse quantitative des données

Les critères présentés nous ont permis de réaliser les mesures souhaitées. Les données ont été collectées au moyen de l’outil sur une période de près d’une année²¹⁷. Le protocole a été mis en œuvre sur un total de 42 séquences et 38 sujets. Parmi ces derniers, 8 ont été finalement écartés car ils ne correspondaient pas aux critères, principalement du fait d’une maîtrise insuffisante de « *seoi-nage* ». Sur les 30 sujets restants, 4 ont dû faire l’objet d’une seconde séquence d’acquisition en raison d’une défaillance technique importante lors de la première. Un tableau anonymisé est proposé ci-après et détaille pour chaque sujet : la date de mesure, le nombre de séquences enregistrées, le groupe d’appartenance, l’année de naissance et la catégorie d’âge, le grade et le niveau en compétition, la manualité et le « *tokui-waza* » précis. Le tableau est ordonné par dates de mesures et les sujets identifiés par numéro selon ce même principe²¹⁸.

²¹⁷ Entre le 4 décembre 2017 et le 10 janvier 2019.

²¹⁸ Le sujet pour lequel la mesure a été réalisée en premier est le sujet 1 et cela jusqu’au sujet 30.

Sujet	Date Mesure	Nb séq	Groupe - étape	Année	Cat. âge	Grade	Niveau	Cat. poids	G / D	Tokui-waza
1	01/02/2018	1	3 Experte	1997	Sénior	1D	1° div	60	droitier	morote D
2	28/02/2018	2	3 Experte	1998	Sénior	1D	1° div	100	gaucher	ippon D
3	07/03/2018	2	2 Intermédiaire	1994	Sénior	1D	Dép	81	droitier	ippon G
4	08/03/2018	2	3 Experte	1997	Sénior	2D	1° div	73	droitier	ippon D
5	12/03/2018	2	2 Intermédiaire	2001	Cadet	1D	Région	60	droitier	morote D
6	14/03/2018	2	2 Intermédiaire	1998	Sénior	1D	Dép	73	droitier	morote D
7	15/03/2018	2	3 Experte	1996	Sénior	1D	1° div	73	gaucher	ippon D
8	19/03/2018	2	3 Experte	1995	Sénior	2D	1° div	73	gaucher	eri G
9	21/03/2018	2	2 Intermédiaire	2001	Cadet	1D	Région	60	droitier	ippon D
10	22/03/2018	2	3 Experte	1994	Sénior	2D	1° div	60	droitier	morote D
11	26/03/2018	1	1 Contextuelle	2004	Minime	Bleue	Région	42	gaucher	morote G
12	23/04/2018	1	2 Intermédiaire	2001	Cadet	1D	Région	50	droitier	morote D
13	02/05/2018	2	2 Intermédiaire	1999	Sénior	1D	Région	81	droitier	morote D
14	03/05/2018	2	3 Experte	1996	Sénior	2D	1° div	73	gaucher	eri D
15	14/05/2018	2	2 Intermédiaire	1994	Sénior	1D	Région	73	droitier	ippon G
16	16/05/2018	2	1 Contextuelle	2005	Minime	Bleue	Dép	46	gaucher	morote G
17	30/05/2018	2	2 Intermédiaire	1989	Sénior	1D	Région	66	droitier	eri D
18	17/09/2018	2	3 Experte	1996	Sénior	1D	1° div	66	droitier	ippon D
19	19/09/2018	2	1 Contextuelle	2005	Minime	Bleue	Région	46	droitier	ippon D
20	24/09/2018	2	2 Intermédiaire	2003	Cadet	1D	Région	60	droitier	ippon D
21	16/10/2018	2	1 Contextuelle	2005	Minime	Bleue	Région	60	droitier	ippon D
22	17/10/2018	2	3 Experte	1992	Sénior	2D	1° div	66	gaucher	ippon G
23	19/10/2018	2	1 Contextuelle	2005	Minime	Bleue	Région	42	gaucher	morote G
24	06/11/2018	2	1 Contextuelle	2005	Minime	Bleue	Région	42	gaucher	ippon G
25	19/11/2018	2	1 Contextuelle	2006	Minime	Bleue	Région	38	droitier	ippon D
26	21/11/2018	1	1 Contextuelle	2005	Minime	Bleue	Région	55	droitier	morote D
27	21/11/2018	2	1 Contextuelle	2005	Minime	Bleue	Région	50	droitier	morote G
28	21/11/2018	2	1 Contextuelle	2005	Minime	Bleue	Région	60	droitier	eri D
29	05/12/2018	2	2 Intermédiaire	2003	Cadet	1D	Région	60	gaucher	ippon D
30	10/01/2019	2	3 Experte	2000	Junior	1D	1° div	55	droitier	ippon D

Tableau 10 : caractéristiques des sujets – tableau exhaustif

Le tableau suivant détaille des éléments statistiques généraux relatifs à la composition des groupes. Il synthétise les éléments du tableau précédent dans plusieurs catégories qui reprennent, pour certaines, les critères définis de constitution de chacun des groupes.

10 sujets par groupe		Groupe 1 Étape « context. »	Groupe 2 Étape « inter. »	Groupe 3 Étape « exp. »	Total
Âge	Moyenne	14,1 ans	19,7 ans	22,0 ans	18,3 ans
	Écart-type	0,3	4,6	2,0	4,7
Catégories d'âge	Minime	10			10
	Cadet		5		5
	Junior			1	1
	Sénior		5	9	14
Niveau en compétition	Départemental	3	3		6
	Régional	7	7		14
	1° div			10	10
Grade	Bleue	10			10
	1° dan		10	5	15
	2° dan			5	5
Manualité	Gaucher	4	1	5	10
	Droitier	6	9	5	20
Séquences	1 séquence/sujet	2	1	1	4
	2 séquences/sujet	8	9	9	26
	Total séquences	18	19	19	56
« Tokui-waza »	Ippon-seoi-nage	4	5	6	15
	Morote-seoi-nage	5	4	2	11
	Eri-seoi-nage	1	1	2	4

Tableau 11 : caractéristiques des sujets – tableau synthétique

5.1.2) Choix des séquences retenues

Pour la très grande majorité des sujets²¹⁹, il a été possible d'effectuer deux séquences d'enregistrement dans la même séance. Pour 4 sujets, en raison de contraintes temporelles, une seule séquence a pu être enregistrée. Avant de procéder à la sélection du type de donnée analysée, toutes ont été revisionnées avec une lecture experte et un regard technique. L'objectif était double : conserver une seule séquence par sujet afin de disposer d'un total de 30 séquences de qualité et réduire le temps nécessaire pour le traitement et le séquençage de chaque fichier de données, cette étape étant trop chronophage et matériellement impossible. Enfin, cela permettait également de conserver les séquences les plus qualitatives et d'écarter celles qui présentaient un problème d'acquisition, constaté *a posteriori*, ou lié à l'écologie de la tâche. Les tableaux suivants listent et synthétisent les justifications pour lesquelles les 26 séquences ont été écartées.

²¹⁹ 26 sur 30.

Sujet	Justification	1	2	3	4	5
2	séquence 2 écartée, opposition trop déséquilibrée 8 ippons en 3 min			X		
3	séquence 2 retenue, car pas de valeur marquée sur seoi dans la séquence 1	X				
4	séquence 2 écartée, aucune action marquée par seoi	X				
5	séquence 1 retenue car la plus offensive, aucune valeur marquée par seoi sur les 2 séquences		X			
6	séquence 1 retenue, car pas de valeur sur seoi en séquence 2	X				
7	séquence 2 non retenue car opposition trop déséquilibrée en faveur de tori			X		
8	séquence 1 non retenue car opposition trop déséquilibrée en faveur de tori			X		
9	séquence 2 non retenue car opposition trop déséquilibrée en faveur de tori			X		
10	séquence 2 écartée, aucune action marquée par seoi	X				
13	séquence 2 non retenue car aucune valeur marquée sur seoi	X				
14	séquence 2 écartée à cause d'un débranchement du câble non constaté en cours de séance				X	
15	séquence 2 non retenue car blessure de tori durant l'acquisition					X
16	séquence 2 non retenue car arrêt bracelets BG JG CT (plus de batteries)				X	
17	séquence 1 retenue car plus de valeurs marquées par seoi		X			
18	séquence 2 trop courte, randori stoppé par la fin de l'entraînement du club					X
19	séquence 2 non retenue car perte signal JG sur les 3 premières minutes				X	
20	séquence 1 retenue car plus de valeur marquée sur seoi par rapport à la séquence 2		X			
21	séquence 1 écartée, aucune action marquée par seoi	X				
22	séquence 1 retenue car plus de valeurs marquées par seoi	X				
23	séquence 2 écartée, aucune action marquée par seoi	X				
24	séquence 1 non retenue car uke trop lourd par rapport à tori			X		
25	séquence 1 écartée, aucune action marquée par seoi	X				
27	séquence 1 écartée, aucune action marquée par seoi	X				
28	séquence 1 retenue car plus de valeurs sur seoi		X			
29	séquence 1 retenue car plus de valeurs marquées par seoi		X			
30	séquence 1 retenue car plus de valeurs marquées sur seoi		X			

Tableau 12 : justification des rejets de séquences – tableau exhaustif

Justification rejet	Réurrence
Justification 1 : aucune valeur marquée ²²⁰ sur « seoi-nage »	10
Justification 2 : séquence moins offensive par rapport à la seconde	6
Justification 3 : opposition trop déséquilibrée en faveur de « uke » ou de « tori »	5
Justification 4 : problème technique d'acquisition	3
Justification 5 : « randori » arrêté prématurément	2

Tableau 13 : justification des rejets de séquences – tableau synthétique

Ainsi, à l'issue de ce tri, nous disposons de 30 séquences, une par sujet, toutes quantitativement et qualitativement recevables. Pour rappel, tous les signaux ont été en amont synchronisés avec les vidéos. Les données sont donc en l'état disponibles pour le traitement. Les parties « randori » des séquences ont des durées comprises entre 2'30 et 4'58 avec une

²²⁰ « Waza-ari » ou « Ippon ».

durée moyenne de 3'22 et un écart-type de 50 secondes. Le nombre de valeurs validées par séquence par « *tori* » grâce à une forme de « *seoi-nage* » est en moyenne de 1,3 avec une répartition comprise entre 0 et 3 :

	0 valeur	1 valeur	2 valeurs	3 valeurs
Nombre de séquence	5	13	11	1

Tableau 14 : synthèse du nombre de valeurs marquées par séquence

La figure 47, page 212, détaille, par sujet, la durée de chaque séquence ainsi que le détail de chaque valeur marquée.

5.1.3) Sélection des données

La démarche choisie, de type « *bottom-up* », suppose d'explorer l'ensemble des données afin d'extraire les plus intéressantes et proposer l'analyse la plus pertinente. Au moment d'initier cette exploration, plusieurs éléments sont à prendre en compte.

En premier lieu, il est important d'avoir conscience que la quantité de données à disposition est très importante. Une seule séquence intègre à elle seule des données liées aux centrales inertielles et aux EMG de six brassards. Les informations sont donc multiples. En outre, l'analyse des techniques de projection suppose d'isoler spécifiquement ces dernières. Cette masse de données implique donc de faire des choix. Dans le cadre de la thèse, certaines, bien qu'intéressantes, ne pourront donc pas être traitées. Il faudra accepter d'en faire le deuil. D'autres pourront s'avérer inexploitable car trop complexes à analyser et il faudra également prendre le parti de les écarter²²¹.

Ensuite, un de nos objectifs de recherche est d'analyser les conduites motrices dans leur complexité. Nous avons déjà précisé que cela nécessite d'exploiter des données dans les trois composantes : les saisies, les déplacements et les projections. Ainsi, les choix doivent prendre en compte cette contrainte et nos recherches obligatoirement explorer ces trois éléments.

En prenant en compte tous ces critères, nous avons « *exploré* » nos données afin que se révèlent les plus pertinentes. Cette recherche ne s'est pas conduite au hasard et a été guidée par un certain nombre d'idées et d'interrogations qui ont émergé au fur et à mesure de nos lectures, mais surtout au fil des séquences de mesures. Elles ont aussi été orientées par notre expertise et connaissance de l'activité. Certains essais ont montré un faible intérêt, une complexité de

²²¹ Ces données pourront faire l'objet d'un traitement ultérieur dans le cadre de potentielles publications.

traitement trop importante ou encore n'ont pas permis de faire ressortir des résultats. C'est par exemple le cas des données issues du magnétomètre, qui en l'état et en raison de notre protocole, se sont avérées inexploitable. Ce fut également le cas pour des essais de quantification des déplacements des deux sujets en phase d'opposition. D'autres, au contraire, ont été très prometteuses, mais nous avons dû les laisser en suspens le temps d'achever la thèse, car elles ne s'inscrivaient pas pleinement dans l'orientation de nos problématiques. C'est le cas des données issues des « *uchi-komi* » et « *nage-komi* » qui pourront ultérieurement servir à une analyse comparative entre la technique exécutée par un même individu en situation d'entraînement et en situation d'opposition. Cette analyse pourrait permettre de questionner et analyser les méthodes d'enseignement et d'entraînement traditionnelles en judo.

La phase exploratoire a permis de sélectionner des données correspondant aux composantes de notre modèle. Seules celles retenues pour l'analyse proposée en dernière partie sont présentées ici. Elles sont exposées dans les trois parties suivantes²²². Toutes sont ordonnées selon le même principe.

La première sous-partie vise à justifier le choix du type de données en référence à des connaissances empiriques ou professionnelles présentées dans le cadre théorique. Ces dernières nous permettent de formuler des hypothèses en lien avec les données exploitées. La seconde expose la méthodologie de séquençage des données. En effet, toutes les données ne sont pas utiles à la thématique et il est nécessaire de conserver uniquement celles correspondantes. Par exemple, pour l'analyse des techniques de projection, cela suppose d'extraire les données des actions qui ont permis d'inscrire une valeur. Ou encore, pour l'analyse des déplacements, les données des pieds dans les périodes où l'adversaire est au sol ne sont pas nécessaires. La sous-partie suivante correspond à la description du traitement du signal. Dans certains cas, il s'agit de lisser les signaux recueillis afin d'éliminer les bruits ou encore de les redresser. De ces signaux traités sont extraites des données qui peuvent être soumises à différentes analyses statistiques. Enfin, dans une dernière sous-partie, les résultats des tests statistiques nous permettent de valider ou invalider les hypothèses.

Dans ce chapitre, nous nous centrons uniquement sur le traitement des résultats. Les résultats des tests statistiques sont exposés, mais leur interprétation est proposée dans le chapitre suivant.

²²² Parties 5.2), 5.3) et 5.4).

5.1.4) Test statistique privilégié

Le *t-student* sera notre test statistique privilégié afin de pouvoir comparer les groupes deux à deux. Puisque nous disposons de trois groupes indépendants, le test d'analyse de la variance à un facteur²²³ aurait pu être choisi pour chercher à observer un effet général.

Toutefois, c'est la comparaison deux à deux qui nous intéresse avant tout. Aussi, si des effets significatifs sont constatés lors de comparaisons deux à deux, alors il sera possible de considérer le facteur testé comme discriminant.

En outre, la comparaison deux à deux présente l'avantage de faciliter la mise en évidence d'une progression linéaire ou non-linéaire des paramètres testés. Par exemple, pour un paramètre en particulier, une non significativité entre les groupes 1 et 2 associée à une significativité entre les groupes 2 et 3 permettra de supposer une progression non-linéaire de la technique.

Dans cette configuration, il sera toutefois nécessaire de relativiser ces résultats au regard de la taille de l'échantillon. Pour rappel, nos groupes sont composés de 10 sujets chacun. Un test non significatif ne signifie donc pas nécessairement qu'il n'existe pas de différence, mais qu'au regard de la taille des échantillons, entre autres, nous ne sommes pas en mesure de l'observer. En d'autres termes, la non validation d'une hypothèse ne signifie pas pour autant que l'hypothèse est invalidée. À l'inverse et malgré la taille de l'échantillon, un résultat significatif, d'autant plus si la *p-value* est faible, sera intéressant dans le cadre de notre démarche.

Enfin, il est important de préciser en amont que l'utilisation de ce test pour des échantillons de petite taille tels que les nôtres nécessite que les données ne s'écartent pas trop de la normale. Nous y serons attentifs avant de procéder aux tests.

²²³ Également appelé ANOVA.

5.2) Données relatives aux déplacements

5.2.1) Données sélectionnées

Les données disponibles en lien avec les déplacements concernent essentiellement les appareils positionnés au niveau des chevilles. Sur ces brassards, les données des EMG n'ont aucune utilité et n'ont donc pas été enregistrées. Nos essais nous ont conduits à exclure l'utilisation du magnétomètre dont l'utilisation est complexe et peu fiable en raison de sa sensibilité aux sources de bruit environnementales (Ahmad et al. 2013). Les données issues des accéléromètres apparaissent donc comme les plus pertinentes. À partir de ces dernières, quatre possibilités étaient offertes :

- calculer la norme du vecteur accélération²²⁴ à partir des données des trois axes afin d'obtenir les accélérations globales de chaque pied indépendamment d'un repère ;
- normer les accélérations dans le plan, c'est-à-dire les axes (y) et (z) du brassard, ce qui permettrait d'obtenir les accélérations horizontales des pieds ;
- utiliser indépendamment les axes (y) et (z) afin d'obtenir les accélérations des pieds vers l'avant et vers le côté ;
- et enfin utiliser les données de l'axe (x) qui correspondent aux accélérations locales verticales des pieds et qui coïncident lors des phases de déplacement debout à l'axe vertical global.

Cette dernière possibilité a été retenue. En mesurant les accélérations des pieds selon l'axe vertical, nous ambitionnions de pouvoir observer l' « *ancrage* » au sol des judokas. Plus précisément, nous espérions pouvoir étudier des données témoignant des techniques de déplacement par la capacité à se mouvoir en glissant sur le tatami. En effet, comme expliqué précédemment, en judo le fait de faire « *glisser les pieds* » sur le sol apparaît comme un principe incontournable. Ces propos sont confirmés dans différents ouvrages professionnels. Domagata et al. décrivent les déplacements comme devant être « *tous effectués en glissant les pieds (tsuri ashi)* » (Domagata et al. 2012). Cadot explique que savoir se déplacer en « *suri-ashi* » suppose de « *laisser froter, glisser la plante du pied* » (Cadot 2015). Ou encore, Duval et Rabilloud précisent que « *tous doivent toujours s'effectuer en glissant les pieds sur le tapis* » (Duval et Rabilloud 1971). Enfin, un des premiers ouvrages fédéraux explique qu' « *il faut veiller autant*

²²⁴ Nous utiliserons dès lors le terme « *normer* » plutôt que « *calculer la norme du vecteur accélération* ».

que possible à garder la plante des pieds en contact avec le tatami, par action de l'articulation des chevilles et des genoux, et mettre la force sur les petits doigts » (Fédération française de judo 1950). Ces descriptions sont liées de manière sous-jacente à la recherche de stabilité du judoka. L'objectif en judo étant de faire tomber l'adversaire et dans le même temps de ne pas chuter, la capacité du judoka à être fort sur ses appuis et à rester le plus stable possible est fondamentale. Le fait de se déplacer en glissant sur le sol présente alors plusieurs avantages :

- cela permet de ne pas lever un des deux pieds si ce n'est pas nécessaire et ainsi de conserver en permanence deux appuis au sol, ainsi le polygone de sustentation est plus important et la stabilité augmentée ;
- cela permet de positionner le centre de gravité le plus bas possible, plus ce dernier est proche du sol, plus le combattant est stable ;
- cela permet d'augmenter la mobilité du judoka qui est en mesure de se déplacer dans toutes les directions et à tout instant ;
- et enfin, cela permet à tout moment de libérer une des deux jambes pour par exemple esquiver, faucher ou balayer.

Aussi, dans une approche comparative des trois groupes, il est apparu intéressant d'approfondir cet élément. L'hypothèse que nous pouvons ici formuler, au regard de notre expérience professionnelle et des écrits précédemment cités, est que le niveau d' « *ancrage* » au sol est dépendant du niveau d'expertise du judoka. Autrement dit, plus le judoka devient expert, moins il fait subir à ses pieds des accélérations verticales.

En ce sens, l'analyse de la variabilité des accélérations selon l'axe (x) qui correspond, dans notre protocole, à l'axe vertical apparaît alors pertinent. L'écart-type nous semble être un bon indicateur de cette variabilité. La moyenne des écarts-types des accélérations verticales des pieds de chaque sujet sera donc l'élément de comparaison de chacun des groupes.

5.2.2) Séquençage des données

Préalablement au traitement des données, un séquençage des fichiers à disposition est indispensable. À ce niveau, nous disposons des données correspondant aux 30 « *randori* » retenus et synchronisés avec les vidéos. Nous souhaitons dans ce cas analyser les déplacements.

Or, certaines phases des combats n'en comprennent aucun. Ils doivent donc être retirés des données qui seront traitées ultérieurement.

Nous avons identifié certaines situations pour lesquelles les actions des pieds ne correspondaient pas à des actions de déplacement. Voici la typologie des actions retirées :

- temps de passage au sol liés à des actions de projection de la part d'un des deux sujets, avec ou sans valeur marquée ;
- tentatives d'exécution d'une technique de projection sans pour autant qu'il y ait un passage au sol²²⁵ ;
- arrêts temporaires du combat dus, par exemple, à une sortie de la zone d'évolution ou à une gêne de la part d'un autre binôme évoluant dans le cours de judo.

Les déplacements sont pris en compte dès qu'il y a action de combat. Cela inclut donc les temps où une saisie est installée entre les sujets, mais également les temps durant lesquels ils cherchent à l'installer sans qu'aucune main ne soit encore posée.

En prenant en compte ces critères, les séquences sont visualisées par notre regard « *expert* ». Le logiciel libre Kinovéa® est utilisé. Il permet de faire défiler la vidéo image par image et d'identifier ainsi à la milliseconde près les tranches à retirer. Elles sont ensuite reportées sur l'horodatage du fichier Excel²²⁶ puis supprimées. Cette opération est répétée sur l'ensemble des 30 séquences. Seules les accélérations en (x) de chacun des deux pieds sont conservées et consignées sur un fichier unique. Les données propres à chaque pied sont différenciées entre « *pied fort* » d'un côté, qui correspond au pied droit pour un droitier, et « *pied faible* » qui correspond au pied gauche pour un droitier. Les données ainsi traitées contiennent alors uniquement les éléments relatifs aux accélérations verticales des deux pieds des 30 sujets durant les temps de déplacement dans les séquences de combat.

Les deux graphiques présentés ci-après illustrent ce séquençage. Le premier signal représente les données brutes d'un pied durant un « *randori* ». Le second correspond à ce même signal auquel ont été retirées les données ne correspondant pas à des déplacements.

²²⁵ Les tentatives de projection sont retirées même si elles ne conduisent pas à une chute car l'action des jambes y est alors distincte des techniques de déplacement. De plus, les accélérations engendrées lors des tentatives de projection sont importantes et pourraient biaiser nos résultats.

²²⁶ Qui avait été synchronisé en amont avec la vidéo.

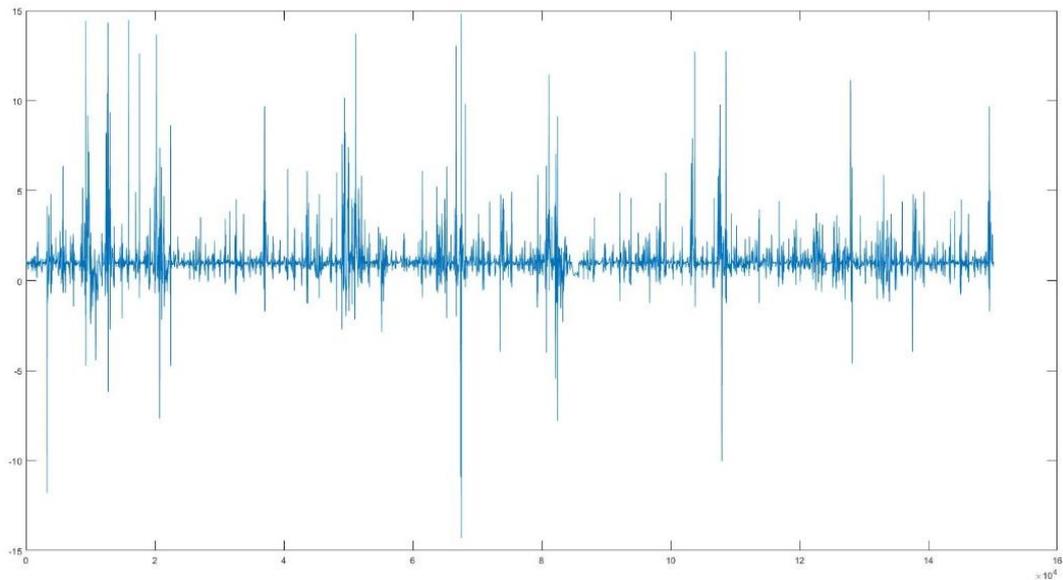


Figure 39 : composantes d'accélération selon (x) du pied droit du sujet 1 dans sa séquence de « randori » : données brutes. Abscisses : temps en ms ; Ordonnées : bits. Source : Matlab.

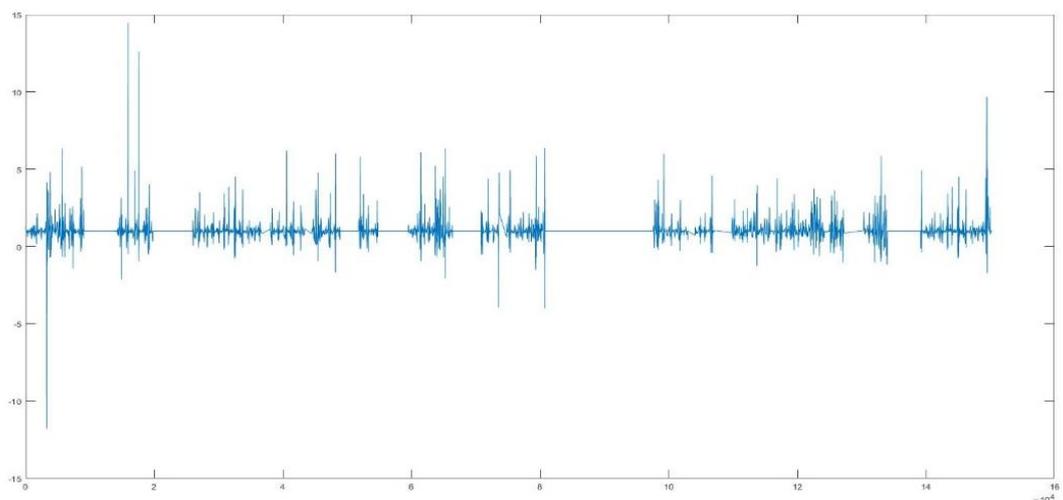


Figure 40 : composantes d'accélération selon (x) du pied droit du sujet 1 dans sa séquence de « randori » : données séquencées. Abscisses : temps en ms ; Ordonnées : bits. Source : Matlab.

5.2.3) Traitement du signal

Il est ensuite nécessaire d'appliquer un filtre passe-bas afin d'atténuer les bruits de mesure et les artefacts. La littérature en recense différents types qui ont cette qualité pour nos types de données. Le traditionnel filtre *Butterworth* est utilisé (Totty et Wade 2018) mais il n'est pas la seule solution. D'autres études exploitent un filtre numérique de type « *moyenne glissante* » pour traiter des signaux d'accéléromètres enregistrés en situation de pratique sportive (Alexander et al. 2016 ; Marotta et Reenalda 2021). En fonction des études, entre 3 et

10 points sont utilisés pour l'opérationnalisation du filtre. En raison de sa simplicité d'utilisation et son efficacité démontrée dans des contextes de mesure s'approchant du notre, nous avons choisi d'appliquer un filtre de type moyenne mobile arithmétique en utilisant un nombre de points intermédiaire, c'est-à-dire $N=5$.

Tout lissage génère un déphasage. Dans notre cas il est équivalent à 5 données. Généralement, il est nécessaire de rephaser le signal. Pour notre analyse, cette opération n'est pas nécessaire puisque c'est la variabilité du signal qui est intéressante, et de plus tous les signaux se sont vu appliquer le même filtre.

Les graphiques suivants présentent les signaux précédents après application du filtre. L'échelle n'est pas identique puisque les signaux précédents étaient proposés sur une des ordonnées allant de -15 à $+15$.

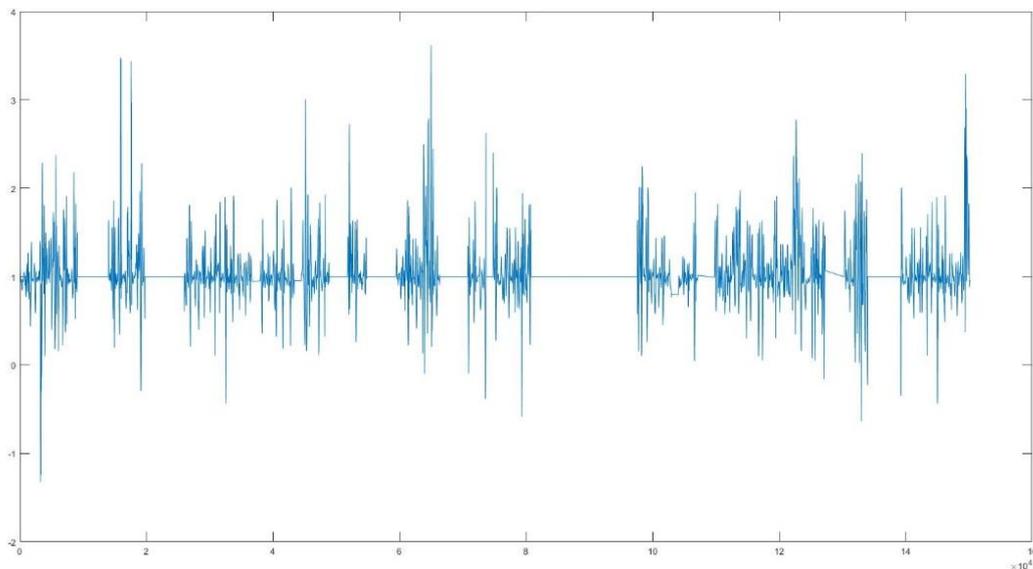


Figure 41 : composantes d'accélération selon (x) du pied droit du sujet 1 dans sa séquence de « randori » : signal séquentiel et lissé. Abscisses : temps en ms ; Ordonnées : bits. Source : Matlab

5.2.4) Traitement des données

À partir des données filtrées, un calcul d'écart-type est réalisé sur l'ensemble des données disponibles de la séquence pour chaque pied de chaque sujet. Les résultats bruts obtenus sont présentés dans le tableau suivant :

Groupe 1 « contextuelle »			Groupe 2 « intermédiaire »			Groupe 3 « expert »		
Sujet	Fort	faible	Sujet	Fort	faible	Sujet	Fort	faible
11	0,45	0,49	3	0,52	0,48	1	0,38	0,37
16	0,60	0,57	5	0,35	0,42	2	0,40	0,41
19	0,73	0,58	6	0,32	0,44	4	0,51	0,47
21	0,44	0,46	9	0,66	0,46	7	0,52	0,53
23	0,53	0,50	12	0,75	0,72	8	0,41	0,38
24	0,51	0,42	13	0,44	0,43	10	0,53	0,45
25	0,42	0,46	15	0,41	0,35	14	0,39	0,35
26	0,49	0,47	17	0,61	0,71	18	0,49	0,40
27	0,58	0,44	20	0,49	0,54	22	0,41	0,45
28	0,63	0,58	29	0,68	0,41	30	0,51	0,53
Moyenne	0,54	0,50	Moyenne	0,52	0,50	Moyenne	0,45	0,43

Tableau 15 : écarts-types des accélérations verticales des deux pieds de chaque sujet _ tableau exhaustif

Dans un premier temps, nous souhaitons rechercher les éventuelles différences significatives entre les résultats obtenus pour les pieds « forts » et les pieds « faibles ». Les données individuelles apparaissant comme raisonnablement normales, des tests *t-student* sont appliqués deux à deux afin de comparer les données au sein d'un même groupe, mais aussi sur l'ensemble des sujets. Les tableaux suivants synthétisent les résultats des tests :

Comparaison	<i>p-value</i>
Forte / faible - tous sujets	$p = 0,261$
Forte / faible – groupe 1 « contextuelle »	$p = 0,276$
Forte / faible – groupe 2 « intermédiaire »	$p = 0,663$
Forte / faible – groupe 3 « expertise »	$p = 0,441$

Tableau 16 : comparaison des écarts-types des accélérations verticales des deux jambes pour chaque groupe par *t-student*

Aucune *p-value* n'est inférieure à 5%. Il n'existe donc aucune différence significative dans la variabilité des accélérations des pieds entre les jambes fortes et faibles. Il est alors nécessaire d'analyser le coefficient de corrélation entre les deux jambes.

Groupe	Coefficient de corrélation
Groupe 1 « contextuelle » - jambe faible/forte	$R = 0,73$
Groupe 2 « intermédiaire » - jambe faible/forte	$R = 0,58$
Groupe 3 « expertise » - jambe faible/forte	$R = 0,75$

Tableau 17 : coefficients de corrélation des deux jambes des écarts-types des accélérations verticales pour chaque groupe

Les R sont positifs et supérieurs à 0,5, il y a donc une corrélation positive entre la jambe « faible » et la jambe « forte ». En conséquence, pour chaque individu, il est possible de retenir la moyenne des écarts-types des jambes. Cela permettra d'obtenir des résultats plus robustes.

5.2.5) Résultats

À la suite de la réalisation de cette moyenne « *jambe forte / jambe faible* » pour chacun des individus, les résultats par sujet et par appartenance de groupe sont présentés dans le tableau suivant :

Sujet	Groupe 1 « context. »	Sujet	Groupe 2 « interm. »	Sujet	Groupe 3 « expert »
11	0,47	3	0,5	1	0,37
16	0,58	5	0,39	2	0,40
19	0,65	6	0,38	4	0,49
21	0,45	9	0,56	7	0,53
23	0,51	12	0,74	8	0,39
24	0,46	13	0,44	10	0,49
25	0,44	15	0,38	14	0,37
26	0,48	17	0,66	18	0,44
27	0,51	20	0,51	22	0,43
28	0,61	29	0,55	30	0,52
Moyenne	0,52	Moyenne	0,51	Moyenne	0,44

Tableau 18 : écarts-types des accélérations verticales pour la moyenne des deux pieds – tableau exhaustif

Les données étant indépendantes et les données individuelles apparaissant comme raisonnablement normales, des tests *t-student* sont à nouveau utilisés afin de comparer deux à deux les trois groupes de données. Leur résultat est présenté dans le tableau suivant :

Comparaison	<i>p-value</i>
Groupe 1 « contextuelle » / groupe 2 « intermédiaire »	0,886
Groupe 2 « intermédiaire » / groupe 3 « expert »	0,133
Groupe 1 « contextuelle » / groupe 3 « expert »	0,023

Tableau 19 : comparaison des écarts-types des accélérations verticales moyennées pour chaque groupe par test *t-student*

Les résultats des tests montrent une différence significative avec un $p < 0,05$ entre le groupe 1 correspondant à l'étape « *contextuelle* » et le groupe 3 des « *experts* ». Il n'y a pas de différence significative entre les groupes 1 et 2, ni entre les groupes 2 et 3. Ces résultats seront interprétés dans le chapitre suivant.

5.2.6) Vérification de l'hypothèse

L'hypothèse formulée concernant les déplacements était que le niveau d' « *ancrage* » au sol était dépendant du niveau d'expertise du judoka. Autrement dit, plus le judoka devient expert, moins les accélérations verticales de ses pieds seraient importantes.

L'analyse de la variabilité des accélérations selon l'axe (x), dans notre protocole, était l'indicateur pertinent permettant de vérifier cette hypothèse. Cette variabilité était observable grâce à l'écart-type.

Nos résultats permettent de valider cette hypothèse entre le groupe constitué d'experts et les deux autres groupes. Autrement dit, la variabilité des accélérations verticales des pieds dans le groupe expert est moins importante par rapport aux deux autres groupes. Les experts de première division sont donc plus « *ancrés* » au sol par rapport à des compétiteurs des niveaux inférieurs.

À l'inverse, nos résultats ne nous permettent pas de valider l'hypothèse pour les groupes 1 et 2. Le groupe 2 étant théoriquement d'un niveau supérieur au groupe 1, pour valider l'hypothèse, il aurait été nécessaire d'observer une différence significative entre ces deux groupes. Or, au sein de notre échantillon, il n'existe pas de différence significative entre la variabilité des accélérations verticales du groupe « *contextuelle* » et du groupe « *intermédiaire* ». En conséquence, l' « *ancrage* » au sol n'est pas un indicateur permettant de discriminer techniquement des compétiteurs minime ceinture bleue, de compétiteurs *1° dan* de niveau départemental ou régional, dans la limite des conditions de ce travail.

5.3) Données relatives aux saisies

5.3.1) Données sélectionnées

Les données disponibles en lien avec les saisies concernent exclusivement les appareils positionnés au niveau des avant-bras. Sur ces brassards, les données des EMG et des centrales inertielles sont enregistrées. À partir de ces dernières, plusieurs possibilités étaient donc offertes :

- exploiter les données de l'accéléromètre selon les trois axes, ou en les normant afin d'analyser les accélérations des avant-bras ;
- exploiter les données du magnétomètre selon les trois axes afin d'étudier les positions des avant-bras ;
- utiliser les données des EMG de surface afin d'analyser l'intensité de contraction musculaire des muscles préhenseurs.

Cette dernière possibilité a été retenue, car elle nous permet d'espérer observer le niveau de contraction musculaire des avant-bras des judokas. Plus précisément, nous nous attendons à pouvoir analyser des données témoignant des techniques de saisie par la capacité à adopter une attitude de relâchement musculaire. Comme précédemment expliqué, la saisie permet de créer le contact avec l'adversaire afin d'agir sur lui. Le fait d'adopter une posture de relâchement apparaît comme un principe d'économie et d'efficacité dans les phases d'opposition. Ces propos sont confirmés dans différents ouvrages fédéraux et professionnels, par exemple :

- « *En ce qui concerne la façon de tenir, il est des débutants qui essaient de dominer leur adversaire en agrippant fortement le judogi. Cette façon de faire fatigue les mains, rend impossible une rupture habile de l'équilibre de l'autre, et empêche également la liberté de mouvement. Pour cette raison, veillez à tenir votre adversaire avec douceur et souplesse.* » (Fédération française de judo 1950)
- « *D'une manière générale, une bonne saisie est celle qui permet un contact étroit mais non bloqué de l'adversaire. Une trop grande raideur des coudes et des poignets peut donner une fausse impression de sécurité, car on a le sentiment de pouvoir maintenir Uke à distance. Surtout, il devient difficile de modifier rapidement sa position par rapport à Uke et une contraction prolongée a tendance à remonter le centre de gravité.* » (Inogai et Habersetzer 2002)

Ces descriptions sont liées de manière sous-jacente à une recherche d'économie et d'efficacité. Un affrontement est long et coûteux en énergie, relâcher les muscles préhenseurs des avant-bras lorsque nécessaire permet donc d'améliorer l'efficacité tout au long du combat.

Aussi, dans une approche comparative des trois groupes, il est apparu intéressant d'approfondir cet élément. L'hypothèse que nous pouvons ici formuler, au regard de notre expérience professionnelle et des écrits précédemment cités, est que le niveau de relâchement des muscles préhenseurs durant l'opposition est dépendant du niveau d'expertise. Hors des périodes où des efforts maximaux sont nécessaires à l'action, l'expert adopterait un niveau de relâchement supérieur au judoka du stade de l'étape « *contextuelle* ».

Autrement dit, sachant qu'un niveau d'activité musculaire accru chez un sujet équivaut à une augmentation de l'effort (Kallenberg et Hermens 2008), plus le judoka est expert, moins les EMG devraient être activés dans les phases non offensives. Plusieurs travaux ont en effet démontré que l'amplitude du signal d'un EMG de surface augmente linéairement ou de manière curvilinéaire avec l'augmentation l'effort musculaire (Akataki et al. 2004 ; Cao 2010 ; Ryan et al. 2008). En ce sens, l'analyse du niveau d'activation des EMG en fonction des zones d'effort apparaît alors pertinente. La quantification du temps passé dans des zones d'effort définies en référence à l'effort maximal sera donc l'élément de comparaison de chacun des groupes.

5.3.2) Séquençage des données

Préalablement au traitement du signal, un séquençage est indispensable. À ce niveau, nous disposons des signaux correspondant aux 30 « *randori* » retenus et synchronisés avec les vidéos. Pour chaque « *randori* » les signaux issus des huit EMG de chacun des bras sont à traiter. Nous souhaitons dans ce cas analyser les saisies. Or, durant les combats, les judokas ne ne tiennent pas toujours le « *judogi* » adverse. Ils sont parfois dans des périodes où ils essaient d'installer leur « *kumi-kata* » sans pour autant qu'une seule main ne soit posée. À d'autres moments, une seule main est posée sur l'adversaire. Les temps durant lesquels une main ne saisit pas doivent donc être retirés des données traitées ultérieurement. Aussi, les temps que nous considérons comme devant être extraits sont les suivants :

- pour chaque main : temps durant lesquels il n'y a pas de contact avec « *uke* » ;
- temps durant lesquels les deux sujets sont au sol.

En prenant en compte ces critères, les séquences sont visualisées par notre regard « expert » avec le logiciel Kinovéa[®]. Les tranches à retirer sont identifiées et reportées sur l'horodatage. Cette opération est répétée sur l'ensemble des 30 séquences retenues et pour chacun des deux bras. Nous procédons donc au total à 60 opérations de séquençage. Les signaux conservés sont mis bout à bout pour la suite de l'analyse.

5.3.3) Traitement du signal

5.3.2.1) Données brutes

Les EMG mesurent des données avec une fréquence d'acquisition de 200 Hz et enregistrent de manière bipolaire afin de mesurer une différence de potentiel (Korb et al. 2013). Les tensions de sortie varient entre -30mV et +80mV puis sont numérisées par le processeur du brassard qui exécute ainsi un premier filtre en transformant le signal analogique en signal numérique (Sattar et al. 2021). Les signaux correspondent à un signal numérique fonctionnant sur 8 bits, soit 256 valeurs réparties de -128 à 127.

La figure suivante correspond aux signaux bruts d'un brassard positionné sur un avant-bras durant un « randori ».

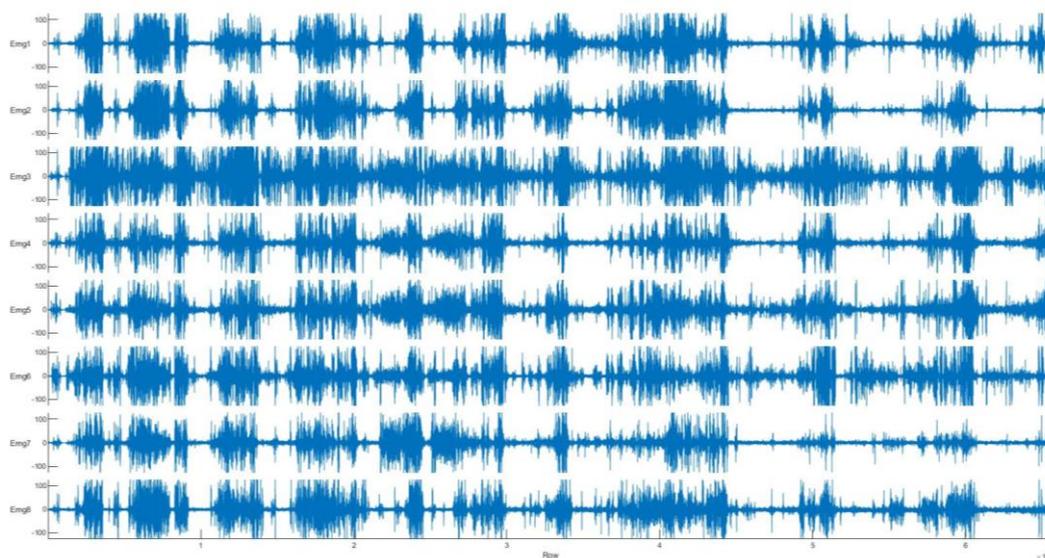


Figure 42 : signaux bruts des 8 EMG de l'avant-bras gauche du sujet 22 lors du « randori ». Abscisses : temps en ms ; Ordonnées : bits. Source : Matlab.

En l'état, les signaux sont inexploitable pour deux raisons. Tout d'abord, la qualité bipolaire des données rend les signaux peu lisibles et il est préférable de les redresser afin que toutes les valeurs soient positives. Ensuite, nous disposons de huit signaux pour un avant-bras et il serait intéressant de pouvoir les regrouper en un seul, révélateur de l'intensité globale de la contraction musculaire.

5.3.2.2) Deux méthodes de traitement d'un signal EMG

La littérature concernant le traitement des signaux EMG est pléthorique. Eu égard à la complexité de ces signaux, plusieurs méthodologies sont proposées, et il nous est difficile d'en justifier une en particulier au détriment d'une autre. Nous avons donc choisi de traiter ces signaux à l'aide de deux méthodes différentes puis d'en comparer les résultats.

La première semble être la plus courante (Fuglsang-Frederiksen 2000 ; Kallenberg et Hermens 2008). Il s'agit de la méthode dite RMS^{227} qui s'appuie sur le calcul des valeurs efficaces, également appelées moyennes quadratiques. La RMS correspond à la racine carrée de la moyenne du carré de cette grandeur sur un intervalle de temps donné. Cette méthode est la plus courante dans les études exploitant les signaux EMG de brassards « *Myo* » (Casarano et al. 2019; Totty et Wade 2018). Elle présente l'avantage de permettre de redresser et filtrer le signal grâce à la même opération.

La seconde méthode s'exécute en deux temps. Le premier consiste à redresser le signal, c'est-à-dire l'exprimer sous forme de valeurs strictement positives. Pour cela, il est possible de calculer la valeur absolue de chaque valeur discrète du signal EMG (Basmajian et De Luca 1985). Puis, dans un second temps il est alors nécessaire d'appliquer un filtre passe-bas, soit par la méthode des moyennes mobiles, soit à l'aide d'un *Butterworth* (Payton et Burden 2007). Aucune étude exploitant les brassards « *Myo* » ne semble avoir adopté cette méthode.

Enfin, quelle que soit la méthode utilisée, il est indispensable de transformer les huit signaux en un seul, révélateur du niveau d'activité global des muscles préhenseurs. Pour cela, il est possible de simplement moyenner les huit signaux EMG déjà traités. Plus précisément, pour un instant t , les huit valeurs traitées sont moyennées. Plusieurs études s'appuyant sur le « *Myo* » utilisent cette méthode (Cold et al. 2021; Totty et Wade 2018).

²²⁷ « *Root Mean Square* »

5.3.2.3) Traitement du signal par méthode *RMS*

La *RMS* correspond à la racine carrée de la moyenne du carré de cette grandeur sur un intervalle de temps donné. Afin de pouvoir la paramétrer sur les signaux, il est nécessaire de définir en amont la taille de la fenêtre glissante. La littérature exploite différentes amplitudes de fenêtres allant de 100ms (Crawford et al. 2021) à 500ms (Katsavelis et Threlkeld 2014). Nous avons procédé à différents essais dans cet intervalle, par tranches de 50ms. Le signal qui présente le meilleur compromis entre précision et lisibilité correspond à un choix de fenêtre glissante de 250ms (Gonçalves et al. 2011; Pereira et al. 2011). La méthode *RMS* avec une fenêtre de 250ms est donc appliquée à l'ensemble des signaux à traiter. Puis, les huit signaux sont regroupés en étant moyennés.

Le graphe suivant illustre ce traitement pour 60s d'un l'avant-bras en situation de « *randori* ».

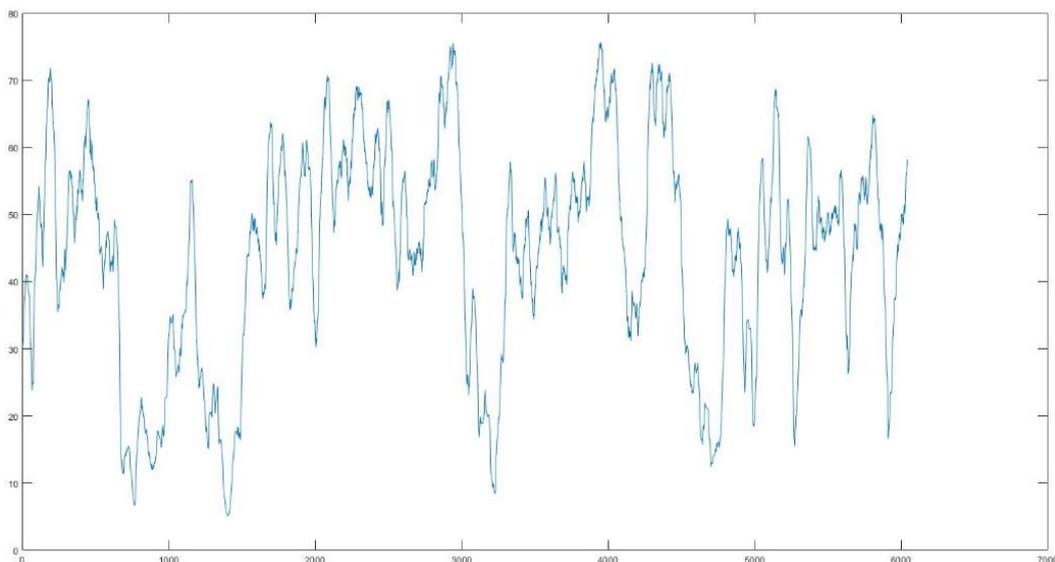


Figure 43 : signal traité par la méthode *RMS* de l'EMG de l'avant-bras gauche du sujet 22 lors de 60s de « *randori* ». Abscisses : temps en ds ; Ordonnées : bits. Source : Matlab.

5.3.2.1) Traitement du signal par redressement et lissage

La seconde méthode s'exécute en deux temps : redressement puis lissage. Nous redressons le signal par le calcul de la valeur absolue de chaque valeur discrète (Basmajian et De Luca 1985). Puis, dans un second temps il est nécessaire de lisser le signal afin d'atténuer les variations abruptes et souligner la tendance moyenne de l'activation musculaire mais également d'éliminer le bruit et les artefacts. Comme pour le traitement des signaux des accéléromètres, plusieurs techniques sont recensées dans la littérature dont le filtre *Butterworth*.

Toutefois, la technique de la moyenne glissante semble particulièrement adaptée pour éliminer les artefacts qui pourraient subsister après avoir moyenné les signaux, mais également pour rendre le signal plus lisible (Chowdhury et al. 2013; Payton et Burden 2007). Cette méthode a le mérite d'être simple dans sa mise en œuvre tout en ayant une efficacité intéressante. De plus, elle nous permet de conserver une cohérence dans l'utilisation des outils puisque c'est celle-ci qui a été retenue pour l'analyse du traitement du signal dans la sous-partie précédente.

Comme pour la méthode *RMS*, il est nécessaire de définir une fenêtre de calcul. La littérature exploitant cette méthode sur des signaux EMG propose différentes fenêtres allant de 10 points (Anderson et al. 2013), en passant par 60ms (Soylu et al. 2006) ou 250ms (Stokes 2005), jusqu'à 500ms (Vera-Garcia et al. 2010). Dans un souci de cohérence et afin que les signaux traités par les deux méthodes puissent être comparés, nous retenons, comme pour la méthode *RMS*, une fenêtre de 250ms. Puis, les huit signaux sont regroupés en étant moyennés.

Les graphiques suivant illustrent ce traitement en deux temps pour 60s de l'avant-bras en situation de « *randori* ».

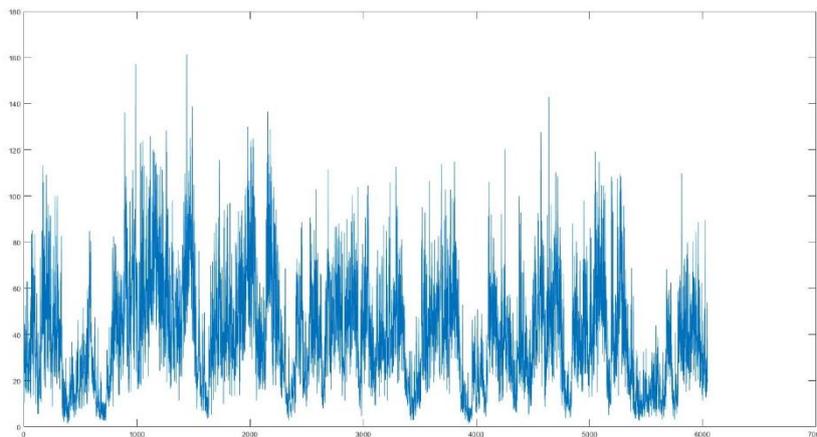
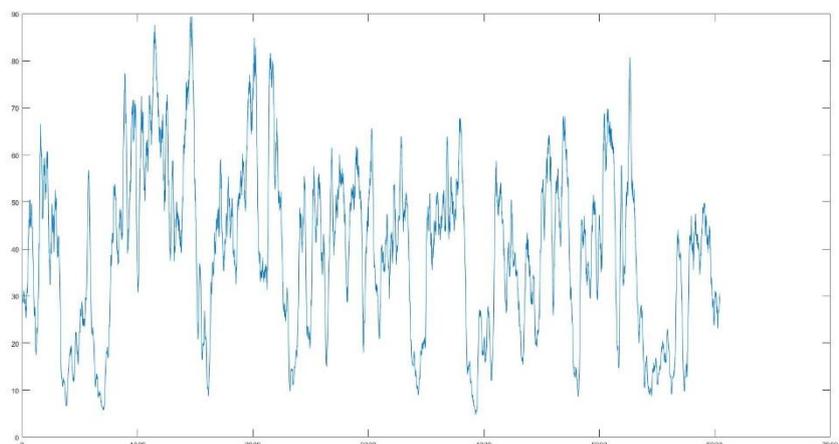


Figure 44 : signal traité par redressement puis lissage par moyenne glissante de l'EMG de l'avant-bras gauche du sujet 22 lors de 60s de « *randori* ». Abscisses : temps en ds ; Ordonnées : bits. Source : Matlab.



5.3.4) Traitement des données

5.3.4.1) Contraction maximale, pourcentage de contraction maximale

Lorsque l'EMG de surface est utilisé, l'activité musculaire est généralement normalisée en référence aux contractions isométriques volontaires maximales (Quittmann et al. 2020). Autrement dit, il est demandé aux sujets d'exécuter une contraction la plus intense possible et cette dernière est prise en référence en étant considérée comme un niveau de contraction de 100%. Toutes les autres contractions pendant les séquences de mesure sont alors quantifiées en pourcentage de contraction maximale. Cette méthode est courante pour l'analyse des signaux EMG issus d'activités sportives (Chuang et Acker 2019) et a également déjà été utilisée sur les muscles préhenseurs des avant-bras (Smith et al. 2021). La limite de cette méthode est qu'il peut arriver, durant la phase de mesure, que les contractions générées soient supérieures à celle servant d'étalon et mesurée en amont. Lorsque la séquence de mesure est suffisamment longue, une solution consiste alors à utiliser en référence la contraction maximale produite durant les mesures.

Eu égard à la durée de nos séquences, nous retenons cette seconde solution. Les signaux sont ensuite analysés en référence à cette contraction maximale estimée. Vingt tranches avec intervalles de 5% et allant de 0% à 100% sont constituées. Pour chaque signal, elles permettent de calculer le temps passé dans chacune des tranches et ainsi de proposer une courbe symbolisant les intensités de contraction durant un combat. En moyennant les pourcentages pour chaque tranche, il est alors possible de proposer une schématisation pour les trois groupes.

5.3.4.2) Comparaison « *bras fort* » / « *bras faible* »

Nous souhaitons tout d'abord rechercher les éventuelles différences significatives entre les résultats obtenus pour les bras « *forts* » et les bras « *faibles* ». Les données individuelles apparaissent raisonnablement normales Aussi, dans ce but, des tests *t-student* sont utilisés. Pour chacune des vingt tranches définies, ils permettent de comparer deux à deux les deux bras pour un même groupe de niveau. Ils sont réalisés sur les données issues de nos deux méthodes de traitement du signal. Le tableau suivant synthétise les résultats des tests :

% 1-RM	<u>MÉTHODE RMS</u>						<u>REDRESSEMENT - LISSAGE</u>					
	<i>p-value</i> bras fort/faible par groupe			coefficient de corrélation bras fort/faible par groupe			<i>p-value</i> bras fort/faible par groupe			coefficient de corrélation bras fort/faible par groupe		
	1- Cont	2- Inter	3- Exp	1- Cont	2- Inter	3- Exp	1- Cont	2- Inter	3- Exp	1- Cont	2- Inter	3- Exp
0-5	0,241	0,814	0,052	0,08	0,12	0,04	0,228	0,177	0,165	0,72	0,13	0,25
5-10	0,347	0,042	0,116	0,68	-0,02	-0,04	0,634	0,026	0,346	0,57	-0,07	-0,09
10-15	0,829	0,122	0,088	0,83	0,30	-0,06	0,354	0,096	0,491	0,45	0,57	0,26
15-20	0,713	0,117	0,631	0,69	0,67	0,31	0,375	0,277	0,486	0,44	0,47	0,40
20-25	0,671	0,217	0,471	0,66	0,90	0,51	0,962	0,636	0,548	0,06	0,58	0,31
25-30	0,810	0,309	0,236	0,66	0,63	0,27	0,970	0,881	0,480	0,33	0,08	0,38
30-35	0,793	0,660	0,424	0,69	0,50	0,26	0,735	0,577	0,489	0,21	0,19	0,16
35-40	0,940	0,483	0,676	0,58	0,11	0,37	0,511	0,149	0,292	0,27	0,43	-0,12
40-45	0,674	0,165	0,727	0,31	-0,02	0,27	0,574	0,133	0,860	0,48	-0,04	0,45
45-50	0,586	0,104	0,473	0,67	0,44	0,07	0,802	0,118	0,567	0,49	0,39	0,31
50-55	0,894	0,120	0,989	0,57	0,09	0,05	0,408	0,087	0,333	0,29	0,26	0,30
55-60	0,858	0,150	0,581	0,52	0,67	-0,03	0,363	0,126	0,483	-0,09	0,47	0,05
60-65	0,802	0,152	0,193	0,65	0,89	-0,12	0,297	0,290	0,979	0,10	0,40	0,59
65-70	0,712	0,100	0,120	0,71	0,68	0,08	0,461	0,826	0,866	0,09	0,47	0,73
70-75	0,898	0,300	0,099	0,72	0,28	0,38	0,750	0,750	0,834	0,66	0,65	0,86
75-80	0,988	0,287	0,239	0,75	0,14	0,64	0,781	0,958	0,790	0,68	0,49	0,89
80-85	0,722	0,442	0,518	0,64	0,00	0,77	0,889	0,950	0,670	0,16	0,23	0,73
85-90	0,412	0,800	0,408	0,54	-0,06	0,82	0,866	0,767	0,605	-0,10	-0,08	0,51
90-95	0,950	0,997	0,263	0,55	-0,08	0,68	0,877	0,920	0,908	-0,11	-0,09	0,44
95-100	0,621	0,253	0,268	0,19	0,15	0,55	0,542	0,936	0,326	0,08	0,04	0,64

Tableau 20 : comparaison des pourcentages de temps passés dans chaque tranche d'intensité pour chaque bras par test t-student, et pour les méthodes RMS de redressement-lissage.

Seule une *p-value* est inférieure à 5% sur la tranche 5-10% pour le groupe 2²²⁸. Les résultats sont identiques pour les deux méthodes. Du fait son aspect isolé et avec une *p-value* > 1%, nous faisons le choix de l'écartier pour considérer la globalité des résultats.

L'analyse des coefficients de corrélation montre des corrélations positives, ou bien des absences de corrélation. Quelques résultats sont négatifs mais sont toutefois à relativiser car le plus élevé atteint une valeur de -0,12 considérée comme une corrélation nulle.

Nous pouvons donc en conclure qu'il n'existe pas de différence significative entre les résultats des bras forts et des bras faibles. En conséquence, pour chaque individu, il est possible de retenir la moyenne des pourcentages des bras par individu. Cela permettra d'obtenir des résultats plus robustes.

²²⁸ Étape « intermédiaire ».

5.3.5) Résultats pour les deux méthodes

À la suite de la réalisation de cette moyenne « *bras fort / bras faible* » pour chacun des individus, les pourcentages moyens par groupe et par tranches de 5% sont alors calculés. Les données apparaissant comme raisonnablement normales, des tests *t-student* sont réalisés pour chacune des tranches et comparent deux à deux les groupes. Ces calculs sont effectués avec les données issues des deux méthodes de traitement du signal.

% 1-RM	MÉTHODE RMS						REDRESSEMENT - LISSAGE					
	Temps moyen passé dans chaque tranche (en %)			<i>p-value</i>			Temps moyen passé dans chaque tranche (en %)			<i>p-value</i>		
	G1 contex	G2 inter	G3 exp	G1 / G2	G1 / G3	G2 / G3	G1 contex	G2 inter	G3 exp	G1 / G2	G1 / G3	G2 / G3
0-5	0,1%	0,7%	0,9%	0,058	0,007	0,644	0,4%	2,5%	2,0%	0,035	0,005	0,586
5-10	1,3%	3,6%	3,8%	0,025	0,002	0,878	2,1%	5,0%	5,7%	0,003	0,001	0,433
10-15	2,3%	4,1%	4,5%	0,064	0,013	0,628	4,1%	5,5%	6,1%	0,262	0,062	0,545
15-20	3,9%	5,2%	5,5%	0,311	0,129	0,805	6,2%	6,9%	7,3%	0,634	0,408	0,741
20-25	5,0%	6,1%	6,3%	0,402	0,257	0,909	7,4%	9,0%	8,6%	0,246	0,275	0,782
25-30	6,1%	7,7%	7,4%	0,299	0,319	0,833	8,4%	10,1%	9,4%	0,119	0,355	0,500
30-35	6,5%	8,0%	8,2%	0,276	0,216	0,863	9,4%	9,0%	9,9%	0,693	0,634	0,286
35-40	7,4%	8,0%	8,1%	0,670	0,630	0,913	11,1%	8,9%	9,1%	0,070	0,091	0,770
40-45	8,3%	8,0%	8,5%	0,824	0,845	0,405	11,5%	8,4%	8,3%	0,004	0,002	0,921
45-50	8,5%	7,9%	8,1%	0,520	0,699	0,630	10,3%	7,8%	7,5%	0,016	0,003	0,654
50-55	8,9%	7,0%	7,7%	0,017	0,090	0,182	8,7%	6,6%	6,4%	0,022	0,008	0,788
55-60	8,4%	6,9%	6,9%	0,094	0,045	0,992	6,4%	5,7%	5,3%	0,353	0,124	0,666
60-65	8,2%	6,6%	6,1%	0,219	0,060	0,566	4,5%	4,7%	4,4%	0,842	0,868	0,739
65-70	7,5%	6,0%	5,3%	0,263	0,099	0,470	3,3%	3,5%	3,4%	0,832	0,928	0,913
70-75	6,4%	4,7%	4,4%	0,254	0,171	0,690	2,3%	2,3%	2,4%	0,979	0,966	0,940
75-80	4,8%	4,0%	3,5%	0,516	0,312	0,564	1,6%	1,8%	1,8%	0,660	0,729	0,924
80-85	3,4%	2,5%	2,3%	0,363	0,262	0,700	1,1%	1,1%	1,2%	0,923	0,788	0,835
85-90	1,9%	1,8%	1,5%	0,924	0,525	0,513	0,7%	0,7%	0,7%	0,986	0,983	0,963
90-95	0,8%	0,9%	0,9%	0,896	0,958	0,973	0,4%	0,4%	0,3%	0,714	0,703	0,913
95-100	0,4%	0,4%	0,3%	0,696	0,529	0,712	0,2%	0,2%	0,1%	0,759	0,150	0,067

Tableau 21 : comparaison des pourcentages de temps passés dans chaque tranche d'intensité par t-test t-student et pour les méthodes RMS et redressement-lissage.

La méthode *RMS* démontre une différence significative avec une *p-value* inférieure à 5% entre les groupes 1 et 2 sur les intensités 5%-10% et 50%-55% et une différence significative entre les groupes 1 et 3 sur les intensités 0%-15% et 50%-60%. La méthode redressement-lissage démontre une différence significative avec une *p-value* inférieure à 5% entre les groupes 1 et 2 et les groupes 1 et 3 sur les intensités 0%-10% et 40%-55%. Quelle que soit la méthode, il n'y a pas de différence significative entre les groupes 2 et 3.

5.3.6) Vérification de l'hypothèse

L'hypothèse formulée concernant les saisies était que le niveau de relâchement des muscles préhenseurs durant l'opposition était dépendant du niveau d'expertise. Autrement dit, hors des périodes où des efforts maximaux sont nécessaires à l'action, le niveau de relâchement des muscles préhenseurs des avant-bras est proportionnel à l'expertise : plus le judoka devient expert et plus il est relâché.

La quantification du temps passé dans chaque zone d'effort au cours d'un combat était notre indicateur. Les zones d'effort ont été définies par tranches de 5% en référence à la 1-RM estimée au cours de la séquence. Deux méthodes de traitement du signal ont été utilisées afin de rendre les résultats plus robustes.

Nos résultats permettent de valider cette hypothèse entre les groupes 2 et 3 constitués des sujets qui ont les meilleurs niveaux, et le groupe 1 avec des judokas d'un niveau inférieur. Concrètement, les sujets des groupes 2 et 3 passent plus de temps au cours de leur « *randori* » dans la zone d'intensité de contraction musculaire comprise entre 0 et 15% par rapport à ceux du groupe 1²²⁹. Inversement, les sujets du groupe 1 passent plus de temps au cours de leur « *randori* » dans la zone d'intensité de contraction musculaire comprise entre 40 et 60% par rapport à ceux des groupes 2 et 3²³⁰.

À l'inverse, nos résultats ne nous permettent pas de valider l'hypothèse pour les groupes 2 et 3. Le groupe 3 étant théoriquement d'un niveau supérieur au groupe 2, pour valider l'hypothèse, il aurait été nécessaire d'observer des différences significatives sur certaines tranches entre ces deux groupes. Or, au sein de notre échantillon, il n'existe pas de différence significative entre le groupe « *expert* » et le groupe « *intermédiaire* ». En conséquence, nous n'avons pas pu observer que le niveau de relâchement des muscles préhenseurs durant l'opposition était un indicateur permettant de discriminer techniquement des compétiteurs 1^o *dan* de niveau régional de compétiteurs de niveau national première division.

²²⁹ Plus précisément : (1) par méthode *RMS*, 0 à 15% entre groupe 1 et groupe 3, et 5 à 10% entre groupe 1 et groupe 2 ; (2) par méthode redressement-lissage, 0 à 10% entre groupe 1 et groupe 3, et 0 à 10% entre groupe 1 et groupe 2.

²³⁰ Plus précisément : (1) par méthode *RMS*, 0 à 15% entre groupe 1 et groupe 3, et 5 à 10% entre groupe 1 et groupe 2 ; (2) par méthode redressement-lissage, 0 à 10% entre groupe 1 et groupe 3, et 0 à 10% entre groupe 1 et groupe 2.

5.4) Données relatives aux projections

5.4.1) Données sélectionnées

Les données disponibles en lien avec les techniques de projection sont multiples. Elles peuvent concerner l'ensemble des six capteurs positionnés sur « *tori* » et « *uke* ». Après avoir utilisé les données issues des EMG pour l'analyse des saisies, celles issues des accéléromètres apparaissent comme intéressantes et pertinentes. Pour rappel, nous avons été conduits à exclure l'utilisation du magnétomètre dont l'utilisation est complexe et peu fiable en raison de sa sensibilité aux sources de bruit environnementales (Ahmad et al. 2013). Aussi, plusieurs possibilités sont offertes :

- Calculer la norme des mesures des trois axes du brassard positionné sur la ceinture de « *tori* » afin d'obtenir des informations sur les accélérations de son centre de gravité²³¹, les accélérations en translation et les accélérations angulaires peuvent être exploitées ;
- utiliser les données de l'axe (*x*) qui correspondent aux accélérations verticales des pieds, normer les axes (*y*) et (*z*) qui correspondent aux axes parallèles au sol, ou encore normer les mesures des trois axes afin d'obtenir les accélérations globales des pieds en translation ou en rotation ;
- normer les mesures des trois axes des brassards positionnés sur les bras afin d'obtenir les accélérations globales des pieds en translation ou en rotation²³² ;
- normer les mesures des trois axes du brassard positionné sur la ceinture de « *uke* » afin d'obtenir des informations sur les accélérations de son centre de gravité, les accélérations en translation et les accélérations angulaires peuvent être exploitées.

Eu égard aux formes variées de « *seoi-nage* », les données issues des bras peuvent difficilement être conservées. Ce qui différencie en grande partie les techniques « *ippon-seoi-nage* », « *morote-seoi-nage* » ou « *eri-seoi-nage* », c'est le positionnement et l'action des bras. Il serait donc difficile de comparer ces données et pour cette raison nous ne les retenons pas.

²³¹ Le positionnement du brassard sur la ceinture rend aléatoire son orientation par rapport au sujet. Il n'est donc pas possible d'exploiter un axe en particulier des brassards placés sur les ceintures de « *uke* » et « *tori* ».

²³² Contrairement aux brassards positionnés sur les pieds pour lesquels l'orientation horizontale/verticale reste globalement identique, l'orientation des bras change constamment. Il n'est donc pas envisageable d'utiliser les données d'accélérations d'un unique axe.

À l'inverse, les actions des jambes et des pieds sont semblables quelle que soit la technique de « *seoi-nage* » utilisée. Les accélérations en translation normées des brassards positionnés sur les deux chevilles semblent donc particulièrement intéressantes à comparer. La rotation du bassin pour tourner le dos à l'adversaire est aussi une constante de ces formes. Aussi, l'analyse de la norme des accélérations angulaires du brassard positionné sur « *tori* » apparaît tout spécialement intéressante. Enfin, la norme des accélérations en translation du brassard du « *uke* » permet d'obtenir des informations sur la chute et le moment de son impact.

Grâce à ces données, et dans une perspective comparative, il nous paraît envisageable d'analyser deux phases de la technique de projection : le placement et la projection en elle-même. Plusieurs modèles évoqués jusqu'à présent décomposent les techniques de projection en plusieurs phases. Le modèle culturaliste dissocie le « *kuzushi* » qui correspond à la première étape de déséquilibre, du « *tsukuri* » qui est la phase de placement et enfin du « *kake* », la conclusion du geste : la projection (Coche et Renault 1989). Blais démontre que les deux premières phases sont en fait imbriquées, le « *tsukuri* » débutant durant le « *kuzushi* » (Blais 2004 ; Blais et Trilles 2004).

Cadière propose un modèle similaire mais justifié par les phases mécaniques du geste : la « *préaction* » permet de faire réagir l'adversaire pour anticiper le mouvement, elle est suivie du lancement qui consiste en un placement de « *tori* » et durant lequel « *les moments sont*

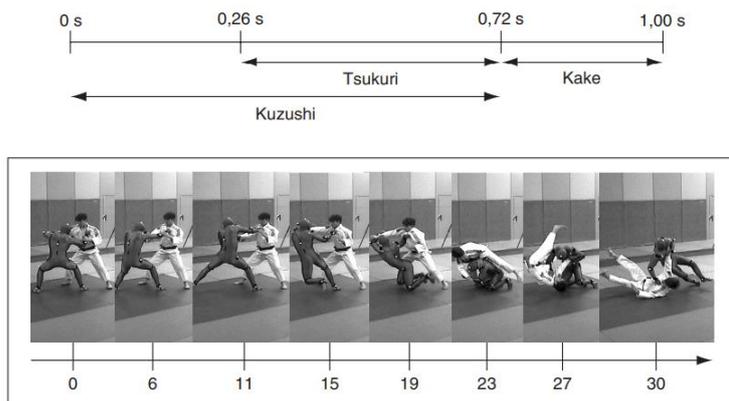


Figure 45 : kinogramme modélisant le « *kuzushi* », « *tsukuri* » et « *kake* » d'un « *seoi-nage* ». Source : Blais 2004.

transmis au corps de l'attaqué », et enfin le « *guidage* » lorsque « *les corps de l'attaquant et*

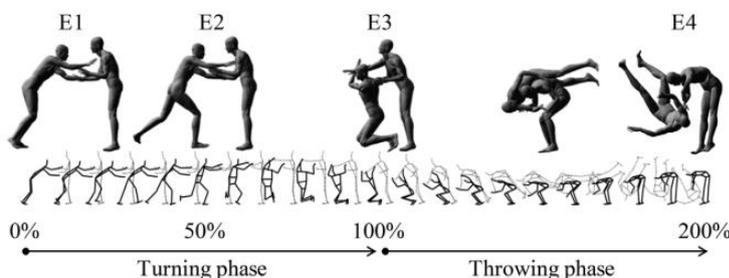


Figure 46 : kinogramme modélisant le « *turning phase* » et le « *throwing phase* » d'un « *seoi-nage* ». Source : Ishii et al. 2018.

du défenseur entrent en contact » (Cadière et Trilles 1998). Pour les mouvements dans lesquels « *tori* » tourne le dos, Ishii propose un modèle plus simple en deux temps : la « *turning phase* » puis la « *throwing phase* » (Ishii et al. 2018).

Les ouvrages professionnels décrivent peu l'évolution en fonction du niveau d'expertise de ces phases. Les techniques y sont plutôt décrites de manière analytique en référence au geste du champion, ou intégrées dans un schéma tactique. Pour obtenir des informations plus fines sur la réalisation du geste, il est dans ce cas nécessaire de se tourner vers la littérature scientifique qui a étudié les « *seoi-nage* ». Les deux études prises en exemple nous paraissent intéressantes au regard des données à notre disposition.

L'étude de Blais analyse « *seoi-nage* » sur cinq experts et propose une modélisation de la technique basée sur des invariants²³³ (Blais et Trilles 2004). Parmi eux, deux ont attiré notre attention car ils sont visualisables grâce aux données à notre disposition. L'auteur précise que le début du pivot, c'est-à-dire de la rotation, est enclenché par les membres inférieurs, puis le pivot du haut du corps lié à la torsion des hanches et des épaules n'intervient que dans un second temps. En creux, l'hypothèse de l'auteur est que si ces éléments sont toujours présents chez les experts et toujours dans le même ordre, ce n'est pas toujours le cas chez des sujets de niveau inférieur. Le temps global d'exécution de la technique semble aussi différent puisqu'il serait d'environ 1 seconde pour les experts contre 1,4 à 1,7 seconde pour des niveaux plus modestes. Ainsi, plus un judoka serait expert, plus il serait rapide dans l'exécution de la technique de projection.

L'étude d'Ishii compare l'exécution de « *seoi-nage* » entre trois experts et un groupe de judokas universitaires de bon niveau lors des phases de rotation et des phases de projection. L'étude ne permet pas de mettre en évidence de différence significative entre les deux groupes dans le temps d'exécution global du geste. Toutefois, l'auteur démontre que le temps de rotation, c'est-à-dire le placement, est plus court chez l'expert, cela s'expliquant principalement par des vitesses angulaires plus importantes pour passer de la phase face à « *uke* » à celle de dos. La vitesse de rotation durant la « *turning phase* » qui correspond au « *tsukuri* », serait donc un élément discriminant de l'expertise alors que la phase de projection ne pourrait pas être considérée comme tel.

Les résultats de ces études sont toutefois à mesurer, et nous permettent en l'état de seulement formuler des hypothèses. Toutes deux sont réalisées en situation de coopération à l'aide de « *nage komi* » et sur un nombre de sujets très réduit²³⁴.

²³³ Figure 9, page 94.

²³⁴ Cinq experts pour l'études de Blais et trois experts pour l'étude de Ishii.

L'objectif en judo étant de faire tomber l'adversaire et dans le même temps de ne pas chuter, la capacité à surprendre son adversaire en le prenant de vitesse est fondamentale. En ce sens la rapidité d'exécution technique pour les projections est des plus stratégique.

Aussi, dans une approche comparative des trois groupes, il est apparu intéressant d'approfondir cet élément. L'hypothèse que nous pouvons ici formuler, au regard de notre expérience professionnelle et des écrits précédemment cités, est que la phase de placement du mouvement est plus rapide chez l'expert par rapport au non expert, sans qu'il n'y ait pour autant de différence dans la phase de projection. Autrement dit, plus le judoka devient expert, plus il est rapide dans sa capacité à se placer en tournant le dos à « *uke* ».

En ce sens, les pics d'accélération angulaire de la ceinture de « *tori* » ainsi que les pics d'accélération de ses jambes seront des indicateurs concernant la phase de placement du sujet et permettront de comparer les groupes entre eux. Le temps s'écoulant entre le premier pic, et le dernier pic d'accélération correspondant au placement, sera également un indicateur intéressant. Il permettra en outre d'observer si le mouvement est initié par les jambes ou bien à l'inverse par le bassin. Enfin, le temps compris entre le dernier pic d'accélération de la phase de placement et le pic d'accélération de la ceinture de « *uke* » correspondant à son impact au sol pourra servir d'élément de comparaison entre les groupes pour analyser la durée de la phase de projection.

5.4.2) Séquençage des données

Préalablement au traitement des données, un séquençage des fichiers à disposition est indispensable. À ce niveau, nous disposons des données correspondant aux 30 « *randori* » retenus et synchronisés avec les vidéos. Nous souhaitons dans ce cas analyser les techniques. Il est donc nécessaire d'extraire de nos séquences les seules données correspondant à ces actions.

Pour déterminer une action comme valide et pouvant être analysée, nous avons retenu les critères suivants qui doivent obligatoirement être combinés :

- projection grâce à une forme de type « *seoi-nage* » ;
- et ayant permis de marquer une valeur, c'est-à-dire un « *waza-ari* » ou un « *Ippon* ».

En prenant en compte ces critères, les séquences sont visualisées par notre regard « expert ». Le logiciel libre Kinovéa® est utilisé. Il permet de faire défiler la vidéo image par image et d'identifier ainsi à la milliseconde près les tranches à retenir. Elles sont ensuite extraites du fichier Excel grâce à l'horodatage. Cette opération est répétée sur l'ensemble des 30 séquences retenues. Le nombre d'actions valides par séquence est compris entre 0 et 3. En application des critères, les techniques suivantes ont été retenues :

Sujet	Tps randori (min/sec)	Valeur 1 (valeur / technique / temps)	Valeur 2 (valeur / technique / temps)	Valeur 3 (valeur / technique / temps)
1	2'30	ippon / ippon D tsurite / 2'23		
2	2'47	ippon / ippon D tsurite / 1'34		
3	3'00	ippon / ippon G tsurite / 1'55		
4	4'28	waza / ippon G / 1'54	ippon / eri G / 2'50	
5	2'45	aucune valeur		
6	2'44	ippon / morote D / 0'22	ippon / ippon G / 1'40	
7	4'08	ippon / ippon D tsurite / 2'15		
8	4'20	ippon / ippon D tsurite / 1'53	ippon / eri G / 4'17	
9	2'40	ippon / morote D / 1'00		
10	4'43	ippon / ippon G tsurite / 1'26		
11	3'19	ippon / ippon D tsurite / 2'23		
12	2'34	ippon / morote D / 1'54	ippon / ippon G tsurite / 2'13	
13	4'27	ippon / morote D / 0'29	ippon / morote D / 1'49	
14	4'55	aucune valeur		
15	2'33	waza / ippon G tsurite / 0'31	ippon / ippon G tsurite / 2'00	
16	4'58	aucune valeur		
17	4'04	ippon / eri D / 1'50		
18	3'26	ippon / ippon D tsurite / 2'10		
19	2'47	aucune valeur		
20	4'25	ippon / ippon D / 1'03	ippon / ippon D / 2'48	ippon / ippon D / 3'51
21	3'09	ippon / ippon D tsurite / 2'30	ippon / ippon D tsurite / 3'06	
22	3'22	ippon / ippon G tsurite / 0'43	ippon / ippon G tsurite / 2'23	
23	2'39	aucune valeur		
24	2'30	ippon / ippon G tsurite / 0'15		
25	2'48	ippon / ippon D / 2'12		
26	3'45	waza / ippon D / 0'23		
27	2'42	ippon / morote G tsurite / 0'52	ippon / morote G tsurite / 1'16	
28	2'38	waza / eri D / 1'43	ippon / eri D / 2'01	
29	2'30	ippon / ippon D tsurite / 2'26	ippon / ippon D tsurite / 2'26	
30	4'08	ippon / morote D / 1'48	ippon / ippon D tsurite / 4'04	

Figure 47 : temps de combat par séquence et typologie des actions ayant entraîné une valeur – tableau exhaustif

5.4.3) Traitement du signal

Les données retenues lors de la phase précédente sont les suivantes : accélérations angulaires de la ceinture de « *tori* », accélérations des deux pieds de « *tori* » et accélérations de la ceinture de « *uke* ».

Pour toutes, les trois axes ont donc été conservés. Dans ce cas, les axes pris indépendamment les uns des autres n'ont aucune utilité car la complexité du geste ne nous permet pas de replacer les accélérations dans un repère. Une technique consiste alors à déterminer l'accélération moyenne à partir de la norme des trois accélérations (Arif et Kattan 2015). Elle a été appliquée à l'ensemble de nos données.

Enfin, il est procédé à un lissage afin d'éliminer le bruit et les artefacts et de rendre les signaux plus lisibles. Afin de conserver une cohérence dans le traitement des signaux, une moyenne mobile arithmétique est utilisée avec un nombre de points intermédiaires identique au traitement des signaux des pieds, c'est-à-dire $N=5$. Les graphes suivants illustrent les différents signaux ainsi obtenus pour une technique de projection.

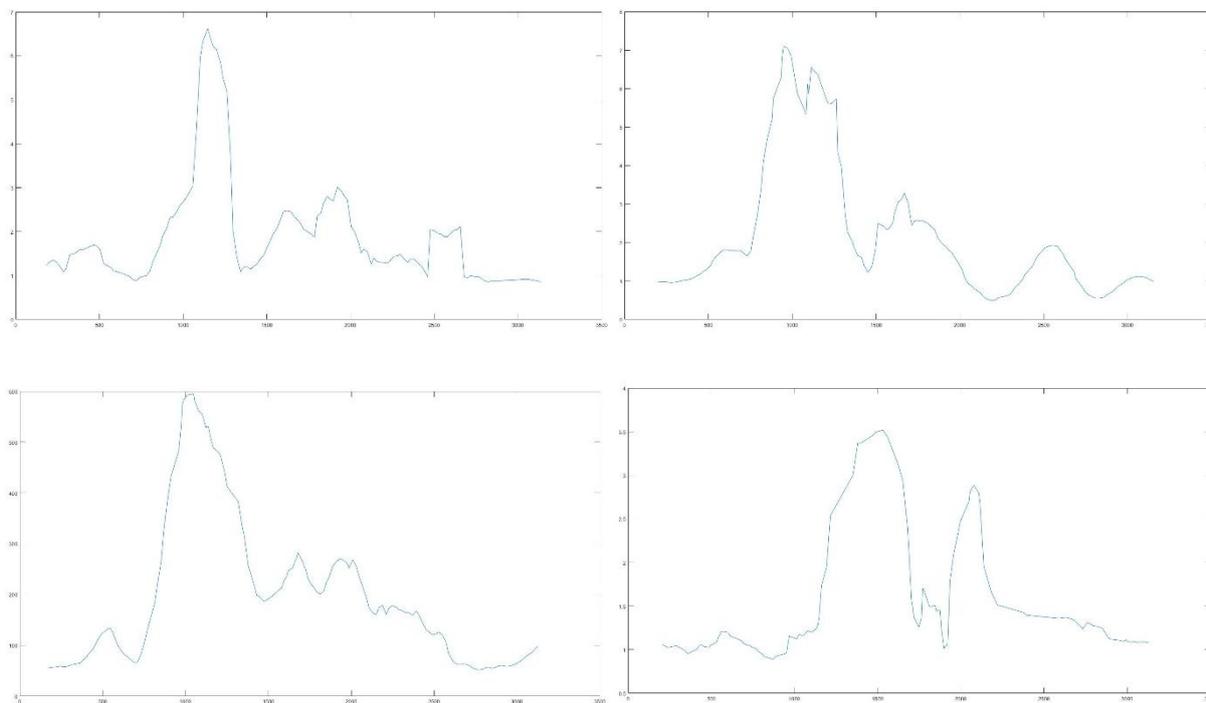


Figure 48 : représentation graphique de l'action n°2 du sujet n°2. Technique « *eri-seoi-nage* » gauche ayant conduit à un « *lppon* ». De gauche à droite et de haut en bas : accélérations jambe gauche, accélérations jambe droite, accélérations angulaires ceinture « *tori* », accélérations ceinture « *uke* ». Abscisses : ms ; Ordonnées : m/s^2 ou rad/s^2 . Source : Matlab.

5.4.4) Traitement des données et résultats

5.4.4.1) Phase de placement

Afin de comparer les actions dans leur phase de placement, les amplitudes du pic d'accélération angulaire de la ceinture, et les amplitudes du pic d'accélération de la jambe forte et de la jambe faible de « *tori* » sont recueillies. Ces valeurs permettront d'effectuer des comparaisons des actions entre les groupes.

Groupe 1 Étape « contextuelle »				Groupe 2 Étape « intermédiaire »				Groupe 3 Étape « expertise »			
Sujet	Acc Pic ceinture (rad/s ²)	Acc Jam Forte (m/s ²)	Acc Jam Faible (m/s ²)	Sujet	Acc Pic ceinture (rad/s ²)	Acc Jam Forte (m/s ²)	Acc Jam Faible (m/s ²)	Sujet	Acc Pic ceinture (rad/s ²)	Acc Jam Forte (m/s ²)	Acc Jam Faible (m/s ²)
11	826	6,5	5,7	3	604	5	5,5	1	647	6,4	5,9
21	1270	4,7	5,2	6	415	2,8	3,8	2	578	6,4	10,5
21	1213	4,1	5,8	6	290	9	3,3	4	636	7,1	6,4
23	600	4,3	8	9	485	6,4	8,7	4	581	7,1	6,4
24	457	4,3	6,4	12	958	6,6	7,3	7	721	7,2	9,8
25	490	3,9	4,4	12	880	6,5	4,6	8	554	8,6	7
26	422	8,7	6,5	13	553	7,3	5	8	510	4,6	5,4
27	372	4,1	4	13	574	6,7	5,6	10	574	8,2	7,6
27	522	5	3,6	15	455	7,7	8	18	588	8,6	10,4
28	854	4,3	3,1	15	610	6,5	8,2	22	514	8,8	3,6
				17	604	6,7	7,9	22	771	10,7	9
				20	635	5,5	5,4	30	621	5,3	6,5
				20	790	3,4	8,6	30	460	10,5	6,6
				20	462	3,6	6,1				
				29	342	4,3	6,7				
Moy.	703	5,0	5,3	Moy.	577	5,9	6,3	Moy.	592	7,8	7,4

Tableau 22 : pics d'accélération des jambes fortes et faibles et pics d'accélération angulaire de la ceinture de « *tori* » par action ayant entraîné une valeur – tableau exhaustif

Tout d'abord, nous souhaitons rechercher les éventuelles différences significatives entre les résultats obtenus pour les jambes « *fortes* » et « *faibles* ». Les données individuelles apparaissant comme raisonnablement normales, des tests *t-student* sont appliqués deux à deux afin de comparer les données au sein d'un même groupe, mais aussi sur l'ensemble des sujets.

Comparaison	<i>p-value</i>
Forte / faible - tous sujets	$p = 0,766$
Forte / faible – groupe 1 « contextuelle »	$p = 0,683$
Forte / faible – groupe 2 « intermédiaire »	$p = 0,489$
Forte / faible – groupe 3 « expertise »	$p = 0,661$

Tableau 23 : comparaison des pics d'accélération jambe « forte » / jambe « faible » par test *t-test*

Aucune *p-value* n'est inférieure à 5%. Il n'existe donc aucune différence significative entre les accélérations moyennes des jambes fortes et faibles. Il est dès lors nécessaire d'analyser le coefficient de corrélation entre les deux jambes.

Groupe	Coefficient de corrélation
Groupe 1 « contextuelle » - jambe faible/forte	$R = 0,28$
Groupe 2 « intermédiaire » - jambe faible/forte	$R = -0,06$
Groupe 3 « expertise » - jambe faible/forte	$R = 0,16$

Tableau 24 : coefficients de corrélation des pics d'accélération jambe « forte » / jambe « faible »

Il n'y a pas de corrélation entre la jambe « faible » et la jambe « forte ». En conséquence, pour chaque individu, il est possible de retenir la moyenne des accélérations des deux jambes. Cela permettra d'obtenir des résultats plus robustes. À la suite de la réalisation de cette moyenne « jambe forte / jambe faible » pour chacun des individus, les résultats par sujet et par appartenance de groupe sont présentés dans le tableau suivant :

Groupe 1 Étape « contextuelle »			Groupe 2 Étape « intermédiaire »			Groupe 3 Étape « expertise »		
Sujet	Acc Pic ceinture (rad/s ²)	Acc Jambes (m/s ²)	Sujet	Acc Pic ceinture (rad/s ²)	Acc Jambes (m/s ²)	Sujet	Acc Pic ceinture (rad/s ²)	Acc Jambes (m/s ²)
11	826	6,1	3	604	5,25	1	647	6,15
21	1270	4,95	6	415	3,3	2	578	8,45
21	1213	4,95	6	290	6,15	4	636	6,75
23	600	6,15	9	485	7,55	4	581	6,75
24	457	5,35	12	958	6,95	7	721	8,5
25	490	4,15	12	880	5,55	8	554	7,8
26	422	7,6	13	553	6,15	8	510	5
27	372	4,05	13	574	6,15	10	574	7,9
27	522	4,3	15	455	7,85	18	588	9,5
28	854	3,7	15	610	7,35	22	514	6,2
			17	604	7,3	22	771	9,85
			20	635	5,45	30	621	5,9
			20	790	6	30	460	8,55
			20	462	4,85			
			29	342	5,5			
Moy.	703	5,1	Moy.	577	6,1	Moy.	592	7,6

Tableau 25 : pics d'accélération moyens des jambes et pics d'accélération angulaire de la ceinture de « tori » par action ayant entraîné une valeur – tableau exhaustif

Les données étant indépendantes et les données individuelles apparaissant comme raisonnablement normales, des tests *t-student* sont utilisés afin de comparer deux à deux les données des groupes pour les accélérations angulaires de la ceinture et pour les accélérations des jambes. Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Comparaison	<i>p-value</i> accélérations angulaire ceinture « tori »	<i>p-value</i> accélérations jambes « tori »
Groupe 1 « contextuelle » - groupe 2 « intermédiaire »	$p = 0,233$	$p = 0,062$
Groupe 1 « contextuelle » - groupe 3 « expertise »	$p = 0,271$	$p = 0,001$
Groupe 2 « intermédiaire » – groupe 3 « expertise »	$p = 0,733$	$p = 0,011$

Tableau 26 : comparaison des pics d'accélération des jambes et de la ceinture de « tori » par tests t-student

Les résultats du test ne montrent aucune différence significative entre les trois groupes concernant les accélérations angulaires du brassard positionné sur la ceinture de « tori ». Les résultats du test montrent une différence significative concernant les accélérations des jambes avec un $p < 0,001$ entre le groupe 1 et le groupe 3 des « experts », et avec un $p < 0,01$ entre le groupe 2 et le groupe 3. Il n'y a pas de différence significative concernant les accélérations des jambes entre les groupes 1 et 2, même si toutefois nous nous en approchons.

L'horodatage des pics d'accélération des jambes et de la ceinture de « tori » est également consigné. Pour chaque sujet, la différence entre l'horodatage du premier et du dernier pic est calculée. Ce temps permet de quantifier la durée du geste et de comparer les sujets à partir d'un même indicateur. Enfin, l'origine de chaque pic est consignée afin de recenser la zone corporelle initiatrice du mouvement.

Groupe 1 Étape « contextuelle »				Groupe 2 Étape « intermédiaire »				Groupe 3 Étape « expertise »			
Sujet	Temps Mvnt (ms)	Qualité Pic 1	Qualité Pic 2	Sujet	Temps Mvnt (ms)	Qualité Pic 1	Qualité Pic 2	Sujet	Temps Mvnt (ms)	Qualité Pic 1	Qualité Pic 2
11	687	Forte	Faible	3	240	Ceint.	Ceint.	1	817	Forte	Forte
21	489	Faible	Forte	6	705	Forte	Forte	2	220	Ceint.	Forte
21	415	Faible	Forte	6	638	Ceint.	Faible	4	584	Faible	Faible
23	599	Forte	Forte	9	516	Forte	Ceint.	4	200	Faible	Forte
24	532	Faible	Faible	12	264	Faible	Forte	7	324	Forte	Forte
25	945	Faible	Faible	12	951	Faible	Forte	8	203	Faible	Faible
26	1195	Forte	Faible	13	348	Faible	Ceint.	8	388	Ceint.	Forte
27	777	Forte	Ceint.	13	177	Faible	Forte	10	313	Faible	Faible
27	347	Forte	Ceint.	15	817	Forte	Forte	18	386	Ceint.	Forte
28	932	Forte	Faible	15	341	Forte	Faible	22	509	Faible	Faible
				17	968	Faible	Forte	22	139	Faible	Forte
				20	333	Faible	Forte	30	463	Forte	Forte
				20	542	Faible	Forte	30	531	Faible	Ceint.
				20	383	Ceint.	Ceint.				
				29	1028	Forte	Faible				
Moy.	692			Moy.	550			Moy.	355		

Tableau 27 : intervalle de temps entre le dernier pic de la phase de placement et l'impact de « uke » au sol. Qualité des premiers et derniers pics de la phase de placement du mouvement. Tableau exhaustif.

Les données étant indépendantes et les données individuelles apparaissant comme raisonnablement normales, des tests *t-student* sont utilisés afin de comparer deux à deux les données des groupes pour les temps de placement. Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Comparaison	<i>p-value</i>
Groupe 1 « contextuelle » - groupe 2 « intermédiaire »	$p = 0,227$
Groupe 1 « contextuelle » - groupe 3 « expertise »	$p = 0,005$
Groupe 2 « intermédiaire » – groupe 3 « expertise »	$p = 0,099$

Tableau 28 : comparaison des temps de placement du mouvement par *t-student*

Les résultats du test montrent une différence significative entre les groupes 1 et 3 avec un $p < 0,01$. Il n'existe pas de différence significative entre le groupe 2 et le groupe 3 et les groupes 1 et 2.

Le tableau de recueil de données nous permet également de constater qu'il existe une variabilité dans la zone à l'origine du mouvement. Le tableau suivant synthétise, en pourcentage, par groupe et en cumulé, l'origine de la zone initiant le mouvement.

Comparaison	Jambe <i>Forte</i>	Jambe <i>Faible</i>	Ceinture
Groupe 1 « contextuelle »	50%	50%	0%
Groupe 2 « intermédiaire »	33%	47%	20%
Groupe 3 « expertise »	23%	54%	23%
Cumulé (somme 3 groupes)	37%	47%	16%

Tableau 29 : zones corporelles à l'initiative du mouvement de « seoi-nage »

5.4.4.2) Phase de projection

Afin de comparer les sujets dans la phase de projection, le temps entre le dernier pic d'accélération dans la phase de placement et le pic d'accélération de la ceinture de « uke » est mesuré. Le pic d'accélération de la ceinture de « uke » correspond à son impact avec le sol lors de la chute. Cet indicateur permet de comparer les groupes entre eux concernant le temps d'exécution de la projection.

Groupe 1 Étape « contextuelle »		Groupe 2 Étape « intermédiaire »		Groupe 3 Étape « expertise »	
Sujet	Tps Projection (ms)	Sujet	Tps Projection (ms)	Sujet	Tps Projection (ms)
11	818	3	1407	1	671
21	726	6	1518	2	1004
21	823	6	1307	4	323
23	485	9	1054	4	908
24	822	12	670	7	744
25	1162	12	109	8	588
26	1202	13	773	8	698
27	1062	13	755	10	844
27	1240	15	480	18	678
28	1299	15	343	22	1145
		17	1020	22	902
		20	891	30	777
		20	868	30	843
		20	955		
		29	844		
Moy.	964	Moy.	866	Moy.	707

Tableau 30 : temps de projection par technique ayant entraîné une valeur – tableau exhaustif

Les données étant indépendantes et les données individuelles apparaissant comme raisonnablement normales, des tests *t-student* sont utilisés afin de comparer deux à deux les données des groupes pour les temps de projection. Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Comparaison	<i>p-value</i> Temps de projection
Groupe 1 « contextuelle » - groupe 2 « intermédiaire »	$p = 0,490$
Groupe 1 « contextuelle » - groupe 3 « expertise »	$p = 0,073$
Groupe 2 « intermédiaire » – groupe 3 « expertise »	$p = 0,467$

Tableau 31 : comparaison des temps de projection par test *t-student*

Les résultats du test ne montrent pas de différence significative entre les groupes 1 et 3, les groupes 2 et 3 et les groupes 1 et 2.

5.4.5) Vérification de l'hypothèse

L'hypothèse formulée concernant les techniques de projection présentait une double valence :

- la phase de placement du mouvement serait plus rapide chez l'expert par rapport au non expert ;
- et la durée de réalisation de la phase de projection ne serait pas un facteur discriminant du niveau d'expertise.

Autrement dit, plus le judoka deviendrait expert, plus il serait rapide dans sa capacité à se placer en tournant le dos à « *uke* ». Une fois « *tori* » placé, l'expert ne serait pas plus rapide pour projeter l'adversaire au sol par rapport au non expert.

Les pics d'accélération angulaire de la ceinture de « *tori* » ainsi que les pics d'accélération de ses jambes et de la ceinture de « *uke* » nous ont permis de proposer des indicateurs visant à valider ou invalider cette hypothèse. Nous avons ainsi comparé les pics d'accélération des jambes, les pics d'accélération de la rotation du bassin, ainsi que les durées des phases de placement et de projection entre les différents groupes.

Concernant la phase de placement, nos résultats permettent en partie de valider l'hypothèse :

- À propos de la durée de placement : les résultats font apparaître une différence significative dans le temps de placement entre le groupe 3 « *expert* » et le groupe 1 « *contextuelle* ». Il n'existe pas de différence significative dans le temps de placement entre les groupes 1 et 2 et entre les groupe 2 et 3. La durée de la phase de placement sur la technique « *seoi-nage* » est donc un indicateur permettant de discriminer techniquement des compétiteurs minime ceinture bleue de compétiteurs de niveau national première division. La *p-value* observée associée à la taille de nos échantillons ne nous permet pas d'affirmer que la durée de placement est un paramètre discriminant entre les compétiteurs minime ceinture bleue et les compétiteurs *1° dan* de niveau régional, et entre les compétiteurs *1° dan* de niveau régional et les compétiteurs de niveau national première division.
- À propos des accélérations des jambes : les pics d'accélération des jambes durant cette phase de placement montrent des différences significatives entre les groupes 2 et 3 et

entre les groupes 1 et 3. Les judokas « *experts* » ont donc une accélération plus importante de leurs jambes lors de la phase de placement de la technique « *seoi-nage* » par rapport à des compétiteurs minimes ceinture bleue ou des *1° dan* de niveau régional. Il n'y a pas de différence significative dans l'accélération des jambes lors de la phase de placement entre les sujets de l'étape « *contextuelle* » et ceux de l'étape « *intermédiaire* ». En somme, l'accélération des jambes pourrait être un paramètre permettant d'expliquer les différences de durée dans la phase de placement entre les groupes.

- À propos de l'accélération angulaire du bassin : il n'existe aucune différence significative dans les pics d'accélération angulaire du bassin entre les trois groupes. Ainsi, nos résultats ne nous permettent pas d'affirmer que l'accélération de la rotation du bassin est un paramètre permettant d'expliquer les différences de durée dans la phase de placement entre les groupes.

Au final, la vitesse d'exécution de la phase de placement apparaît bien comme un élément discriminant en fonction du niveau d'expertise. Nos résultats laissent supposer que l'accélération des jambes permet en partie d'expliquer cette différence. À l'inverse, nos résultats ne nous permettent pas d'affirmer que l'accélération de la rotation du bassin permet d'expliquer ces différences de vitesse.

Concernant la phase de projection l'hypothèse est totalement validée car il n'y a aucune différence significative entre les trois groupes dans la durée de la phase de projection. Ces résultats sont toutefois à nuancer compte tenu de la petite taille de notre échantillon car le fait de ne pas pouvoir observer une significativité ne signifie pas pour autant qu'elle n'existerait pas avec un échantillon plus important. Les résultats obtenus dans le cadre de ce travail, avec les limites qui lui sont propres, laissent à penser que la vitesse de projection n'est pas un critère discriminant entre des compétiteurs minime ceinture bleue et des compétiteurs de première division.

5.5) Synthèse des résultats

Dans le cadre de notre démarche « *bottom-up* », nous avons procédé aux mesures sans préalablement émettre d'hypothèse motrice. Par la suite, après avoir mûri notre réflexion et exploré l'ensemble des données à notre disposition, nous avons fait le choix de sélectionner certaines d'entre elles. Croisées avec des connaissances professionnelles ou scientifiques issues d'ouvrages et d'articles, elles nous ont permis d'émettre des hypothèses. Ce chapitre était exclusivement consacré à l'analyse et au traitement des données nécessaires à la validation de ces hypothèses. Par conséquent, les données non utiles à ces dernières n'ont pas été abordées. Chacune des sous-parties s'est conclue par les résultats des tests statistiques utiles à la validation des hypothèses et par une conclusion sur la validation des hypothèses. L'objectif n'était pas jusqu'à présent d'interpréter ces résultats.

Le tableau suivant synthétise l'ensemble de nos hypothèses et précise leur validation en fonction de la comparaison des groupes deux à deux.

	Déplacements	Saisies	Technique de projection	
			Placement	Projection
Hypothèse	<i>La variabilité des accélérations des pieds est inversement proportionnelle au niveau d'expertise</i>	<i>Le relâchement des muscles préhenseurs des avant-bras est proportionnel à l'expertise</i>	<i>La vitesse de placement de la technique est proportionnelle à l'expertise</i>	<i>La vitesse de projection n'est pas dépendante de l'expertise</i>
G1 / G2	<i>Non validée</i>	<i>Validée</i>	<i>Validée</i>	<i>Validée</i>
G2 / G3	<i>Non validée</i>	<i>Non Validée</i>	<i>Partiellement validée</i>	<i>Validée</i>
G1 / G3	<i>Validée</i>	<i>Validée</i>	<i>Validée</i>	<i>Validée</i>
Capacité discriminante globale	<i>Validée</i>	<i>Validée</i>	<i>Validée</i>	<i>Validée</i>

Tableau 32 : synthèse de la validation des hypothèses

Le chapitre suivant vise à interpréter l'ensemble de ces résultats et à proposer des orientations pédagogiques, le tout dans une approche pluridisciplinaire.

CHAPITRE 6

ANALYSE ET

PROPOSITIONS

D'INTERVENTION

Les résultats montrés au chapitre précédent permettent désormais de pouvoir répondre à nos deux dernières problématiques.

Notre troisième problématique visait à comparer des groupes avec différents niveaux d'habileté et ayant précédemment acquis les techniques. En cela, notre objectif de recherche était d'analyser la dynamique de progression des habiletés techniques. La dernière visait à comparer les résultats de nos mesures avec des données empiriques formulées par des professionnels du judo. Notre objectif de recherche est ici d'entériner ces connaissances par une double validation scientifique et professionnelle.

La première partie de ce chapitre s'appuie sur nos résultats statistiques afin d'apporter des éléments de réponse. Chacune des trois composantes de notre modèle y sera abordée sous le prisme des approches biomécanique et technologique. La première vise à décrire finement, à partir des résultats, les gestes mesurés. Dans le cadre de l'approche technologique, nous souhaitons confronter les résultats issus des mesures biomécaniques avec la vision

d'enseignants « *experts* ». Nous comparerons donc l'analyse du geste issue de nos mesures avec les réponses à un questionnaire de ces enseignants.

La seconde partie s'appuie sur les théories de l'apprentissage, et notamment la théorie dynamique et le curriculum conatif pour analyser la dynamique de progression des habiletés. Cette sous-partie à visée synthétique, n'a pas vocation de réaliser une analyse exhaustive, détaillée et complète en convoquant ces théories, mais bien à démontrer que les données obtenues peuvent être analysées au prisme de multiples approches. En convoquant différents champs scientifiques, nous souhaitons ainsi nous inscrire, très modestement, dans une approche plus globale proche du courant parlebasien. La mise en interrelation de l'ensemble de nos résultats permettra ainsi d'esquisser une approche complexe du modèle.

Ensuite, en cohérence avec les approches parlebasienne et technologique, nous formulerons quelques propositions d'intervention qui s'appuient sur les résultats de nos recherches. Ces propositions sont à la fois les nôtres, mais s'appuient également sur des entretiens semi-directifs menés avec des enseignants « *experts* » et « *référence* » dans le milieu du judo français. Ces propositions n'ont pas vocation à être des situations d'apprentissage ou d'entraînement détaillées, mais plutôt, sans pour autant adopter une posture prescriptive, des orientations.

Enfin, nous aborderons et développerons les limites de notre méthodologie et des résultats qu'elle a permis de produire. Si aucune étude, d'autant plus en contexte écologique, ne peut présenter un protocole parfait, exempt de toute critique, il est *a minima* nécessaire d'exposer les limites de ce dernier afin de pouvoir prendre de la hauteur sur ses propres résultats et en relativiser la portée.

6.1) Approches biomécanique et technologique

L'objectif de cette sous-partie est de reprendre les résultats obtenus et détaillés dans le chapitre précédent, et de les analyser au prisme des techniques des judokas. Puis ces données sont mises en perspective avec les résultats d'un questionnaire diffusé auprès d'enseignants experts. Nous opèrerons cette analyse par composantes de notre modèle appréhendées de façon indépendante. La première sous-partie présente le questionnaire utilisé pour l'étude. L'approche par la complexité, qui vise à croiser l'ensemble de ces composantes, sera abordée dans la sous-partie suivante s'appuyant sur les théories de l'apprentissage.

6.1.1) Présentation du questionnaire

L'approche technologique nécessite des collaborations étroites et régulières au fil de la recherche entre chercheur et praticien. Lors de la dernière étape de la démarche, Mouchet préconise que « *l'évaluation résulte de la confrontation des données produites par la recherche et des considérations des acteurs* » (Mouchet et al. 2010). C'est dans ce but que nous souhaitons croiser les données issues de nos mesures avec celles d'enseignants et entraîneurs experts de l'activité.

6.1.1.1) Élaboration du questionnaire

Nous avons élaboré à partir des résultats de nos recherches un questionnaire à leur destination. Celui-ci s'appuie sur nos conclusions et interroge les acteurs, selon leur perception, leur expérience et leur sensibilité, sur leur validité.

Nous avons construit un questionnaire de type auto-administré, avec passation individuelle et transmission par internet (De Singly 1992). Celui-ci était constitué de questions d'identification, de questions cibles et de questions de remplissage (Salès-Wuillemin 2006). Les premières permettent de caractériser l'enquêté ; pour chaque enquêté, nous avons relevé le plus haut diplôme d'enseignant détenu, l'ancienneté en tant qu'enseignant et le grade. L'identité des répondants est facultative, ceux-ci ne sont pas tenus de la communiquer pour pouvoir répondre. Les questions cibles concernent directement notre objet de recherche et permettent à l'enquêté de se positionner. Enfin, les questions de remplissage ont pour objectif de limiter l'effet de halo ou les biais de cohérence ; elles reformulent les questions cibles en les posant

différemment et notamment en sens inverse. Les questions de remplissage valident les réponses aux cibles et sont ensuite supprimées. Au total, 15 questions cibles ont été posées aux enquêtés, soit 5 par catégorie de notre modèle. Le détail des questions cibles est proposé dans chacune des sous-parties suivantes dans la thématique correspondante.

Les réponses sont proposées sous la forme d'une échelle composée d'adjectifs antithétiques (Osgood et al. 1957). Aussi, sous le terme générique « *question* », ce sont en fait des affirmations qui sont fournies aux enquêtés, et sur lesquelles ils doivent prendre position. Une échelle à quatre niveaux est proposée : « *tout à fait d'accord* », « *plutôt d'accord* », « *plutôt pas d'accord* » et « *pas du tout d'accord* ». Pour éviter les biais classiques dans ce type de questionnaire, tels que l'effet primauté ou de récence (De Ketele et Roegiers 2009), l'ordre d'apparition des adjectifs et l'ordre d'apparition des questions a été manuellement modifié toutes les 12 heures. Volontairement, il n'est pas proposé de réponse neutre afin d'imposer à l'enseignant de se positionner. L'adverbe « *plutôt* » permet à l'enquêté de répondre, s'il le souhaite, avec mesure et de ne pas se sentir enfermé dans une réponse binaire. Toutefois, afin d'en simplifier le traitement et surtout de pouvoir les mettre en relation avec les données mécaniques, l'ensemble des réponses seront ensuite regroupées en « *d'accord* » ou « *pas d'accord* ».

Afin de préciser le cadre de l'enquête et informer les sujets sur la nature de leurs réponses, les questions sont précédées du chapeau suivant : « *Ce questionnaire est réalisé dans le cadre d'une recherche s'intéressant à la progression technique en judo. Il s'adresse exclusivement à des enseignants de judo professionnels ou bénévoles titulaires d'un diplôme ou en formation cette année (niveau minimum CFEB pour les bénévoles). La durée indicative pour le compléter est de l'ordre de 5 à 10 min. Les données recueillies resteront totalement anonymes. Les professeurs répondant au questionnaire n'ont d'ailleurs aucune obligation d'indiquer leurs coordonnées.* »

Le questionnaire est formalisé à l'aide de la solution « *Google Forms* » qui présente l'avantage d'être gratuite, ergonomique, simple d'utilisation et généralement déjà connue des enquêtés. De plus, les données sont automatiquement accessibles grâce à un tableau en ligne.

6.1.1.2) Diffusion des questionnaires et profil des enquêtés

La solution « *Google Forms* » permet en outre de rendre le questionnaire directement accessible en ligne pour qui en possède le lien. Ainsi, il a été diffusé via internet grâce à notre réseau fédéral et professionnel. Tout enseignant diplômé ou en formation était autorisé à répondre. Diffusé sur une durée de quatre jours, le questionnaire a obtenu au total 85 réponses.

Le nombre important de réponses à notre disposition nous a permis d'opérer un tri dans les questionnaires. Souhaitant en priorité nous appuyer sur les avis d'enseignants experts, nous avons finalement retenu uniquement les réponses émanant d'enquêtés ayant plus de 10 ans d'expérience. Suite à ce tri, restent 51 réponses soit le seuil communément admis des 50 questionnaires nécessaires pour ce type d'enquête. Les caractéristiques relatives aux profils des enquêtés sont communiquées dans le tableau suivant.

Expérience d'enseignement	Entre 10 et 20 ans		Plus de 20 ans		
	27%		73%		
Diplôme possédé de niveau le plus élevé	CFEB / CQP	BPJEPS	BEES 1° ou DEJPEPS	BEES 2° ou DESJEPS	Licence STAPS judo
	6%	2%	51%	31%	10%
Grade	2° dan	3° dan	4° dan	5° dan	Haut-gradé
	16%	12%	25%	25%	22%

Tableau 33 : profil des enquêtés – données statistiques

6.1.1.3) Traitement des données

Après avoir écarté les réponses issues d'entraîneurs ayant une expérience insuffisante, les données restantes nécessitent un traitement. Tout d'abord, les réponses de certaines questions sont inversées pour que toutes aillent dans le même sens. Plus précisément, afin de rendre le questionnaire plus robuste, certaines ont été posées dans un sens correspondant à nos résultats alors que d'autres l'ont été par la négative ou en sens inverse. Le traitement suppose donc que toutes aient la même cohérence. Ensuite, les réponses « *plutôt d'accord* » et « *tout à fait d'accord* » sont regroupées sous l'item « *d'accord* » ; il en est de même pour les deux autres rassemblées sous le terme « *pas d'accord* ». Pour chaque question, nous obtenons donc un résultat avec un pourcentage d'enquêtés en accord avec l'affirmation.

Les données étant qualitatives, nous utilisons le test du *khi-deux* pour définir le nombre de réponses positives à partir duquel, pour 51 enquêtés, il est possible de considérer qu'ils sont en accord avec l'affirmation. Puisque seules deux valeurs sont possibles, « *d'accord* » ou « *pas d'accord* », et que 51 sujets ont été questionnés, nous définissons les valeurs attendues à 25,5. Le tableau suivant présente les *p-values* obtenues par cette méthode en fonction du nombre de réponses positives.

	31 d'accord 61%	32 d'accord 63%	33 d'accord 65%	34 d'accord 67%	35 d'accord 69%
<i>p-value</i>	0,123	0,069	0,036	0,017	0,008

Tableau 34 : *p-value* par test du *Khi-deux* en fonction du nombre de réponses positives par question

Le seuil en deçà duquel la *p-value* est inférieure à 5% est de 33 réponses, soit 65%. Ainsi, les questions ayant obtenu 33 réponses positives ou plus permettront de confirmer les affirmations de nos questions. Réciproquement, afin d'affirmer que notre échantillon est en désaccord avec l'affirmation proposée, cela nécessitera d'obtenir sur une question *a minima* 33 réponses « *pas d'accord* ».

6.1.2) Analyse des déplacements

6.1.2.1) Approche biomécanique

Afin d'analyser les déplacements, nous nous sommes appuyés sur les données des appareils positionnés sur les chevilles. Nous avons uniquement exploité les données de l'axe (*x*) du brassard qui correspondent aux accélérations locales verticales des pieds et qui coïncident lors des phases de déplacement debout à l'axe vertical global. L'analyse de la variabilité des accélérations selon cet axe nous a servi d'indicateur pour vérifier l'hypothèse émise.

Cette dernière postulait que le niveau d' « *ancrage* » au sol était dépendant du niveau d'expertise du judoka. Autrement dit, plus le judoka devient expert, moins les accélérations verticales de ses pieds sont importantes.

Nos résultats ont permis d'identifier une différence significative entre le groupe 1 correspondant à l'étape « *contextuelle* » et le groupe 3 « *expert* ». L'appareil étant positionné sur les chevilles, cela montre que mécaniquement les chevilles des judokas du groupe 1 subissent, durant un « *randori* », davantage d'accélérations verticales par rapport au groupe des experts. Si ce résultat est traduit en termes de conduites motrices, il signifie que les judokas du

premier groupe lèvent plus régulièrement leurs pieds du sol et/ou réalisent un plus grand nombre de mouvements de type flexion/extension tout en conservant leurs pieds en contact avec le sol.

Ces résultats confirment donc l'image utilisée d'« *ancrage* » au sol pour décrire les techniques de l'expert. Concrètement, il utilise une technique qui consiste à conserver ses pieds le plus en contact possible avec le sol, à les faire glisser, à conserver son centre de gravité bas en évitant de lui faire subir des oscillations par des accélérations verticales. Le judoka de l'étape « *contextuelle* », en comparaison, utilise une technique de déplacement qui l'amène à lever ses pieds plus régulièrement et à réaliser des flexion/extension plus fréquentes.

Nos résultats n'ont pas permis de constater une différence significative entre les groupes 1 et 2 et entre les groupes 2 et 3. Pour rappel, nos groupes sont constitués chacun de 10 sujets. Aussi, si une différence significative n'est pas constatée, cela ne signifie pas pour autant qu'elle n'existe pas. En effet, il est possible qu'elle puisse apparaître avec une taille d'échantillon plus conséquente.

Cependant, en l'état, le fait que nous ne puissions pas constater de différence entre les groupes ayant les niveaux les plus proches, et dans le même temps qu'une différence soit constatée entre les groupes des niveaux les plus éloignés, permet de supposer que la progression dans le niveau d'habileté des techniques de déplacement est linéaire. Autrement dit, il n'y aurait pas d'effet seuil à un instant t ou dans une étape particulière de la progression du judoka. Le graphe suivant symbolise, selon nos résultats, la progression de l'habileté technique de déplacement entre les étapes « *contextuelle* » et « *experte* ».

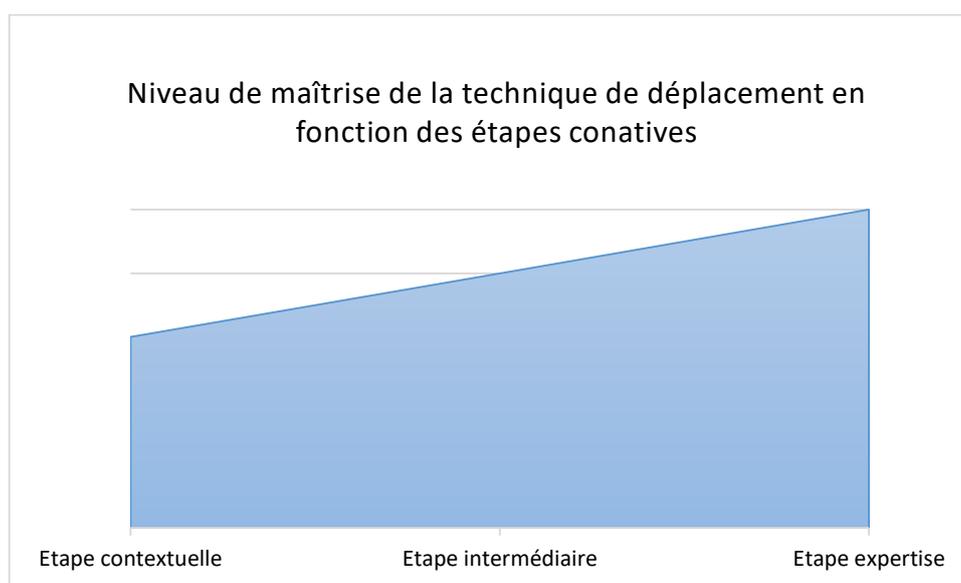


Figure 49 : schématisation du niveau de maîtrise de la technique de déplacement en fonction des étapes conatives

Malgré les quelques doutes subsistant quant à des non significativités sur certains tests, la globalité de nos résultats permet de valider notre hypothèse générale à propos des déplacements, à savoir que le niveau de maîtrise des techniques de déplacement est un paramètre révélateur du niveau d'expertise du judoka.

6.1.2.2) Approche technologique

Dès lors, nous souhaitons confronter ces résultats avec les réponses de notre échantillon d'enseignants experts sur cette thématique. Les affirmations qui leur ont été proposées ainsi que les réponses fournies sont détaillées dans le tableau ci-dessous.

Affirmation	Nombre « d'accord »	% « d'accord »
Lors des déplacements, les judokas confirmés lèvent davantage les pieds que les experts.	<u>46</u>	90%
Lors des déplacements, les experts lèvent moins régulièrement les pieds que des minimes ceinture bleue.	<u>39</u>	76%
Lors des déplacements, des judokas 1 ^o division ont les pieds qui glissent davantage par rapport à des compétiteurs de niveau départemental.	<u>36</u>	71%
La manière de se déplacer permet de caractériser le niveau d'un judoka.	<u>44</u>	86%
Lever les pieds lors des déplacements témoigne d'un faible niveau d'expertise.	<u>33</u>	65%

Tableau 35 : statistiques de réponse au questionnaire – section déplacements

Nous constatons que le seuil des 33 réponses « d'accord » est atteint ou dépassé pour l'ensemble de affirmations. Cela signifie que notre échantillon d'experts valide les cinq affirmations suivantes présentées dans le cadre du questionnaire et plus largement les données recueillies dans le cadre de nos mesures. Cela nous permet d'obtenir, sur cette thématique, une validation professionnelle de notre hypothèse générale, à savoir que le niveau de maîtrise des techniques de déplacement est un paramètre révélateur du niveau d'expertise du judoka.

Enfin, le fait que les données issues des mesures et les connaissances professionnelles convergent permet de supposer avec une très forte présomption que l'outil que nous avons développé est bien valide concernant la thématique des déplacements.

6.1.3) Analyse des saisies

6.1.3.1) Approche biomécanique

Afin d'analyser les saisies, nous nous sommes appuyés sur les données des EMG des appareils positionnés sur les avant-bras. Nous avons uniquement exploité les données des huit EMG positionnés sur chaque brassard et mis de côté les données des centrales inertielles. L'analyse du temps passé dans des intensités de contraction référées au niveau de contraction maximal au cours du combat a servi d'indicateur afin de vérifier l'hypothèse émise. Deux méthodes de traitement du signal ont été utilisées dans ce but.

L'hypothèse postulait que le niveau de relâchement des muscles préhenseurs durant l'opposition est dépendant du niveau d'expertise. Autrement dit, plus le judoka devient expert, plus il est en mesure de relâcher ses muscles préhenseurs durant un combat afin de les solliciter le moins possible.

Nos résultats ont permis d'identifier une différence significative, sur deux zones précises, entre le groupe 1 correspondant à l'étape « *contextuelle* » et les groupes 2 et 3 correspondant aux étapes « *intermédiaire* » et « *experte* ». En fonction de la méthode de traitement du signal utilisée, les zones ne sont pas strictement similaires au pourcentage près, mais les résultats restent malgré tout globalement identiques. Ces derniers démontrent que les judokas des groupes 2 et 3 passent plus de temps au cours du combat dans la zone de contraction correspondant à 0 à 15% de la 1-RM par rapport à ceux du groupe 1. Inversement, les sujets du premier groupe passent plus de temps au cours du combat dans la zone de contraction comprise entre 40 à 60% de la 1-RM par rapport à ceux des deux autres groupes.

Nos résultats n'ont pas permis de constater une différence significative entre les groupes 2 et 3. Nos groupes sont constitués chacun de 10 sujets. Aussi, si une différence significative n'est pas constatée, cela ne signifie pas pour autant qu'elle n'existe pas. En effet, il est possible qu'elle puisse apparaître avec une taille d'échantillon plus importante. Toutefois, dans ce cas, les valeurs constatées entre ces deux groupes sont réellement proches et similaires comme en témoigne le graphe présenté ci-après.

Il illustre ces résultats pour la méthode de traitement du signal *RMS*. Il met en évidence la répartition temporelle dans les différentes tranches d'intensité de contraction, au cours d'un « *randori* », en fonction des groupes.

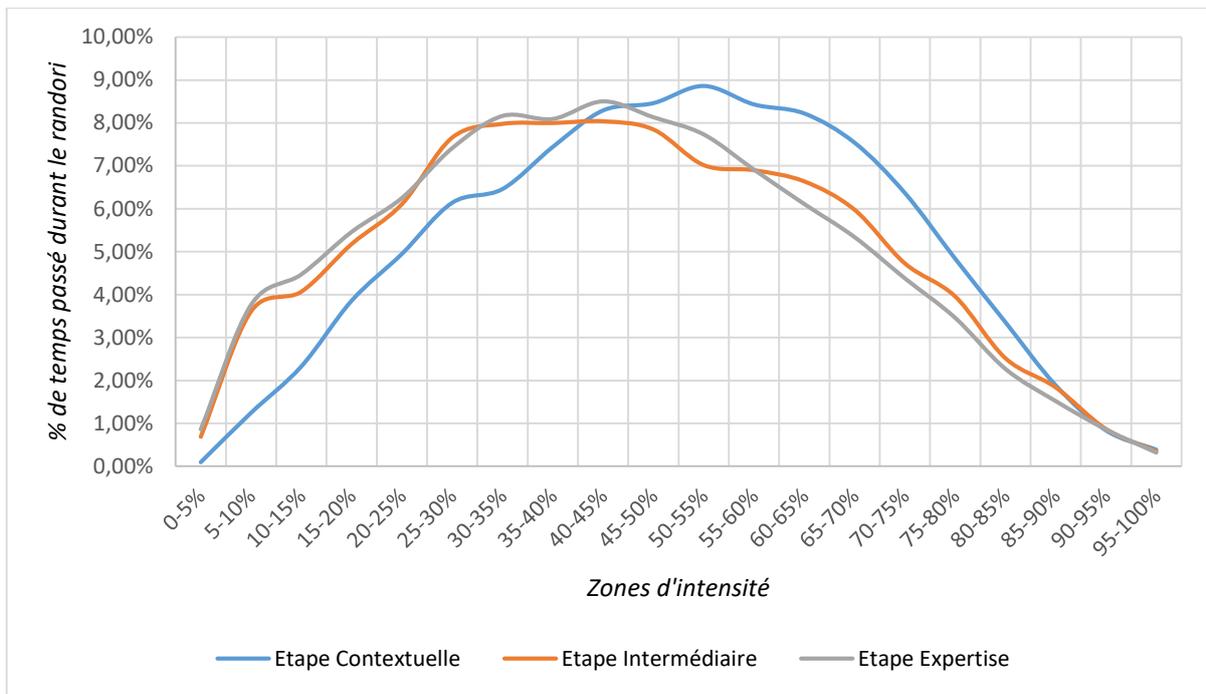


Figure 50 : répartition temporelle en pourcentage de la durée de combat des intensités de contraction des avant-bras en fonction de la 1-RM et pour les trois groupes de niveau. Données détaillées en 5.3.5) et issues de la méthode RMS.

L'aspect visuel du graphique permet aisément d'observer le niveau de relâchement musculaire plus important au cours du combat pour les judokas des étapes « contextuelle » et « expertise ». Ces résultats confirment donc que plus le judoka devient expert, plus il est en mesure de relâcher ses muscles préhenseurs durant un combat. Concrètement, la technique de saisie des sujets des deux meilleurs groupes consiste à adopter une attitude la plus relâchée possible lorsque l'action ne demande pas nécessairement d'« agripper fort » le « judogi ». À l'inverse, lorsque nécessaire, ils sont en mesure d'exercer des contractions de haute intensité.

Ces résultats laissent à penser que la progression de la maîtrise des techniques de saisie n'est pas linéaire. Une étape de progression semble exister entre l'étape « contextuelle » et l'étape « intermédiaire », puis le niveau de maîtrise se stabilise. Autrement dit, il y aurait comme un plateau atteint entre ces deux étapes du curriculum conatif. Le graphique suivant symbolise, selon nos résultats, la progression de l'habileté technique de saisie entre les étapes « contextuelle » et « experte ».

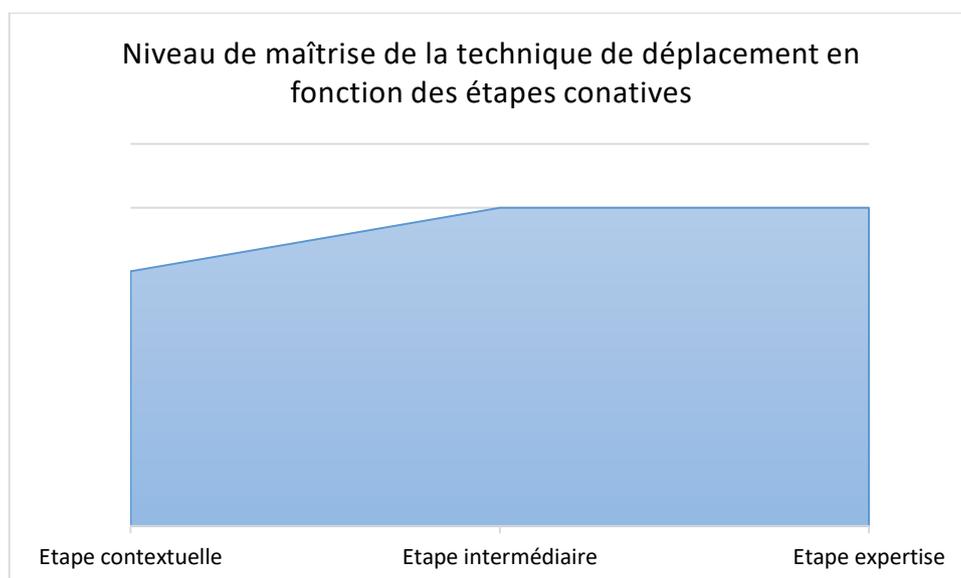


Figure 51 : schématisation du niveau de maîtrise de la technique de saisie en fonction des étapes conatives

La globalité de nos résultats permet de valider notre hypothèse générale à propos des saisies, à savoir que le niveau de maîtrise des techniques de saisie est un paramètre révélateur du niveau d'expertise du judoka.

6.1.3.2) Approche technologique

Dès lors, nous souhaitons confronter ces résultats avec les réponses de notre échantillon d'enseignants experts sur cette thématique. Les affirmations qui leur ont été proposées ainsi que les réponses fournies sont détaillées dans le tableau ci-dessous.

Affirmation	Nombre « d'accord »	% « d'accord »
Pendant un combat (randori ou shiai) opposant 2 combattants de même niveau, un compétiteur de niveau 1 ^o division est plus relâché au niveau de la saisie qu'un minime ceinture bleue de niveau régional.	<u>36</u>	71%
Pendant un combat (randori ou shiai) opposant 2 combattants de même niveau, un 1 ^o dan niveau départemental est autant contracté au niveau de la saisie qu'un compétiteur de niveau 1 ^o division.	26	51%
Pendant un combat (randori ou shiai) opposant 2 combattants de même niveau, un sénior de niveau départemental est plus relâché au niveau de la saisie qu'un minime ceinture bleue de niveau régional.	27	53%
Les habiletés et techniques de saisie permettent de caractériser le niveau d'un judoka.	<u>44</u>	86%
Le relâchement musculaire lors des saisies permet de caractériser le niveau d'un judoka.	<u>41</u>	80%

Tableau 36 : statistiques de réponse au questionnaire – section saisies

Nous constatons que le seuil des 33 réponses « *d'accord* » est atteint ou dépassé pour trois des cinq affirmations. Cela signifie que notre échantillon d'experts valide ces trois affirmations dans le cadre du questionnaire.

Deux questions n'atteignent pas le seuil requis, mais recueillent pour autant plus de 50% d'avis favorables. Pour ces questions, le seuil de 33 réponses « *pas d'accord* » n'est pas non plus atteint. Cela signifie que, même si 51 ou 53% des enseignants sont en phase avec ces propositions, nous ne pouvons pas affirmer que l'échantillon les valide, ni qu'il les invalide. Deux explications sont alors possibles, soit la taille de l'échantillon n'est pas suffisante pour pouvoir proposer une réponse ferme sur ces questions, soit les affirmations proposées ne font pas consensus dans la profession.

Attachons-nous à analyser plus précisément ces deux questions. La première affirme que « *pendant un combat (randori ou shiai) opposant deux combattants de même niveau, un sénior de niveau départemental est plus relâché au niveau de la saisie qu'un minime ceinture bleue de niveau régional.* » Elle fait référence aux données que nous avons pu relever et qui indiquent que les sujets du groupe 2 sont plus relâchés que ceux du groupe 1. La seconde affirme que « *pendant un combat (randori ou shiai) opposant deux combattants de même niveau, un 1^o dan niveau départemental est autant contracté au niveau de la saisie qu'un compétiteur de niveau 1^o division* ». Elle fait référence aux données que nous avons pu relever et qui indiquent qu'il n'y a pas de différence significative au niveau du relâchement entre les sujets du groupe 2 et ceux du groupe 3. Ces deux questions concernent à chaque fois notre groupe intermédiaire. Pour rappel, sur ce groupe nous avons trouvé une différence significative avec le groupe 1, mais pas avec le groupe 3. À notre échelle, ne pas observer de différence significative ne signifie pas pour autant qu'elle n'existe pas. Dans tous les cas, ces résultats témoignent bien que ce stade d'apprentissage au niveau de l'analyse de la saisie ne fait consensus pas chez les enseignants experts. Cela démontre par contre que la perception de la dynamique de progression des habilités techniques par les enseignants à propos de la saisie est complexe et variable. Ceci peut notamment s'expliquer par l'aspect peu directement observable du relâchement qui induit donc des interprétations différentes.

Dans tous les cas, les réponses obtenues sur ces deux affirmations ne sont pas contradictoires avec notre hypothèse générale à ce sujet. Par contre, elles permettent de nous questionner sur la dynamique de progression au niveau de la zone intermédiaire et de relativiser nos résultats et principalement la non significativité. Ces réponses suggèrent que le modèle de progression concernant le relâchement dans les saisies pourrait être un des suivants :

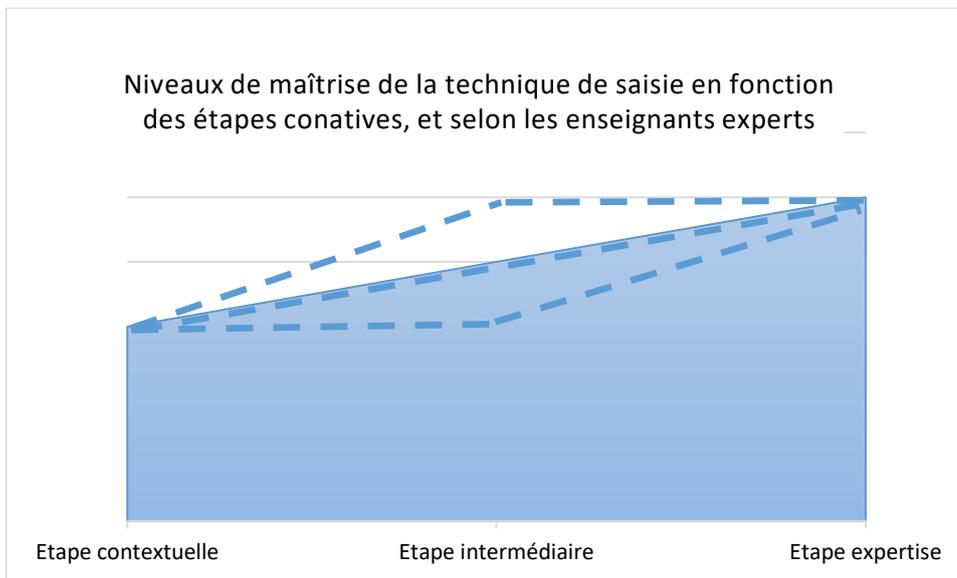


Figure 52 : schématisation du niveau de maîtrise de la technique de saisie en fonction des étapes conatives et selon les enseignants experts

Ces réponses ne contredisant pas notre hypothèse générale, et les trois autres questions allant dans son sens, cela nous permet d'obtenir, sur cette thématique des saisies, une validation professionnelle de notre hypothèse générale, à savoir que le niveau de maîtrise des techniques de saisie, et plus spécifiquement des techniques de relâchement, est un paramètre révélateur du niveau d'expertise du judoka.

Enfin, la convergence entre les données issues des mesures et les connaissances professionnelles permet de supposer avec une très forte présomption que l'outil que nous avons développé est bien valide concernant l'analyse des intensités de contraction des avant-bras durant un « randori ».

6.1.4) Analyse de « seoi-nage »

6.1.4.1) Approche biomécanique

Afin d'analyser les techniques de projection et notamment les formes « seoi-nage », nous nous sommes appuyés sur les données des accéléromètres positionnés sur les chevilles et la ceinture de « tori » ainsi que sur la ceinture de « uke ». L'accélération des jambes, l'accélération angulaire du bassin et la durée de la phase de placement, et la durée la phase de projection de la technique nous ont servi d'indicateurs afin de vérifier l'hypothèse émise.

Cette dernière postulait que la phase de placement du mouvement est plus rapide chez l'expert par rapport au non expert, sans qu'il n'y ait pour autant de différence dans la phase de

projection. Autrement dit, plus le judoka devient expert, plus il est rapide dans sa capacité à se placer en tournant le dos à « uke ».

Nos résultats ont permis d'identifier dans cette phase une différence significative entre le groupe 1 correspondant à l'étape « contextuelle » et le groupe 3 correspondant à l'étape « experte ». Ce résultat montre que les experts réalisent leur phase de placement de la technique de projection avec une plus grande vitesse, par rapport aux sujets du groupe 1. Concrètement, lorsque le judoka décide d'engager un « *seoi-nage* », l'expert se retrouve plus rapidement dos à « uke », prêt à le projeter par rapport à ceux de l'étape « contextuelle ». Nos résultats n'ont pas permis de constater une différence significative entre les groupes 1 et 2 et entre les groupes 2 et 3. Toutefois, comme déjà précisé, en raison de la taille de nos échantillons, si une différence significative n'est pas constatée, cela ne signifie pas pour autant qu'elle n'existe pas.

En l'état, le fait que nous ne puissions pas constater de différence entre les groupes ayant les niveaux les plus proches, et dans le même temps qu'une différence soit constatée entre les groupes des niveaux les plus éloignés, permet de supposer que la progression dans le niveau d'habileté des techniques liées à la phase de placement est linéaire. Autrement dit, il n'y aurait pas d'effet seuil à un instant t ou dans une étape particulière de la progression du judoka. Le graphe suivant symbolise, selon nos résultats, la progression de l'habileté technique de la phase de projection entre les étapes « contextuelle » et « experte ».

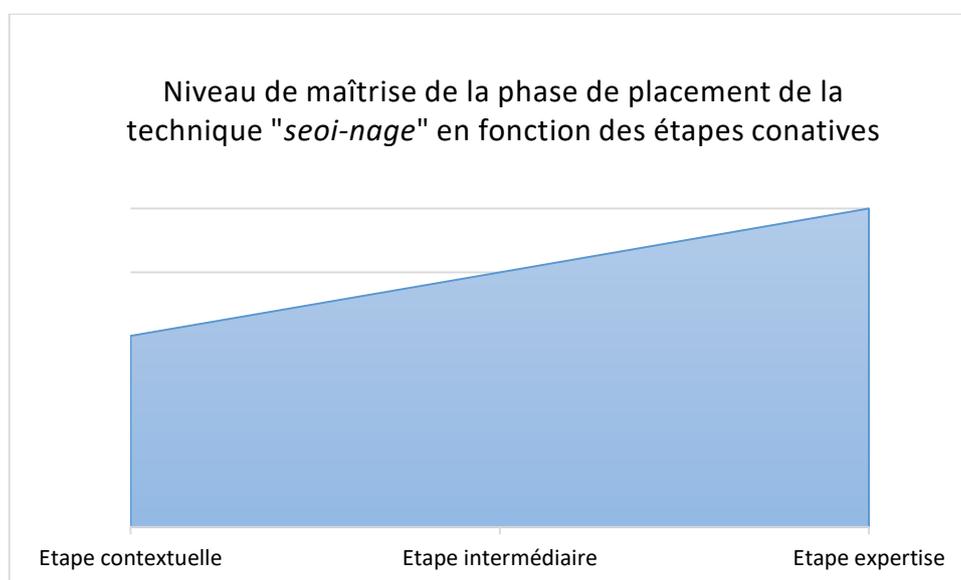


Figure 53 : schématisation du niveau de maîtrise de la phase de placement de la technique « seoi-nage » en fonction des étapes conatives.

Malgré les quelques doutes qui subsistent quant à des non significativités sur certains tests, la globalité de nos résultats permet de valider en partie notre hypothèse générale à propos des techniques de projection, à savoir que le niveau de maîtrise de la phase de placement d'une technique de projection est un paramètre révélateur du niveau d'expertise du judoka.

D'autres paramètres mesurés et en lien avec cette phase de placement peuvent permettre d'expliquer plus finement les raisons de cette différence de vitesse dans la phase de placement. Il s'agit de l'accélération de la rotation du bassin et des accélérations des jambes. Nos résultats ont permis d'identifier, dans la phase de placement, une différence significative concernant les accélérations des jambes entre les groupes 1 et 3 et entre les groupes 2 et 3. Ce résultat montre que les experts lors de la phase de placement de la technique de projection accélèrent davantage leurs jambes par rapport aux deux autres groupes. Ce paramètre permet en partie d'expliquer les raisons d'une plus grande vitesse de placement de la technique chez les experts.

À l'inverse, nos résultats n'ont pas permis de constater une différence significative entre les trois groupes concernant l'accélération de la rotation du bassin. Ce paramètre ne semble pas être un élément permettant d'expliquer la plus grande vitesse de placement chez les experts. À nouveau, eu égard à la taille de nos groupes, si une différence significative n'est pas constatée, cela ne signifie pas pour autant qu'elle n'existe pas. En somme, si l'accélération des jambes lors de la phase de placement du mouvement permet d'expliquer la plus grande vitesse de placement de l'expert, nous ne pouvons pas affirmer que l'accélération de la rotation du bassin joue le même rôle.

Concernant la seconde phase de la technique, c'est-à-dire la phase de projection, nos résultats n'ont pas permis de mettre en évidence une différence significative entre les trois groupes. Une rapide première interprétation viserait à dire que la phase de projection n'a pas un caractère discriminant. De ce point de vue, et concrètement, une fois « *uke* » plaqué contre le dos de « *tori* », la projection serait aussi rapide chez le sujet du groupe « *expert* » que chez le sujet de l'étape « *contextuelle* ». Encore une fois, nos groupes ayant un faible effectif, si une différence significative n'est pas constatée, cela ne signifie pas pour autant qu'elle n'existe pas.

Cependant l'analyse que nous venons de proposer converge avec celle de l'étude d'Ishii et al. proposée précédemment. Ces derniers avancent l'idée que ce qui différencie le judoka expert du judoka confirmé lors de la réalisation de « *seoi-nage* », c'est bien la phase de placement. Pour ces auteurs, la phase de projection n'est pas discriminante.

Autrement dit, eu égard à nos résultats et à l'analyse que nous venons de proposer, nous pouvons modéliser ainsi la progression du niveau de maîtrise de la phase de projection de la technique « *seoi-nage* » en fonction de l'étape conative. Entre l'étape 4 « *contextuelle* » et l'étape 5 « *expertise* », il n'y aurait pas de progression. Finalement, sur ce point le judoka de l'étape 4 posséderait déjà le niveau de maîtrise technique de l'étape 5.

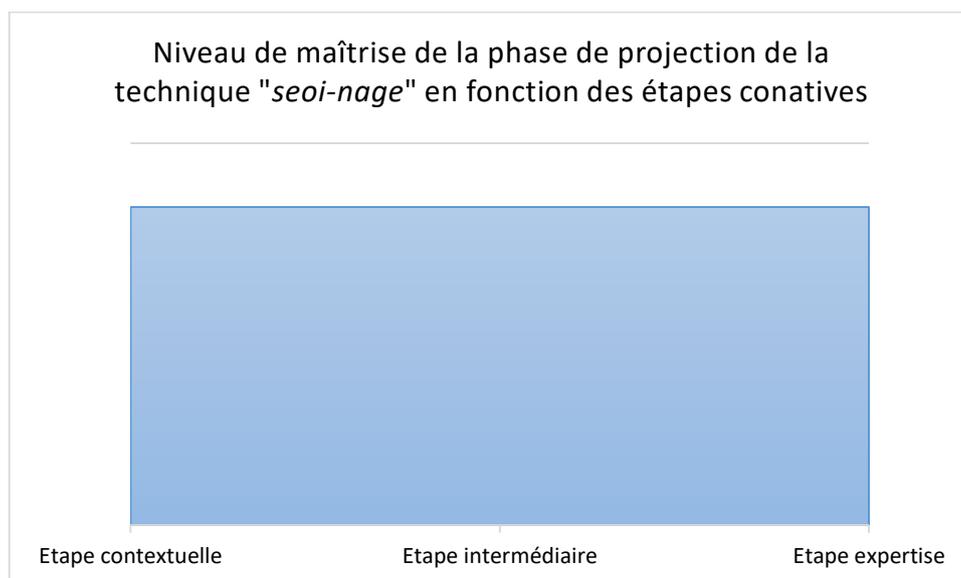


Figure 54 : schématisation du niveau de maîtrise de la phase de projection de la technique « *seoi-nage* » en fonction des étapes conatives.

La globalité de nos résultats permet toutefois de valider notre hypothèse générale à propos de la technique de projection « *seoi-nage* », à savoir que la phase de placement du mouvement est plus rapide chez l'expert par rapport au non expert, sans qu'il n'y ait pour autant de différence dans la phase de projection.

6.1.4.2) Approche technologique

Dès lors, nous souhaitons confronter ces résultats avec les réponses de notre échantillon d'enseignants experts sur cette thématique. Les affirmations qui leur ont été proposées ainsi que les réponses fournies sont détaillées dans le tableau ci-dessous.

Affirmation	Nombre « d'accord »	% « d'accord »
Le temps de placement de seoi-nage est plus court chez un judoka de 1° division par rapport à un minime bleue.	<u>45</u>	88%
Le temps de placement de seoi-nage est plus court chez un judoka de 1° division par rapport à un 1° dan niveau départemental.	<u>46</u>	90%
La vitesse de préparation d'une technique de projection permet de caractériser le niveau d'un judoka.	<u>47</u>	92%
La capacité à accélérer les jambes lors du placement de seoi-nage est un élément permettant de discriminer le niveau.	<u>46</u>	90%
Le temps dédié au kake est un facteur permettant de discriminer le niveau d'expertise.	40	78%

Tableau 37 : statistiques de réponse au questionnaire – section techniques de projection

Nous constatons que le seuil des 33 réponses « *d'accord* » est atteint ou dépassé pour les quatre premières affirmations qui concernent la phase de placement de « *seoi-nage* ». Cela signifie que notre échantillon d'experts valide ces quatre affirmations présentées dans le cadre du questionnaire et plus largement les données recueillies. Cela nous permet d'obtenir, sur cette thématique une validation professionnelle de la première partie de notre hypothèse générale, à savoir que l'expert est plus rapide dans la phase de placement du mouvement de « *seoi-nage* » par rapport au non expert.

La convergence entre les données issues des mesures et les connaissances professionnelles permet de supposer avec une très forte présomption que l'outil développé est bien valide concernant la thématique de la phase de placement d'une projection technique.

Toutefois, la dernière question consacrée au « *kake* », c'est-à-dire au temps de projection, met en avant des réponses contraires à nos résultats. Cette question devait en effet être spécifiquement lue en sens inverse puisqu'ils n'ont pas permis de montrer l'existence d'une différence significative entre nos groupes dans la phase de projection. Les réponses aux affirmations montrent que, selon les enseignants experts, le temps de la projection serait un élément déterminant du niveau d'expertise. Tout d'abord, nous souhaitons rappeler qu'en raison de l'effectif de nos groupes, une non significativité n'invalide pas notre hypothèse, tout au plus elle ne permet pas de la confirmer. Un autre élément d'explication possible réside dans la variabilité des données concernant cet aspect et cela quel que soit le niveau du groupe. En situation de coopération, comme dans l'étude citée de Ishii et al., la variabilité est bien moindre car non dépendante des réactions du « *uke* ». En situation d'opposition, les réactions du « *uke* » qui adopte une attitude défensive au moment du « *kake* » peuvent engendrer de grands écarts dans la durée de la chute, et cela indépendamment du niveau de groupe. Un « *uke* » exerçant

une défense efficace pour freiner sa chute entraînera mécaniquement une augmentation du temps de chute. À l'inverse un « *uke* » étant dans l'impossibilité matérielle de se défendre ne pourra diminuer le temps de projection qui par conséquent sera plus court. Cette situation peut se retrouver indépendamment des niveaux des groupes. Aussi, ces derniers résultats restent relativement ambigus, eu égard à la divergence existante entre les données biomécaniques et professionnelles. Pour autant, du fait des explications qu'il est possible d'apporter, et de par les résultats encourageants déjà mis en avant par ailleurs, cela ne permet pas de remettre en question la validité de notre outil de mesure. De plus, l'étude précédemment citée, bien que se déroulant en situation de coopération, met en avant des résultats similaires aux nôtres (Ishii et al. 2018).

6.1.4.3) Analyse qualitative du geste

Dans le cadre des mesures relatives à la phase de placement du « *seoi-nage* », des éléments plus qualitatifs ont aussi été mesurés. Nous avons ainsi pu constater que la plus grande vitesse de la part des experts dans la phase de placement s'explique principalement par une plus grande capacité à accélérer avec leurs jambes. La rotation du bassin qui, dans une modélisation « *idéale* » de la technique, suit dans un second temps le mouvement des jambes, ne semble pas être un critère discriminant.

Au-delà des accélérations de ces segments et zones corporelles, nous avons identifié une variabilité dans l'ordre d'exécution du mouvement. Théoriquement, la technique de projection « *seoi-nage* » est initiée par la jambe faible qui, en débutant le mouvement, engraine²³⁵ le reste du corps, la rotation du bassin suit donc dans un second temps. Ces propos sont confirmés par des études auprès d'experts en situation de coopération (Blais et al. 2004). Nos résultats²³⁶ démontrent que dans l'écologie de la situation, il en est autrement. Dans les techniques de projection ayant entraîné une valeur que nous avons pu mesurer, le mouvement n'est engagé par la jambe faible, celle qui théoriquement devrait initier le mouvement, qu'une fois sur deux. Dans l'autre moitié des cas, c'est soit la jambe forte, soit la rotation du bassin qui initie le mouvement technique. Pourtant, même si ces formes techniques pourraient ne pas être considérées comme « *justes* », car différentes de la forme qualifiée d'« *idéale* », elles sont efficaces puisqu'elles répondent à leur fonction.

²³⁵ Au sens d'engrenage.

²³⁶ Tableau 29, page 217.

Ce résultat, moins étayé par des données statistiques, et davantage qualitatif, permet de mettre en évidence le fait que les études réalisées en contexte de coopération avec seulement des experts doivent être considérées avec beaucoup de précaution. En effet, dans un contexte où l'opposition est absente, l'expert sera forcément en mesure de produire cette forme « idéale ». Pourtant, nous constatons que ces mêmes experts, dès lors qu'ils sont confrontés à une opposition, ne sont pas toujours en mesure de la reproduire à l'identique. De plus, si l'on s'intéresse à la fonction du geste, il est intéressant de ne pas toujours réaliser ces mesures uniquement sur des experts, mais également, comme nous l'avons proposé, sur d'autres sujets, moins purs dans le geste, mais malgré tout efficaces.

6.1.5) Synthèse

Cette partie croisant une analyse biomécanique avec une approche technologique avait pour objectif d'apporter des éléments de réponse à nos deux dernières problématiques. Celles-ci visaient à comparer des groupes avec différents niveaux d'habileté et ayant précédemment acquis les techniques, et à comparer les résultats de nos mesures avec des données empiriques formulées par des professionnels du judo. En cela, nos objectifs de recherche étaient d'analyser la dynamique de progression des habiletés techniques et d'entériner ces connaissances par une double validation scientifique et professionnelle.

Ainsi, ce croisement nous permet d'esquisser un modèle de la progression du niveau de maîtrise des techniques entre les stades 4 et 5 du curriculum conatif. Les modèles scientifiques et professionnels peuvent parfois légèrement diverger, ce qui peut notamment s'expliquer par la taille des échantillons. Les quelques divergences portent essentiellement sur le tracé de la dynamique de la progression.

Pour autant, les deux approches s'accordent sur les trois principales hypothèses techniques formulées, à savoir que le niveau de maîtrise des techniques de déplacement, de saisie et de projection est un paramètre révélateur du niveau d'expertise du judoka, et qu'il existe une progression entre les stades 4 et 5 du curriculum conatif sur ces composantes.

Cette réciprocité des résultats, sur les trois composantes du modèle, permet également de valider la fonctionnalité de notre outil de mesure, et en retour de confirmer le concept d' « œil du maquignon » chez les enseignants et entraîneurs experts en judo.

6.2) Théories de l'apprentissage moteur

Cette sous-partie vise modestement à interpréter nos résultats au prisme des théories de l'apprentissage moteur, sans pour autant chercher à proposer un développement et une analyse exhaustive. L'ambition est de chercher à dépasser les seules analyses biomécaniques et technologies du geste et d'esquisser une analyse pluridisciplinaire de ces conduites. Nous nous appuyons sur les théories dynamiques de l'apprentissage moteur et nous concluons en réinvestissant le curriculum conatif.

6.2.1) Progression chiffrée du niveau de maîtrise technique

Nos résultats quantifiés obtenus pour nos différents groupes nous permettent de quantifier en pourcentage la progression dans chacune des composantes. Si ces chiffres restent avant tout une estimation et doivent être relativisés, ils ont le mérite de montrer qu'entre l'étape contextuelle et l'étape de l'expertise, les trois composantes du modèle ne progressent pas à la même vitesse.

Les progressions sont calculées, pour chaque composante, en faisant le rapport entre les moyennes chiffrées du groupe 1 et celles du groupes 3. Le détail est présenté dans le tableau suivant.

	SAISIE Moyenne des écarts-types des accélérations verticales des pieds	DÉPLACEMENTS Pic de la courbe de contraction des avant-bras (en %)	TECHNIQUE PROJECTION Temps d'exécution de la technique de projection : placement+projection (en ms)
Groupe 1 Étape « contextuelle »	0,52	40	1656
Groupe 3 Étape « experte »	0,44	52	1062
Écart (valeur absolue)	0,08	12	594
Progression	18%	30%	56%

Tableau 38 : taux de progression en % entre étape 4 et étape 5 sur les trois composantes du modèle

Ces résultats démontrant des progressions différentes pour chaque composante sont synthétisés sur le graphe suivant :

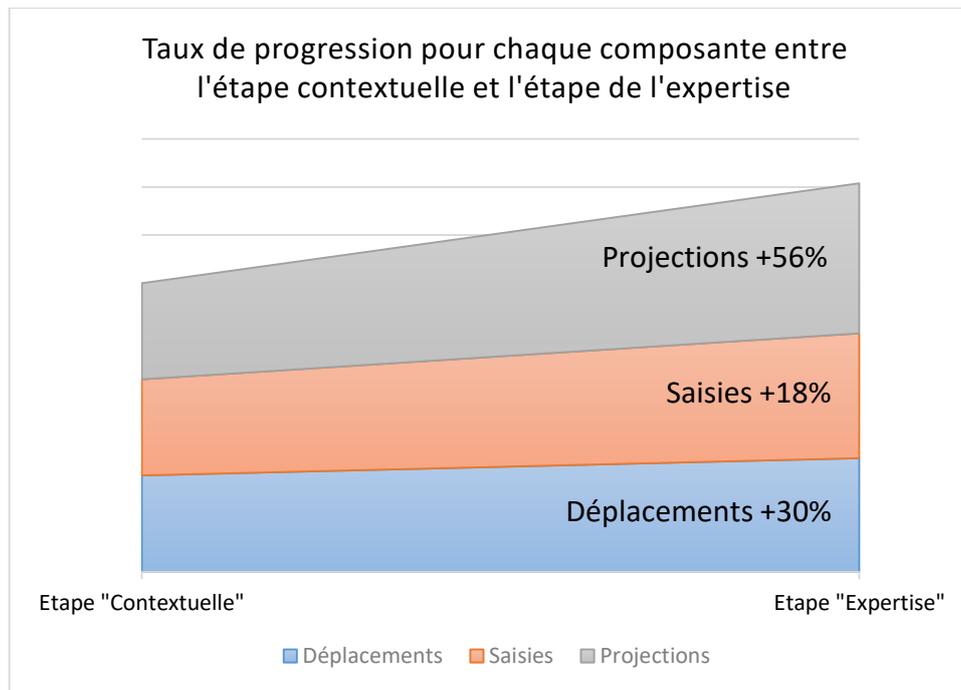


Figure 55 : synthèse des taux de progression entre étape 4 et étape 5 sur les trois composantes du modèle

6.2.2) Approche dynamique des apprentissages moteurs

6.2.2.1) Analyse théorique

Ces résultats entrent pleinement en concordance avec l'approche dynamique des théories de l'apprentissage qui postule que le comportement des systèmes, ici le judoka confronté à une tâche d'opposition, évolue dans le temps (Delignières 1998). Selon cette approche, le comportement moteur émerge face à un réseau de contraintes, dans notre cas l'adversité opposée par le « uke », la contrainte étant ce qui limite les degrés de liberté du système (Newell 1986). Au cours de l'apprentissage, en adaptation aux contraintes, le système glisse progressivement vers des coordinations expertes en passant d'un comportement naturel à un comportement non naturel.

C'est ici le cas avec l'évolution de nos trois paramètres. Prenons l'exemple le plus parlant des déplacements. Le comportement « naturel » est initialement celui d'un terrien se déplaçant en marchant c'est-à-dire en déplaçant un pied après l'autre, ce qui nécessite de lever alternativement les pieds, de charger tout son poids du corps sur le pied en appui, entraînant des oscillations verticales du bassin. La coordination experte, correspondant à la technique de déplacement est en contradiction avec cette attitude de « terrien ». Les pieds glissent sur le sol afin que les deux conservent un contact permanent, le poids du corps est réparti équitablement

sur les deux appuis, le centre de gravité est bas et les oscillations limitées. Ce comportement non naturel ou préférentiel est nommé attracteur (Zanone et Kelso 1992). Une caractéristique essentielle des attracteurs est leur stabilité une fois acquise. De manière chiffrée, l'attracteur correspond à une certaine valeur du paramètre d'ordre, et lorsque la variabilité du paramètre est faible cela témoigne de la présence de ce dernier. Cette caractéristique va dans le même sens que nos résultats puisqu'à l'étape contextuelle, les coordinations expertes ne sont pas encore acquises et continuent de converger vers l'attracteur. À l'inverse, si nous avons constaté une stabilité dans la progression entre les deux étapes, cela nous aurait conduit à conclure que l'étape experte avait déjà été atteinte chez nos sujets.

L'évolution des deux autres paramètres confirme nos propos et témoigne d'un glissement vers des coordinations expertes. En effet, l'expertise selon cette approche est aussi caractérisée par une libération progressive des degrés de liberté. Or, être plus relâché dans les saisies suppose une libération plus importante de tous les degrés de liberté par une décontraction musculaire, pas seulement des avant-bras, mais de toute la chaîne motrice musculaire. Dans ce cas, le niveau de contraction des muscles préhenseurs est simplement un indicateur témoignant du relâchement de toute cette chaîne. Il en est de même pour la vitesse d'exécution de la phase de placement du « *seoi-nage* ». Si l'on pourrait croire que cette vitesse est dépendante des qualités physiques des judokas à ce niveau, ce n'est pas la seule explication. De la même manière, exécuter rapidement un geste complexe comme celui-ci nécessite une libération des degrés de liberté afin que le mouvement soit fluide et facilité, et par conséquent plus rapide.

Les études s'intéressant à cette approche mettent toutes en avant le fait que la transition vers ces coordinations expertes, et donc vers une maîtrise experte de la technique, ne s'opère pas de manière brusque mais plutôt de façon lente et progressive (Nourrit et al. 2003). Nos résultats, et notamment les pourcentages évoqués, confirment cette donnée pour les trois paramètres de notre étude.

6.2.2.2) Conséquences pédagogiques

L'analyse de nos résultats sur cette approche théorique doit nous permettre de dégager des pistes d'intervention visant à accélérer et améliorer le niveau de maîtrise de ces habiletés techniques entre l'étape contextuelle et l'étape de l'expertise. En s'appuyant sur cette analyse et sur ces constats, émergent alors différentes préconisations pédagogiques.

Le premier élément important concerne la quantité de pratique. Pour atteindre une coordination experte, un temps de pratique conséquent est nécessaire. Le temps sera toujours un élément indispensable pour que le niveau de maîtrise des habiletés techniques puisse s'améliorer. Toutefois, l'expertise de l'enseignant et de l'entraîneur vise à accélérer et surtout optimiser ce temps nécessaire à l'amélioration des conduites. Les deux paragraphes suivants font des propositions en ce sens.

Tout d'abord, puisque les comportements experts émergent lorsque le sujet est confronté à une opposition, il est nécessaire de proposer aux sujets très régulièrement des situations avec opposition. Il s'agit dans ce cas de jouer sur le paramètre de contrôle, le niveau de l'opposition, en proposant une valeur critique susceptible de modifier le paysage des attracteurs. Un des rôles de l'enseignant ou de l'entraîneur est donc d'ajuster le niveau de ce paramètre de contrôle pour faire émerger les comportements souhaités. Finalement, et contrairement à ce que proposent les approches cognitivistes, c'est en complexifiant la tâche, notamment dans le niveau d'opposition qui est proposé, que le niveau d'habileté technique s'améliore.

Proposer des *feedback* aux sujets aurait également des effets très positifs sur l'émergence des coordinations expertes (Swinnen et al. 1997). Il est alors important que des *feedback* réguliers et de différente nature soient proposés durant l'action. Toutefois, ces derniers, pour être efficaces, doivent être exclusivement centrés sur le paramètre d'ordre. Autrement dit, si en tant qu'enseignant je souhaite accélérer l'habileté technique de déplacement, alors les *feedback* doivent porter exclusivement sur ce paramètre.

6.2.3) Curriculum conatif

6.2.3.1) Analyse théorique

Le modèle du curriculum conatif de Bui-Xuân postule que la progression ne peut pas se résumer à une unique augmentation de la performance, mais elle se caractérise également par un changement d'étape conative, c'est-à-dire un changement de la mobilisation du judoka. Notre étude s'est attachée à caractériser l'évolution du niveau de maîtrise de trois habiletés techniques entre l'étape 4 dite « *contextuelle* » et l'étape 5 dite de l' « *expertise* » de ce modèle. À l'étape 4, les sujets peuvent déjà être considérés comme compétents, la compétence étant entendue comme « *le produit de la mobilisation fonctionnelle et adaptée des capacités techniques et structurales requises pour la réalisation d'une tâche ou d'un registre de tâches* »

(Bui-Xuân 2007). À cette étape, le sujet est notamment capable de marquer des valeurs dans une situation d'opposition complexe.

Le sujet est alors en recherche de sens dans son action. Cette recherche s'opère au travers de questions que se pose le sujet de manière consciente ou inconsciente et qui le poussent à aller vers l'étape suivante. À l'étape contextuelle, alors qu'il est déjà efficace dans une situation complexe, le sujet se demande alors essentiellement « *comment font ceux qui réussissent mieux que moi ?* » (Bui-Xuân 1994; Bui-Xuân et Gleyse 2001; Carlier et al. 2005). L'objectivation que nous avons proposée au travers de notre outil de mesure permet ainsi d'apporter quelques éléments de réponse et de mettre en lumière les solutions trouvées par le sujet pour répondre à cette question.

Nos résultats montrent ainsi que le sujet de l'étape de l' « *expertise* » « *fait mieux* » que celui de l'étape « *contextuelle* » notamment car :

- il est plus stable car lors des déplacements, il lève moins les pieds, glisse davantage sur le tapis ;
- il est plus efficace car il est plus relâché lors de la saisie de son « *kumi-kata* » ;
- et enfin il est plus rapide car il est en mesure d'accélérer efficacement et au bon moment pour placer sa technique de projection.

En cherchant à être de plus en plus stable, plus efficace et plus rapide, le judoka glisse donc progressivement vers le stade de l'expertise. A noter que ces éléments ne sont pas les seuls à évoluer au fur et à mesure que le judoka devient expert, mais ils correspondent à ceux que nous avons pu objectiver dans le cadre de cette thèse. En effet, pour devenir expert, il est nécessaire de mobiliser les trois axes du modèle du curriculum conatif.

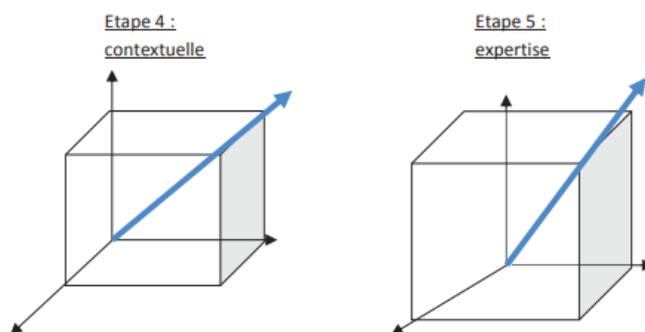


Figure 56 : représentation volumétrique des 3 axes du curriculum conatif, schématisation du passage de l'étape 4 à l'étape 5. Source : Dieu 2012.

6.2.3.2) Conséquences pédagogiques

Il est important de rappeler que le judo est une activité à dominante fonctionnelle, c'est-à-dire que la victoire y est obtenue grâce à un score (Bui-Xuân 1993). Cet élément est fondamental dans l'approche pédagogique et didactique de l'activité car c'est celui-ci qui fait sens chez le pratiquant. Afin que ce sens émerge auprès, la pédagogie conative précise qu'il est important qu'il y ait une consonance dans les situations, c'est-à-dire un accord entre les principes et les règles.

Aussi, pour passer de l'étape 4 à l'étape 5, il est important de rechercher la mobilisation du sujet dans le sens qu'il attribue à l'opposition. L'étape technique étant franchie, c'est désormais dans l'opposition et donc dans la recherche du score que le sujet sera pleinement mobilisé. Ainsi, à cette étape, il convient d'éviter les situations artificielles, technicistes proposées dans un cadre de coopération, pour aller davantage vers des situations avec opposition modulée. Chercher à aller vers l'étape experte, c'est moins jouer sur la justesse technique et davantage orienter des situations avec une notion de score qui correspond à la logique de victoire en judo, en cohérence avec l'approche conative (Mikulovic et al. 2010).

Plus largement, « *la pédagogie conative n'est pas une pédagogie du plaisir mais une pédagogie en plaisir* » (Bui-Xuân 2011) qui se retrouve lorsque dès lors qu'il y a consonance. Ainsi, pour accélérer l'amélioration du niveau de maîtrise de nos trois habiletés techniques, la pédagogie conative invite, pour ces niveaux de judokas, à inclure ce travail dans des situations avec opposition. Cette dernière doit alors être modulée en fonction de l'orientation que l'on souhaite donner à l'action.

6.3) Propositions d'intervention

Les orientations pédagogiques qui viennent d'émerger dans la partie précédente en s'appuyant sur les approches dynamique et conative nous permettent d'envisager des propositions d'intervention. Ces dernières n'ont en aucun cas vocation à être des situations d'apprentissage ou d'entraînement, mais plutôt des orientations pédagogiques et didactiques ou des propositions d'innovation. Connaissant le terrain et la difficulté de prise en compte de la complexité pour un intervenant, nous nous garderons bien d'adopter une posture prescriptive.

Les orientations pédagogiques des approches dynamiques et conatives, évoquées à l'instant, serviront de base théorique. Nous nous appuyerons également sur notre expérience personnelle. Toutefois, nous ne souhaitons pas nous limiter à celle-ci et c'est pour cette raison que nous avons étayé nos propositions grâce à des entretiens semi-directifs réalisés avec des enseignants/entraîneurs experts.

6.3.1) Entretiens semi-directifs

6.3.1.1) Enquêtés et structure de l'entretien

À partir de notre réseau, nous avons sélectionné cinq enseignants/entraîneurs experts reconnus au plan régional ou national. Tous sont diplômés d'État et ont une expérience conséquente d'enseignant et d'entraîneur. Trois sont des anciens internationaux de haut niveau, quatre sont ou ont été entraîneurs d'une filière d'accès au haut niveau ou d'un club élite, et enfin deux sont formateurs en université. Tous s'inscrivent de manière affichée dans une conception sportive de l'activité.

Les entretiens ont été menés à l'aide d'une grille simple mais respectant les principes de ce type de méthode de recueil de données (Combessie 2007). Suite aux consentements des enquêtés, les entretiens se sont tous déroulés en distanciel par l'application de visioconférence Zoom®. Tous les entretiens ont eu une durée comprise entre 30 et 40 minutes. Les échanges n'ont pas été enregistrés, nous avons estimé qu'un verbatim ne serait pas utile. En effet, l'utilisation d'une des méthodologies classiquement employées du type analyse sémantique, de récurrence ou de contenu n'était pas nécessaire dans notre cas. Nos notes sur les réactions et propositions des acteurs nous paraissaient suffisantes.

Tous les entretiens ont eu la même structure. Le premier temps a été consacré à la présentation de la démarche de la thèse, de sa méthodologie et enfin de ses résultats. C'est sur ces derniers que nous souhaitions faire réagir nos interlocuteurs. Nous avons initié la phase de questions en les interrogeant à leur sujet. La première consistait à leur demander si les paramètres correspondant à nos résultats étaient seulement des indicateurs de niveau, ou bien s'il s'agissait également de facteurs de performance sur lesquels l'enseignant ou l'entraîneur peut agir. À partir de leurs réactions, le déroulé de l'entretien s'est ensuite opéré avec des questions de relance dans le but de les inciter à formuler leurs propres propositions pédagogiques propres.

6.3.1.2) Bilan des entretiens

Concernant nos trois principaux résultats, tous ont concédé qu'il s'agissait à la fois d'indicateurs et de facteurs de performance. Pour eux, si ce sont des facteurs, l'enseignant et l'entraîneur peuvent donc agir dessus grâce à leurs interventions dans le but d'accélérer leur évolution.

Parmi les trois catégories de résultat, tous ont admis que l'un d'entre eux, à savoir l'exécution d'une technique de projection, est couramment et régulièrement travaillé, de manière contextualisée dans les structures. Ils n'avaient donc pas spécifiquement de propositions innovantes ou originales à formuler, ni d'éléments à ajouter.

Les deux autres, à savoir le relâchement dans les saisies et la capacité à se déplacer en glissant et de manière stable, ont fait l'objet de plus de discussions. Tous admettent que si ces techniques de saisie et de déplacement sont fondamentales dans une optique de performance, elles sont dans les faits très peu travaillées. Dans l'enseignement, ce travail est plutôt indirectement induit au cours d'exercices centrés sur d'autres conduites motrices. Une des explications avancées est le poids de la tradition dans l'enseignement du judo, et dans ce cadre ces paramètres, en tout cas sous cette forme et sous cet angle, sont rarement abordés. Le « *kumi-kata* » est souvent enseigné sous son aspect stratégique et sur la manière de poser les mains mais peu sous l'angle de la technique de saisie, au sens propre du terme. Il en est de même pour les déplacements. Ces derniers sont enseignés par la transmission des différentes formes mais rarement jusqu'à des éléments concernant les critères d'efficacité des appuis. Ils mettent alors en avant l'idée que l'enseignant expert est théoriquement en capacité de se détacher du poids

de la tradition pour se questionner sur ses propres pratiques et proposer des contenus innovants tels que ceux présentés dans l'étude.

Les cinq enquêtés, de par leur expertise, ont formulé des propositions à la fois sur des situations d'opposition et sur des situations plus décontextualisées. L'objectif n'est pas ici de les détailler. L'aspect le plus intéressant réside plutôt dans le fait que leurs propos mettent toujours en avant deux éléments qui, quelque part, convergent avec les orientations pédagogiques exposées dans la partie précédente consacrée à l'analyse des résultats au prisme des théories de l'apprentissage moteur.

Le premier argument consiste à dire que, pour des judokas de niveau similaire à ceux de notre étude, le travail des trois habiletés techniques qui leur ont été exposées doit s'opérer dans des situations prenant en compte la complexité et donc proposant de l'opposition. Pour eux, c'est en s'écartant du modèle traditionnel qui vise à travailler essentiellement des techniques de projection, souvent sans opposition et avec des « *geiko* » que ce genre d'habiletés techniques peut se développer. Partant de ce constat, l'enseignant devrait pouvoir proposer une multitude d'oppositions à thème qui ont la qualité favoriser l'amélioration de la maîtrise des techniques mais dans un contexte fonctionnel.

Le second argument avancé était relatif au travail sur les sensations. Plusieurs ont avancé l'idée que c'est en développant les *feedback* liés à ces contenus que les judokas peuvent être amenés à progresser sur ces trois paramètres. Toutefois, il est très difficile d'observer directement ces comportements à l'œil nu et cela suppose une grande expérience et expertise. C'est aussi pour cette raison, selon eux, que ces composantes déplacements et saisies telles que nous les décrivons sont très rarement travaillées dans les clubs.

6.3.2) Pistes relatives à l'intervention

Forts de ces analyses d'experts et en nous appuyant sur les analyses issues des approches dynamique et conative, nous sommes dès lors en mesure de proposer trois orientations pédagogiques.

6.3.2.1) Des composantes techniques non encore explorées

La première d'entre elle vise à inviter les enseignants à perpétuellement explorer les conduites motrices au sens large et à appréhender tous les paramètres de la technique, et plus largement de la performance. La pratique et la pédagogie du judo sont encore extrêmement empreintes de traditions et il est parfois difficile de s'en détacher complètement. Le seul travail des techniques de projection, associé à un « *kumi-kata* » et un déplacement circonscrits au seul temps de la projection, n'est en soi pas suffisant. Un combat est composé de nombreux autres temps durant lesquels il faut, entre autres, se déplacer en restant stable, et durant lequel il faut saisir avec efficacité et en même temps avec souplesse. Ces facettes là de l'activité devraient, nous semble-t-il, davantage être éprouvées.

6.3.2.2) Des situations contextualisées, complexes, avec opposition

L'analyse croisée de nos résultats avec les approches conative et dynamique a permis de faire émerger certains principes pédagogiques. Ainsi, l'approche dynamique, pour ces niveaux de judokas, invite à proposer essentiellement des situations avec contrainte, c'est-à-dire avec une forme d'opposition, dans le but de modifier la structure et tendre vers les attracteurs. L'approche conative incite à orienter les situations vers le sens de l'action, c'est-à-dire vers le score. Cette même approche insiste sur l'importance du plaisir dans la pratique, et à ces étapes du curriculum, le plaisir provient essentiellement de la confrontation et du score qui en découle. Finalement, avec des raisonnements distincts, ces approches s'accordent semble-t-il sur l'orientation pédagogique à donner aux situations pour ces niveaux de pratique.

Cette orientation converge avec le discours des enquêtés. Tous sont unanimes en expliquant que le plus efficace pour favoriser l'amélioration du niveau de maîtrise des habilités techniques de notre modèle, est de confronter les judokas à des situations complexes d'opposition et de jouer sur des variables afin de moduler cette opposition. À ce stade, ce type de situation devrait, selon eux, occuper la majorité du temps des séances, ce qui aurait pour effet de faire émerger plus rapidement les conduites motrices escomptées.

6.3.2.3) Des *feedback* précis et ciblés

L'analyse croisée de nos résultats avec l'approche dynamique a permis de mettre en avant l'importance des *feedback* dans le développement du niveau de maîtrise des habiletés techniques. Pour ce courant, les *feedback* seraient un outil intéressant qui permet d'améliorer l'apprentissage ou le niveau de performance. Toutefois, cela n'est valable que si ces derniers portent sur des paramètres d'ordre. En l'occurrence, les trois éléments techniques de notre étude correspondent à des paramètres d'ordre.

Cette notion de *feedback* a été évoquée durant les entretiens. L'idée qui ressort est que les habiletés techniques que nous évoquons sont dépendantes de sensations propres au pratiquant. Pour développer ces sensations, les *feedback* seraient intéressants. Toutefois, il est nécessaire de disposer d'un regard expert pour être en mesure de proposer des retours aux pratiquants sur deux des trois paramètres. En effet, transmettre des *feedback* sur le relâchement au niveau des saisies et sur la mobilité des pieds au sol n'est pas aisé. Les années d'expérience en tant qu'intervenant permettent d'aiguiser l'œil du maquignon, mais cela prend du temps. En somme, tous les enseignants ne sont pas en mesure de transmettre ce type de *feedback* à leurs élèves.

À l'instar de l'outil de mesure que nous avons élaboré, une solution pourrait alors être de développer des objets connectés spécifiques et adaptés au judo. Mis à part les cardiofréquencemètres, nous n'avons pas connaissance à ce jour d'appareils connectés spécifiques au judo. En outre, ils pourraient également jouer un rôle d'« *objets-frontière* ». Un appareil simple d'utilisation, communiquant en temps réel des données lisibles, directement exploitables par l'intervenant et le pratiquant, sur la qualité des déplacements ou sur le relâchement musculaire dans le cadre des saisies apporterait une vraie plus-value. De tels objets permettraient de proposer des *bio-feedback* aux judokas et de favoriser l'amélioration de leur niveau de maîtrise des habiletés techniques.

6.4) Limites

Avant de conclure, il est important de mettre en avant les limites de notre étude et des résultats qu'elle a permis de produire. Aucun protocole ne pouvant se prévaloir de la perfection, il est nécessaire d'en exposer les limites afin de prendre de la hauteur sur ses résultats et d'en relativiser leur portée. Ces limites sont d'autant plus importantes dans le cadre d'une étude en contexte écologique exploitant des approches technologiques qui « *subissent des déformations pour s'adapter aux conditions locales et aux finalités techniques du projet* » (Bouthier et Durey 1994).

6.4.1) Limite liée à l'âge des sujets

Nous avons déjà formulé une première limite concernant la moyenne d'âge de chaque groupe²³⁷. En effet, le groupe 1, de par ses critères de constitution, présente une moyenne d'âge inférieure aux deux autres. Avec les sujets dont nous pouvions disposer, il nous était matériellement très difficile de limiter cette différence. Aussi, dans la critique de nos résultats il est légitime de se demander si les différences constatées entre les groupes, et notamment avec le groupe 2, sont exclusivement la conséquence de progressions techniques, ou bien si une part de développement intervient dans l'amélioration des paramètres que nous avons pu mesurer. Toutefois, nos mesures portant essentiellement sur des paramètres techniques spécifiquement liés à l'activité, nous avons postulé que le développement moteur n'est pas dans ce cas un facteur explicatif.

6.4.2) Limite liée à la taille des groupes

Une seconde limite réside dans la taille de nos groupes. Nous avons pu la mettre en évidence à de multiples reprises. Eu égard à la taille des échantillons et à nos tests de puissance, les significativités dans nos différents résultats permettent de montrer des différences ; à l'inverse des résultats non significatifs ne signifient pas pour autant qu'il n'y ait pas de différence entre les deux groupes. La théorie voudrait donc que la taille des échantillons pour ce type d'étude soit plus conséquente ; la réalité est plus complexe. En effet l'approche

²³⁷ Sous partie 4.3.5.4), page 169.

technologique rend les protocoles assez lourds à mettre en œuvre et la recherche de sujets assez difficile. Toutefois, nous voudrions souligner qu'au total 38 sujets ont participé à l'étude et 30 ont finalement été retenus. Ce nombre de sujets pour une recherche s'appuyant sur des mesures biomécaniques est déjà conséquent. En comparaison, des études précédemment abordées réalisent leurs mesures avec des échantillons équivalents et parfois de taille bien moindre, par exemple : 1 pour Imamura et al. 2007 ; 4 pour Imamura et al. 2006 ; 5 pour Blais 2004 ; 8 pour Hashimoto et al. 2015 ; 10 pour Aboelwafa 2021 ; 22 pour Koshida et al. 2017 ; 28 pour Franchini et al. 2011 et 30 pour Detanico et al. 2016.

6.4.3) Limite liée à la définition de l'expertise

Une troisième limite concerne la définition de la notion d'expertise. Notre choix concernant l'échantillon d'experts peut en effet être soumis à discussion. Cette notion d'expertise englobe finalement une population très large et très hétérogène. De plus, il est démontré que suivant les courants de recherche théorique, la définition de ce qu'est l'expert est fluctuante (Macquet et Fleurance 2006). Selon une approche sportive de l'activité, finalement l'expert pourrait être considéré comme étant le meilleur et donc être limité aux seuls médaillés mondiaux et olympiques. Il était malheureusement impossible de réaliser notre étude avec cette catégorie de sujets car ils sont à la fois peu nombreux et peu accessibles. Nous avons donc considéré que, dans notre cas, l'expertise était le meilleur niveau sportif que nous avons à disposition sur notre bassin géographique. Ces athlètes de première division, s'ils ne sont pas internationaux, sont malgré tout parmi les 30 à 40 meilleurs français de leur catégorie. Finalement, si cela était matériellement possible, il serait intéressant de reproduire notre étude avec uniquement des experts mais répartis en différents groupes de niveaux. Cela permettrait de mesurer l'évolution du niveau de maîtrise des habiletés techniques durant ce stade ultime de l'expertise qui se compose de niveaux très disparates.

6.4.4) Limite liée au bassin géographique

Une autre limite à mettre en avant est celle du bassin géographique de recrutement des sujets. Nos judokas sont tous français et ont exclusivement appris dans le cadre de la méthode française de judo. Les résultats n'auraient probablement pas été identiques si le protocole avait été mis en œuvre en Géorgie, pays dans lequel la culture de la force et de l'engagement est

prégnante dans le combat, ou encore au Japon, pays dans lequel la souplesse, la rapidité et la virtuosité sont des qualités mises en valeur chez les combattants (Hilpron 2013; Hilpron et Rosselin 2010). Les formes techniques dépendent en effet de l'expérience corporelle de chaque individu, à des façons de pratiquer, ce qui nous renvoie finalement au concept des « techniques du corps » de Mauss (Fournier et Raveneau 2010). Ces idées vont dans le même sens que les propos du sociologue Defrance qui indique que « *l'intensité des entraînements, leur durée, leur fréquence élevée, la persévérance dans une même discipline durant des années permettent l'incorporation de schèmes moteurs propres au sport compétitif, dont les traits sont façonnés par des institutions variant selon les pays et les époques* » (Defrance 2011). Ainsi, au-delà des autres limites mises en évidence, nos résultats ne doivent pas être considérés comme universels mais circonscrits au cadre de notre territoire d'étude.

6.4.5) Limite liée à la définition de la complexité

La dernière limite que nous avons pu identifier concerne la définition de la complexité. Notre démarche ambitionnait de dépasser les traditionnelles études en biomécanique qui se cantonnent souvent à l'analyse d'une seule composante de la performance. C'est dans ce but que nous avons proposé une modélisation du judo debout basée sur trois composantes mécaniques de l'activité : les saisies, les postures et déplacements, et les techniques de projection. Si notre modèle en tant que tel a la caractéristique d'être exhaustif, il a l'inconvénient de simplifier la réalité au sein de chacune de ses composantes.

Au sein de ces dernières, nous n'avons en effet mesuré qu'un unique paramètre technique clairement identifié alors que bien d'autres interviennent dans la performance. Il est important d'avoir conscience qu'à lui seul il ne peut éclairer tous les autres. Par exemple, concernant les postures et déplacements, nous avons choisi d'analyser les accélérations verticales des pieds afin de témoigner du niveau d'ancrage au sol des judokas. Mais les postures et déplacements ne se limitent pas à ce seul facteur. Interviennent également les déplacements latéraux, les déplacements antéro-postérieurs, l'équilibre, et bien d'autres encore. Le principe même du modèle est de simplifier la réalité. Ainsi, le cadre du protocole, malgré l'aspiration du chercheur à explorer au maximum la complexité, suppose de faire des choix, et ces derniers sont inévitablement réducteurs.

De plus, de par le type de données recueillies, notre modèle se limite aux seuls éléments mécaniques des conduites. Or, la performance du judoka, comme pour toute performance

sportive, est par essence multifactorielle. Au-delà de la maîtrise du geste technique, les aspects énergétiques, physiologiques, mentaux, environnementaux et encore d'autres interviennent dans la performance.

Toutefois, l'aspect innovant de notre démarche était de proposer un cadre de mesure permettant d'analyser simultanément plusieurs composantes techniques sur des mêmes sujets. Cela permettait de plus facilement observer la dynamique et de les comparer entre elles. En passant de la mesure d'un à trois paramètres, chacun dans une des catégories de notre modèle, nous ambitionnions donc de progresser dans cette volonté d'analyser les conduites motrices et la technique en prenant de plus en plus en compte la complexité.

Malgré tout, quel que soit le modèle d'analyse proposé, il restera toujours partiel. En effet, si les modélisations s'améliorent toujours plus dans la prise en compte de la complexité, comme en témoigne le développement exponentiel de l'intelligence artificielle, elle restera malgré tout toujours imparfaite et toujours incomplète (Delahaye 2009).

CHAPITRE 7

CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES

Durant tous nos travaux, nous nous sommes inscrits dans une approche technologique. Dans ce cadre, notre expertise de l'activité fut un réel appui afin de prendre en compte le contexte écologique, élément au cœur de nos préoccupations à la fois en tant que chercheur, mais également en tant que professionnel. En nous fondant sur la théorie parlebasienne, nous avons modélisé l'activité judo, selon une conception sportive, à partir du modèle des logiques internes. Notre état de l'art a démontré une absence de prise en compte de cette logique interne, mais également de la complexité des conduites motrices, dans les études biomécaniques s'intéressant au judo. Partant de ce constat, nous avons souhaité nous engager dans une démarche visant à explorer l'activité dans sa complexité motrice et dans son contexte écologique, au travers de données biomécaniques.

Cette orientation présentait en premier lieu un obstacle technique. Nous avons dès lors envisagé une démarche de recherche de type « *bottom-up* ». Notre choix d'explorer l'activité dans son contexte et dans sa complexité primait sur la validation d'hypothèses que nous aurions pu formuler *a priori*. En cohérence avec cette idée, quatre problématiques et quatre objectifs de recherche ont alors été proposés :

- prélever des données biomécaniques afférentes aux gestes en situation d'opposition afin d'analyser la technique exécutée en situation écologique ;
- prélever simultanément des données biomécaniques afférentes aux trois paramètres du modèle et sur le défenseur pour analyser la production technique dans sa complexité ;
- comparer des groupes avec différents niveaux d'habileté et ayant précédemment acquis les techniques afin d'analyser la dynamique de progression des habiletés techniques ;
- comparer des données biomécaniques du geste avec les données empiriques formulées par les acteurs du judo afin de valider des connaissances empiriques relatives à la technique par l'objectivation de ces connaissances.

Le développement d'un outil de mesure a permis de répondre aux deux premières problématiques. En utilisant les mesures issues de cet outil et recueillies sur trois groupes constitués en référence au concept de curriculum conatif, nous avons pu répondre aux deux suivantes. Pour cela, nous avons fait le choix de nous positionner sur la philosophie de Parlebas et d'une science de l'action motrice en tentant, en toute modestie, d'esquisser une analyse pluridisciplinaire de nos données : *« il apparaît important de développer une science des conduites motrices qui pourrait emprunter de multiples approches complémentaires et non contradictoires: approches biologique, biomécanique, psychologique, psychosociale, sociologique, philosophique... et qui seraient en dernier ressort à intégrer dans une synthèse pédagogique »* (Parlebas 1968). Pour cela, nous avons fait le choix de les aborder notamment au prisme de la biomécanique et des théories de l'apprentissage moteur et plus spécifiquement des approches conative et dynamique. Enfin, en cohérence avec l'approche technologique, nous avons confronté nos résultats issus de notre démarche d'objectivation avec les connaissances empiriques professionnelles d'enseignants experts. La convergence globale entre données objectives et données professionnelles a ainsi permis de valider à la fois notre outil de mesure, mais également de confirmer le concept d' *« œil du maquignon »* appliqué au judo. Enfin, en nous appuyant sur ces résultats nous avons formulé quelques propositions d'intervention.

Cette approche pluridisciplinaire présente toutefois des limites que nous avons constatées. En convoquant plusieurs paradigmes, plusieurs concepts parfois opposés, plusieurs types de méthodologies, le chercheur peut parfois se retrouver en difficulté car ces derniers sont appréhendés moins en détail et avec moins de finesse. Le lecteur pourra donc parfois considérer que sur certains points l'analyse est trop superficielle. Parfois même, en confrontant plusieurs modèles, le chercheur est mis en face des contradictions et doit se résoudre à des concessions.

Le lecteur, en fonction de ses propres orientations théoriques pourra d'ailleurs parfois se sentir heurté, ou considérer qu'il y a contradiction avec son courant de pensée. En s'engageant dans cette démarche, c'est un risque que nous avons accepté de prendre, mais c'est aussi tout ce qui en fait sa richesse.

Concernant la démarche scientifique, cette dernière était aussi orientée par nos conceptions et convictions professionnelles. Formateur depuis maintenant près de dix ans à l'université, nous avons pu nous forger au travers de notre expérience un avis éclairé sur l'analyse des activités, sur l'intervention dans celles-ci et sur la formation des futurs acteurs du monde sportif.

Tout d'abord, la démarche que nous avons envisagée, visant à tenter d'objectiver l'activité en contexte écologique, nous tenait particulièrement à cœur. En effet, il nous paraît dommage et même parfois contre-productif d'étudier une pratique sportive telle que le judo dans le contexte formel du laboratoire, en isolant un paramètre unique de la performance étudié dans une logique de coopération bien éloignée de la logique de l'activité. Au contraire, selon nous, ce qui doit faire la richesse de la recherche en STAPS, comme le proposait Parlebas dans son modèle de science de l'action motrice, c'est bien l'étude et la compréhension de l'activité dans sa complexité. Les outils technologiques à disposition des chercheurs jusqu'à présent constituaient un frein pour aborder, au travers de données biomécaniques, une activité telle que le judo dans sa complexité. Aujourd'hui, les évolutions concernant les objets connectés et les appareils de mesure nous permettent d'entretenir l'espoir d'une transformation de la typologie des recherches dans le domaine, en allant davantage vers une prise en compte plus importante de la complexité et du contexte écologique. Au-delà de nos résultats, qui restent malgré tout modestes, c'est avant tout une démarche et une conception de la recherche que nous avons souhaité défendre au travers de cette thèse.

Le choix de l'approche technologique visant à confronter les données professionnelles avec les données issues de nos mesures était aussi, quelque part, orienté. En démontrant que sur ces éléments il y a convergence entre les mesures et les connaissances des experts, nous souhaitons réaffirmer la place, le rôle et l'importance de l'enseignant et entraîneur expert dans le champ des APSA. Sa connaissance technologique de l'activité lui permet de la comprendre finement et de l'aborder dans sa plus grande complexité. À notre sens, tout modèle, aussi élaboré qu'il soit, ne pourra jamais supplanter cette expertise humaine. Dans le prolongement de ce constat, nous souhaitons formuler une remarque qui interroge la conception de la formation en STAPS. En lien direct avec la thèse et ses résultats, notre réflexion pendant ces

années nous a permis d'arriver à une conclusion quant à la place à accorder aux pratiques sportives dans la formation. Si nous étions déjà des convaincus, aujourd'hui nous le sommes d'autant plus. En accord avec Bouthier, nous pensons que les maquettes doivent continuer à leur faire une large place : « *compte tenu du caractère propre et particulier déjà évoqué des connaissances technologiques il nous paraît déterminant qu'elles soient proposées au sein du cursus STAPS* » (Bouthier et Durey 1993). Deux raisons nous permettent de justifier l'importance de la place des APSA dans la formation. La première réside dans l'importance de développer une expertise dans les activités afin de pouvoir les enseigner ou les entraîner. Comme nous avons pu le montrer, le « *maquignon* » arrive aux mêmes conclusions que nos recherches, mais il présente en plus l'avantage de pouvoir appréhender la motricité dans une plus grande complexité. Une formation à cette expertise passe nécessairement, à notre sens, par une acquisition, par la pratique des techniques propres aux activités. La seconde raison est liée au constat que toute recherche s'intéressant spécifiquement à une activité sportive suppose d'en maîtriser les contenus. Aussi, si les STAPS souhaitent à l'avenir développer des recherches davantage centrées sur les activités sportives, il est important en amont de former les étudiants, potentiels futurs chercheurs, à cette pratique et technologie des APSA.

Enfin, nous concluons ces propos en abordant les perspectives que permet d'envisager ce travail. La démarche « *bottom-up* » entreprise nous a contraints à laisser de côté un certain nombre de données tout aussi intéressantes que celles abordées dans ce manuscrit. Nous pouvons dès à présent les reprendre afin de les valoriser. Par exemple, nous pensons notamment à toutes les données sur la latéralisation que nous n'avons pas pu aborder. Nous pourrions également exploiter les données recueillies dans le cadre des « *geiko* » réalisés par nos sujets en amont des « *randori* ». Ils pourraient permettre de comparer des réalisations techniques en contexte de coopération avec les mêmes effectuées en contexte d'opposition. La place et le rôle de ces « *geiko* » dans l'enseignement du judo pourrait alors être interrogée.

BIBLIOGRAPHIE

- Abdel-Aziz, Y. I., et H. M. Karara. 1971. « Direct Linear Transformation from Comparator Coordinates into Object Space Coordinates in Close-Range Photogrammetry ». *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 81(2):103-7.
- Aboelwafa, H. S. 2021. « Kinematics characteristics of Seoi-Nage and reverse skill in judo ». *Journal of Physical Education & Sport* 21(1):174-79.
- Ache Dias, J., M. Wentz, W. Kulkamp, D. Mattos, M. Goethel, et N. Borges Júnior. 2012. « Is the Handgrip Strength Performance Better in Judokas than in Non-Judokas? » *Science & Sports* 27(3):e9-14.
- Ahmad, N., R. A. Raja Ghazilla, N. Khairi, et V. Kasi. 2013. « Reviews on Various Inertial Measurement Unit (IMU) Sensor Applications ». *International Journal of Signal Processing Systems* 1:256-62.
- Akataka, K., K. Mita, et M. Watakabe. 2004. « Electromyographic and Mechanomyographic Estimation of Motor Unit Activation Strategy in Voluntary Force Production ». *Electromyography and Clinical Neurophysiology* 44(8):489-96.
- Albertini, P. 1983. « Pour une pratique et une pédagogie de l'Opposition Codifiée ». *Magazine officiel de la FFJDA*, décembre, 37-39.
- Alexander, J. P., T. L. Hopkinson, D. W. T. Wundersitz, B. G. Serpell, J. K. Mara, et N. B. Ball. 2016. « Validity of a Wearable Accelerometer Device to Measure Average Acceleration Values During High-Speed Running ». *Journal of Strength & Conditioning Research (Lippincott Williams & Wilkins)* 30(11):3007-13.
- Anderson, G., M. Gaetz, M. Holzmann, et P. Twist. 2013. « Comparison of EMG activity during stable and unstable push-up protocols ». *European Journal of Sport Science* 13(1):42-48.
- Arif, M., et A. Kattan. 2015. « Physical Activities Monitoring Using Wearable Acceleration Sensors Attached to the Body ». *PLOS ONE* 10(7):e0130851.

- Arnaud, P. 1986. « Objet culturel, objet technique, objet didactique ». *Revue STAPS* 7(14):79-87.
- Arnaud, P., et G. Broyer. 1983. « Des techniques du corps aux techniques sportives ». P. 151-73 in Arnaud P., Broyer G. (1985), *Psychopédagogie des activités physiques et sportives*. Toulouse: Privat.
- Association des Cycles Supérieurs en Sociologie de l'Université de Montréal. 2009. « Actes de colloque : Le chercheur et son objet : entre distance et proximité ». Montréal.
- Augé, J., et F. Lavie. 1994. « L'étape fonctionnelle en judo au sol : de l'activité ludique à la pensée technique ». in *Enseigner l'Education Physique et Sportive*. Clermont-Ferrand: Editions AFRAPS.
- Augé, J., F. Lavie, et P. Meuley. 2003. *Judo : une pédagogie du savoir-combattre*. Paris: Revue EPS.
- Augustin, J. P. 2011. « Introduction : le sport attracteur d'organisation sociale et intermédiaire de la mondialisation ». *Annales de géographie* n° 680(4):353-60.
- Awazu, S. 1974. *Méthode de judo au sol*. Paris: Chiron Sports.
- Badreau, J., et A. Barbot. 1990. « Sports de combat de préhension en éducation physique ». in *Education physique et didactique des APS*. Châtenay-Malabry: AEEPS.
- Basmajian, J. V., et C. J. De Luca. 1985. *Muscles Alive: Their Functions Revealed by Electromyography*. Baltimore: Williams & Wilkins.
- Beaujean, J. 1953. *Les 4 projections clefs du judo*. Paris: Judo International.
- Begon, M., et P. Lacouture. 2005. « Modélisation anthropométrique pour une analyse mécanique du geste sportif. » *Movement Sport Sciences* no 55(2):35-60.
- Berthelot, J. M. 1995. *1895 Durkheim : L'avènement de la sociologie scientifique*. Toulouse: Presses universitaires du Midi.
- Bird, M. L., C. Shing, C. Mainsbridge, D. Cooley, et S. Pedersen. 2015. « Activity Behaviors of University Staff in the Workplace: A Pilot Study ». *Journal of Physical Activity & Health* 12(8):1128-32.

- Blais, L. 2004. « Analyse objective de deux techniques de projection en judo : seoi nage et uchi mata de la réalité mécanique aux applications pédagogiques ». Thèse de doctorat, Poitiers.
- Blais, L., et F. Trilles. 2004. « Analyse mécanique comparative d'une même projection de judo : Seoi Nage, réalisée par cinq experts de la Fédération Française de judo ». *Science & Motricite* 1(51):49-68.
- Blais, L., F. Trilles, et P. Lacouture. 2007. « Three-dimensional joint dynamics and energy expenditure during the execution of a judo throwing technique (Morote Seoi Nage) ». *Journal of Sports Sciences* 25(11):1211-20.
- Blumenstein, B., R. Lidor, et G. Tenenbaum. 2005. « Periodization and Planning of Psychological Preparation in Elite Combat Sport Programs: The Case of Judo ». *International Journal of Sport & Exercise Psychology* 3(1):7-25.
- Bonét-Maury, P., et H. Courtine. 1971. *Que sais-je ? Le Judo*. Paris: P.U.F.
- Bonitch-Góngora, J., F. Almeida, P. Padial, J. G. Bonitch-Domínguez, et B. Feriche. 2013. « Maximal isometric handgrip strength and endurance differences between elite and non-elite young judo athletes ». *Archives of Budo* 9:239-48.
- Bontems, V. 2016. « Sur la classification des objets techniques selon Simondon ». *Artefact. Techniques, histoire et sciences humaines* (3):183-98.
- Bouthier, D. 2008. « Technologie des APSA : évolution des recherches et de leur place dans le cursus STAPS ». *eJournal de la recherche sur l'intervention en éducation physique et sport* (15):44-59.
- Bouthier, D. 2021. « Jean-Claude Skrela & Daniel Bouthier : parcours et regards sur le rugby, le sport et l'EPS ». *Revue EP&S* (391):8-13.
- Bouthier, D., et A. Durey. 1993. « Technologie des APS : une voie possible en STAPS ». in *Technologie et didactique des activités physiques et sportives. Quels enseignements ?* Bar-le-Duc: Editions AFRAPS.
- Bouthier, D., et A. Durey. 1994. « Technologie des APS ». P. 95-120 in *Impulsions. Recherches en didactiques APS, EPS, STAPS*. Paris: Institut national de recherche pédagogique.

- Brabec, L., F. Dal Bello, R. Araujo, C. Brito, J. Fernandes, et B. Miarka. 2019. « Judo approach and handgrip analysis: Determining aspects of world circuit high performance ». *Journal of Physical Education and Sport* 19:413-19.
- Branco, B. H. M., L. M. Massuça, L. V. Andreato, B. F. Marinho, B. Miarka, L. Monteiro, et E. Franchini. 2013. « Association between the Rating Perceived Exertion, Heart Rate and Blood Lactate in Successive Judo Fights (Randori) ». *Asian Journal of Sports Medicine* 4(2):125-30.
- Brice, S. M., M. Hurley, et E. J. Phillips. 2018. « Use of inertial measurement units for measuring torso and pelvis orientation, and shoulder–pelvis separation angle in the discus throw ». *International Journal of Sports Science & Coaching* 13(6):985-92.
- Brousse, M. 1986. « La performance en judo. Étude de l'aspect technique. » *STAPS* 7(13):7-12.
- Brousse, M. 1996. *Le judo : son histoire, ses succès*. Genève: Liber.
- Brousse, M. 2005. *Les racines du judo français : histoire d'une culture sportive*. Pessac: Presses universitaires de Bordeaux.
- Brousse, M. et Fédération française de judo. 2016. *Être ceinture noire*.
- Bui-Xuân, G. 1987. « Les professeurs de judo auprès de personnes handicapées. Pratiques éducatives et positionnement social ». Thèse de doctorat, Université Marc Bloch Strasbourg.
- Bui-Xuân, G. 1990. « Une formation continue nouvelle formule en didactique des sports de combat ». *CRDP Clermont-Ferrand* (36).
- Bui-Xuân, G. 1993. « Pour une approche psychanalytique du Judo ». *Quel Corps ? Sciences humaines cliniques et pratiques corporelles* (45-46):65-74.
- Bui-Xuân, G. 1994. « Une modélisation du procès pédagogique ». P. 77-90 in *Enseigner l'Éducation Physique et Sportive*. Clermont-Ferrand: Editions AFRAPS.
- Bui-Xuân, G. 1998. « Le corps mobilisé. Montpellier, HDR. » Habilitation à diriger les recherches, Université de Montpellier.
- Bui-Xuân, G. 2007. « Au plaisir d'éduquer ». P. 205-27 in *Le plaisir des élèves en EPS, futilité ou nécessité ?* Paris: AEEPS.

- Bui-Xuân, G. 2011. « Le plaisir, un fait conatif total ». P. 49-66 in *Le plaisir*. Paris: Edition Revue EPS.
- Bui-Xuân, G., et J. Gleyse. 2001. *L'émergence de l'éducation physique. Georges Demeny et Georges Hébert. Un modèle conatif appliqué au passé*. Paris: Hatier.
- Bui-Xuân, G., et S. Ruffié. 1999. « Le salut en judo : un médium ritualisé de communication ». *Corps et culture* (Numéro 4).
- Cadière, R. 1988. « Essai de lecture objective d'une projection de judo à l'aide d'une plateforme biomécanique et d'un enregistrement vidéo. Brevet d'État d'Éducateur Sportif 3e degré. »
- Cadière, R., et F. Trilles. 1998. *Judo. Analyse et propositions pour la pratique de son enseignement*. Paris: Editions EP&S.
- Cadot, Y. 2006. « Kanō Jigorō et l'élaboration du jūdō - Le choix de la faiblesse et ses conséquences ». Thèse de doctorat, Institut national des langues et civilisations orientales.
- Cadot, Y. 2015. *Promenades en judo*. Toulouse: Éditions Metatext.
- Callister, R., R. .. J. Callister, R. S. Staron, S. J. Fleck, P. Tesch, et G. A. Dudley. 1991. « Physiological characteristics of elite judo athletes ». *International Journal of Sports Medicine* 12(2):196-203.
- Callon, M. 1989. *La science et ses réseaux : genèse et circulation des faits scientifiques*. Paris: La Découverte.
- Callon, M., et B. Latour. 1991. *La science telle qu'elle se fait : anthologie de la sociologie des sciences de langue anglaise*. Paris: La Découverte.
- Calmet, M. 2002. « Faut-il enseigner le judo ou le savoir combattre ? : Les démarches éducatives scolaires peuvent-elles intégrer les activités physiques de combat ? Les activités physiques de combat sont-elles intégrées entièrement en Education Physique et Sportive ? » Thèse de doctorat, Université de Picardie Jules Verne, Amiens.
- Calmet, M. 2007. « Developing Ecological Research in Judo ». *Perceptual and motor skills* 105:646-48.

- Calmet, M. 2010. « Analyse des combats lors des compétitions de haut niveau ». P. 263-87 in *Optimisation de la performance sportive en judo*. Bruxelles: De Boeck.
- Calmet, M., et M. Gouriot. 1987. *Didactique judo en milieu scolaire : Formation professionnelle continue des enseignants d'EPS*. Centre départemental de documentation pédagogique de l'Oise.
- Calmet, M., B. Miarka, et E. Franchini. 2010. « Modeling of grasps in judo contests ». *International Journal of Performance Analysis in Sport* 10:229-40.
- Calmet, M., J. Sallantin, J. L. Monino, et Keith Lyons. 2019. « Evaluation or Analysis of a Live or a Recorded Video Sequence: An Example from an Analysis of Sports Videos ». *Ido Movement for Culture. Journal of Martial Arts Anthropology* 19(4):36-44.
- Calmet, M., N. Trezel, et S. Ahmaidi. 2006. « Survey of System of Attacks by Judoka in Regional and Interregional Matches ». *Perceptual & Motor Skills* 103(3):835-40.
- Cao, H. 2010. « Modélisation et évaluation expérimentale de la relation entre le signal EMG de surface et la force musculaire. » Thèse de doctorat, Université Technologique de Compiègne.
- Carlier, G., G. Bui-Xuân, et D. Bouthier. 2005. *Intervenir en éducation physique et en sport. Recherches actuelles*. Louvain: Presses Universitaires de Louvain.
- Cascarano, G. D., C. Loconsole, A. Brunetti, A. Lattarulo, D. Buongiorno, G. Losavio, E. D. Sciascio, et V. Bevilacqua. 2019. « Biometric handwriting analysis to support Parkinson's Disease assessment and grading ». *BMC Medical Informatics & Decision Making* 19:1-11.
- Castoriadis, C. 1973. « Technique ». in *Encyclopaedia Universalis*.
- Chambers, R. M., T. J. Gabbett, et M. H. Cole. 2019. « Validity of a Microsensor-Based Algorithm for Detecting Scrum Events in Rugby Union ». *International Journal of Sports Physiology & Performance* 14(2):176-82.
- Champault, F. 2000. « Apprendre par corps. Problèmes relatifs aux implications psychologiques et morales de l'apprentissage dans les arts de combat au Japon ». *Daruma* (8/9):55-82.
- Charlot, E. 2017. « Seoi-nage : nouvelle(s) tendance(s) ». *L'Esprit du Judo* (67):44-59.

- Chowdhury, R., M. Reaz, M. Ali, A. Bakar, K. Chellappan, et T. Chang. 2013. « Surface Electromyography Signal Processing and Classification Techniques ». *Sensors* 13(9):12431-66.
- Chuang, T. D., et S. M. Acker. 2019. « Comparing functional dynamic normalization methods to maximal voluntary isometric contractions for lower limb EMG from walking, cycling and running ». *Journal of Electromyography & Kinesiology* 44:86-93.
- Cizeron, M., et C. Ganière. 2012. « Analyser l'habileté motrice comme une " forme " : étude de cas en gymnastique ». *Ejournal de la recherche sur l'intervention en éducation physique et sport -eJRIEPS*.
- Clément, J. P. 1981. « La force, la souplesse et l'harmonie - Étude comparée de trois sports de combat : Lutte - Judo - Aïkido ». in *Sports et société : approche socio-culturelle des pratiques, Collection Sport + enseignement*. Paris: Vigot.
- Coche, J. P., et J. F. Renault. 1989. *Judo. Technique, tactique, entraînement*. Paris: Robert Laffont.
- Cold, K. M., M. B. S. Svendsen, U. Bodtger, L. J. Nayahangan, P. F. Clementsen, et L. Konge. 2021. « Automatic and Objective Assessment of Motor Skills Performance in Flexible Bronchoscopy ». *Respiration* 100(4):347-55.
- Colin, T. 2010. « Analyse sociologique comparative de la pratique du judo pour les enfants de sept à douze ans au Japon et en France ». Thèse de doctorat, Université Paris V René Descartes.
- Combarous, M. 1984. *Les techniques et la technicité*. Paris: Éditions sociales.
- Combessie, J. C. 2007. « L'entretien semi-directif ». P. 24-32 in *La méthode en sociologie*. Vol. 5e éd., *Repères*. Paris: La Découverte.
- Crawford, S. K., M. R. Stiffler-Joachim, J. L. Sanfilippo, et B. C. Heiderscheit. 2021. « Between-limb Differences In Hamstrings Activation Not Observed During Sprinting After Acute Hamstring Strain Injury ». *Medicine & Science in Sports & Exercise* 53:164-65.
- Cresswell, R. 1996. *Prométhée ou Pandore ? Propos de technologie culturelle*. Éditions Kimé.

- Croft, H., et D. Cury Ribeiro. 2013. « Developing and Applying a Tri-Axial Accelerometer Sensor for Measuring Real Time Kayak Cadence ». *Procedia Engineering* 60:16-21.
- Cuisenier, J. 2006. « 1. Du rite et de la cérémonie ». *Ethnologies* 17-36.
- Dal Bello, F., E. Aedo-Muñoz, C. J. Brito, et B. Miarka. 2019. « Performance Analysis and Probabilities by Gender in Judo: Combat Phases, Techniques and Biomechanical Levers ». *Facta Universitatis: Series Physical Education & Sport* 17(1):135-47.
- De Camargo, Rodrigo Guedes, G. M. Guerra, R. L. Rosa, M. Calmet, M. Y. Takito, et E. Franchini. 2019. « Attack side and direction during the 2017 Judo World Championship ». *Sport Sciences for Health* 15(2):477-80.
- De Ketele, J. M., et X. Roegiers. 2009. *Méthodologie du recueil d'informations: fondements des méthodes d'observation, de questionnaire, d'interview et d'étude de documents*. 4e éd.. Bruxelles (Belgique): De Boeck.
- De Leva, P. 1996. « Joint Center Longitudinal Positions Computed from a Selected Subset of Chandler's Data ». *Journal of Biomechanics* 29(9):1231-33.
- De Singly, F. 1992. *L'enquête et ses méthodes : le questionnaire*. Paris: Nathan Université.
- Debailly, R., et M. Quet. 2017. « Passer les Science & Technology Studies en revue-s ». *Zilsel* N° 1(1):23-53.
- Deforge, Y. 1993. *De l'éducation technologique à la culture technique: pour une maîtrise sociale de la technique*. Paris: ESF.
- Defrance, J. 2011. « La culture sportive ». P. 50-70 in *Sociologie du sport*. Vol. 6e éd., *Repères*. Paris: La Découverte.
- Delahaye, J. P. 2009. *Complexité aléatoire et complexité organisée*. Éditions Quæ.
- Delalandre, M. 2010. « L'expertise scientifique au service de la performance sportive ». *Terrains travaux* n° 17(1):127-42.
- Deleplace, R. 1966. *Le rugby*. Paris: A. Colin-Bourrelier.
- Delignières, D. 1998. « A propos de la théorie des systèmes dynamiques : Quelques idées neuves sur l'apprentissage moteur ». *Revue EPS* (274):61-66.

- Delignières, D. 2004. « Difficulté de la tâche et performance ». P. 85-112 in *Manuel de Psychologie du Sport*. Vol. 1. Paris: Edition Revue EPS.
- Delignières, D., C. Teulier, et D. Nourrit. 2009. « L'apprentissage des habiletés motrices complexes : des coordinations spontanées à la coordination experte ». *Bulletin de psychologie* 502(4):327.
- Demontfaucon, F., et S. Weiss. 2011. *Le grand livre des techniques de judo*. Paris: Amphora.
- Detanico, D., J. Dal Pupo, S. Graup, et S. G. dos Santos. 2016. « Vertical Jump Performance and Isokinetic Torque Discriminate Advanced and Novice Judo Athletes ». *Kinesiology* 48(2):223-28.
- Deusinger, R. H. 1968. « Kinetic analysis of the back breakfall and force of impact in judo ». Thèse de doctorat, University of Massachusetts.
- Devezeaux, A. 2021. « Les conditions d'amélioration de la technique ». in *L'apprentissage des techniques corporelles et sportives*. Paris: Editions EP&S.
- Devos, P. 2017. « Contribution biomécanique à l'analyse cinématique in vivo des mouvements de la main humaine ». Thèse de doctorat, Université Technologique de Compiègne.
- Di Filippo, L., A. Michel, et H. Francois. 2012. *La position du doctorant. Trajectoires, engagements, réflexivité*. Vol. 16. Nancy: Presses universitaires de Nancy.
- Dieu, O. 2012a. « Expérience corporelle et sens du mouvement : matérialisation via l'actimétrie du « contexte altéré par l'action » dans l'évolution du joueur de badminton ». *Staps* n°98(4):49-65.
- Dieu, O. 2012b. « L'expérience corporelle, médiation entre sens pour l'élève et exigences pédagogiques : Objectivation par actimétrie de la corrélation entre la direction de jeu et les conations en badminton ». Thèse de doctorat, Université d'Artois.
- Dieu, O., T. Blondeau, J. Vanhelst, P. S. Fardy, G. Bui-Xuân, et J. Mikulovic. 2014. « Relationship Between Tactics and Energy Expenditure According to Level of Experience in Badminton ». *Perceptual & Motor Skills* 119(2):455-67.
- Domagata, E., E. Wirtz, et Fédération française de judo. 2012. *Méthode française d'enseignement jujitsu*. Paris: FFjudo.

- Drljević, J., H. Ćutuk, S. Kapo, A. Vražalica, A. Kapo, et H. Kajmović. 2020. « The Comparison of Attacking Efficiency Index (aei) Derived from Younger Male and Female Seniors (u-23) Participated at the National Judo Championship of Bosnia and Herzegovina ». *Sportski Logos* 18(32):89-96.
- Durand, M. 1987. *L'enfant et le sport*. Paris: Presses universitaires de France.
- Durkheim, E. 1895. *Les règles de la méthode sociologique*. Paris.
- Duval, D., et A. Rabilloud. 1971. *Progression d'Enseignement de Judo - De la Blanche à la Noire*. Paris: Chiron.
- Edwards, S., S. White, S. Humphreys, R. Robergs, et N. O'Dwyer. 2019. « Caution using data from triaxial accelerometers housed in player tracking units during running ». *Journal of Sports Sciences* 37(7):810-18.
- Eichberg, H. 2014. « Explanation or Understanding? Movement Studies Between Natural Sciences and Cultural Studies ». *Physical Culture & Sport. Studies & Research* 63(1):5-21.
- Elias, N., et E. Dunning. 1994. *Sport et civilisation: la violence maîtrisée*. Paris: Fayard.
- Ellul, J. 1977. *Le système technicien*. Paris: Calmann-Lévy.
- Eloi, S., et G. Uhrich. 2001. « Contribution à la caractérisation des sports collectifs : les exemples du volley-ball et du rugby ». *Staps* no 56(3):109-25.
- Famose, J. P. 1990. *Apprentissage moteur et difficulté de la tâche*. Paris: INSEP Editions.
- Faria Da Fonseca, P. N. 1999. « Modélisation et validation des algorithmes non-déterministes de synchronisation des horloges ». Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Lorraine.
- Faul, F., E. Erdfelder, A. Buchner, et A. G. Lang. 2009. « Statistical Power Analyses Using G*Power 3.1: Tests for Correlation and Regression Analyses ». *Behavior Research Methods* 41(4):1149-60.
- Faul, F., E. Erdfelder, A. G. Lang, et A. Buchner. 2007. « G*Power 3: A Flexible Statistical Power Analysis Program for the Social, Behavioral, and Biomedical Sciences ». *Behavior Research Methods* 39(2):175-91.

- Fédération française de judo. 1950. *Judo international*. Paris: Editions A.M.I.
- Fédération Française de Judo et Disciplines Associées. 1967. *Les Cahiers techniques et pédagogiques de Judo. La progression française d'enseignement*. Fédération Française de Judo et Disciplines Associées.
- Fédération Française de Judo et Disciplines Associées. 1979. *Les niveaux techniques, la démarche pédagogique dans le judo des 13-15 ans*. Paris: FFJDA.
- Fédération Française de Judo et Disciplines Associées. 1989. *Méthode française d'enseignement du judo-jujitsu*. Fédération Française de Judo et Disciplines Associées.
- Fédération française de judo, jiu-jitsu et disciplines associées. 1973. *Les kumi-kata - supplément aux cahiers techniques*. FFJDA. Paris.
- Fédération française de judo, jiu-jitsu et disciplines associées. 2013. *Le judo des 13-15 ans*. Talence: 4 Trainer Editions.
- Fédération française de judo, jiu-jitsu et disciplines associées. 2014. *Le judo des 6-8 ans*. Talence: 4 Trainer Editions.
- Fédération française de judo, jiu-jitsu et disciplines associées. 2015. *Le judo des 15-17 ans*. Talence: 4 Trainer Editions.
- Fédération française de judo, jiu-jitsu et disciplines associées. 2018. *Le Judo des 4-5 ans*. Talence: 4 Trainer Editions.
- Feldman, J. 2002. « Objectivité et subjectivité en science. Quelques aperçus ». *Revue européenne des sciences sociales. European Journal of Social Sciences* (XL-124):85-130.
- Fleischmann, E. A. 1967. « Human abilities and the acquisition of skill ». in *Acquisition of skill*. New York: Academic Press.
- Flichy, P. 2003. « 3. L'anthropologie de la technique. Penser ensemble le technique et le social ». *Sciences et société* 73-109.
- Fournier, L. S., et G. Raveneau. 2010. « Anthropologie de la globalisation et cultures sportives ». *Journal des anthropologues. Association française des anthropologues* (120-121).

- Franchini, E., B. Miarka, L. Matheus, et F. Del Vecchio. 2011. « Endurance in judogi grip strength tests: Comparison between elite and non-elite judo players ». *Archives of Budo* 7.
- Frisch, M. 2008. « Transposition `` top-down ’ ’ et contre transposition `` bottom-up ’ ’ ? » P. 11 in *Actes du séminaire du GRCDI: "Contextes et enjeux de la culture informationnelle, approches et questions de la didactique de l'information"*. Rennes: Publication en ligne.
- Fuglsang-Frederiksen, A. 2000. « The Utility of Interference Pattern Analysis ». *Muscle & Nerve* 23(1):18-36.
- Gaetani, F., P. Primiceri, G. Antonio Zappatore, et P. Visconti. 2019. « Hardware design and software development of a motion control and driving system for transradial prosthesis based on a wireless myoelectric armband ». *IET Science, Measurement & Technology (Wiley-Blackwell)* 13(3):354-62.
- Ganière, C. 2015. « L'organisation motrice de l'élève apprenant en E.P.S. : élaboration d'un cadre d'analyse pour l'intervention ». Thèse de doctorat, Université de Clermont-Ferrand II.
- Ganière, C., et M. Cizeron. 2013. « L'habileté motrice comme « forme organisée » : quels outils d'analyse pour l'enseigner ? » *Movement & Sport Sciences - Science & Motricité* (81):17-27.
- Gaudin, B. 2009. « La codification des pratiques martiales ». *Actes de la recherche en sciences sociales* n° 179(4):4-31.
- Gift, P. 2019. « Entertainment Design in Mixed Martial Arts: Does Cage Size Matter? » *Journal of Applied Sport Management* 11(2):11-26.
- Goirand, P. 1996. « Plaidoyer pour une technologie culturelle ». in *Goirand P., Metzler J., Techniques sportives et culture scolaire : une histoire culturelle du sport*. Paris: Ed. Revue EPS.
- Gonçalves, M., N. R. Marques, C. Z. Hallal, et J. H. Van Dieën. 2011. « Electromyographic activity of trunk muscles during exercises with flexible and non-flexible poles ». *Journal of Back & Musculoskeletal Rehabilitation* 24(4):209-14.

- Gonzalez, O. 2013. « La création d'une science des activités physiques et sportives : entre controverse épistémologique et querelle de famille ». P. 247 in *Sport et controverses*. Paris: Editions archives contemporaines.
- Gouju, J. L. 2006. « L'œil de maquignon comme compétence professionnelle des enseignants d'éducation physique et sportive ». P. 481-86 in *G. Carlier, D. Bouthier & G. Bui-Xuan (Eds.). Intervenir en éducation physique et en sport*. Louvain.
- Gozlan, C. 2015. « L'autonomie de la recherche scientifique en débats : évaluer l'« impact » social de la science ? » *Sociologie du travail* 57(Vol. 57-n° 2):151-74.
- Guthrie, E. R. 1957. *The Psychology of Learning*. New York: Harper.
- Habersetzer, G., R. Habersetzer, et Centre de Recherche Budo. 2000. *Encyclopédie technique, historique, biographique et culturelle des arts martiaux de l'Extrême-Orient*. Paris, France: Éditions Amphora.
- Harter, R. A., et B. T. Bates. 1985. « Kinematic and temporal characteristics of selected judo hip throws ». P. 141-50 in *Biomechanics in sports II*. Del Mar, Californie: Research Center for Sports.
- Hashimoto, T., T. Ishii, N. Okada, et M. Itoh. 2015. « Impulsive force on the head during performance of typical ukemi techniques following different judo throws ». *Journal of Sports Sciences* 33(13):1356-65.
- Helm, N., O. Prieske, T. Muehlbauer, T. Krüger, H. Chaabene, et U. Granacher. 2018. « Validation of A New Judo-Specific Ergometer System in Male Elite and Sub-Elite Athletes ». *Journal of Sports Science & Medicine* 17(3):465-74.
- Hilpron, M. 2012a. « De “faire du judo” à “faire judo” : approche ethnographique d'une pratique de haut-niveau par la culture matérielle ». Thèse de doctorat, Université d'Orléans, France.
- Hilpron, M. 2012b. « L'appropriation du judo : d'une « voie de la souplesse » à l'efficacité incarnée ». *Staps* (98):143-56.
- Hilpron, M. 2013. « Ippon* comme l'expérience corporelle du vide pleinement vécue ». *Corps* (11):133-40.

- Hilpron, M., et C. Rosselin. 2010. « Vécu corporel du judo et globalisation du sport ». *Journal des anthropologues. Association française des anthropologues* (120-121).
- Hlady-Rispal, M. 2002. *La méthode des cas*. De Boeck Supérieur.
- Holmes, D. E., D. K. Charles, P. J. Morrow, S. McClean, et S. M. McDonough. 2017. « Evaluation of Leap Motion controller and Oculus Rift for virtual-reality-based upper limb stroke rehabilitation ». *Journal of Alternative Medicine Research* 9(4):379-89.
- Hugel, F., M. Cadopi, F. Kohler, et P. Perrin. 1999. « Postural Control of Ballet Dancers: A Specific Use of Visual Input for Artistic Purposes ». *International Journal of Sports Medicine* 20(2):86-92.
- Hulin, B., T. Gabbett, R. Johnston, et D. Jenkins. 2017. « Wearable microtechnology can accurately identify collision events during professional rugby league match-play ». *Journal of Science and Medicine in Sport* 20.
- Iermakov, S., L. V. Podrigalo, et W. Jagiełło. 2016. « Hand-grip strength as an indicator for predicting the success in martial arts athletes ». *Archives of Budo* 12:179-86.
- Imamura, R., A. Hreljac, R. Escamilla, et W. R. Edwards. 2006. « A Three-Dimensional Analysis Of The Center Of Mass For Three Different Judo Throwing Techniques ». *Journal of Sports Science & Medicine* 5(CSSI):122-31.
- Imamura, R., M. Iteya, A. Hreljac, et R. Escamilla. 2007. « A Kinematic Comparison of the Judo Throw Harai-Goshi during Competitive and Non-Competitive Conditions ». *Journal of sports science & medicine* 6:15-22.
- Imamura, R., et B. Johnson. 2003. « A kinematic analysis of a judo leg sweep : major outer leg reap - osoto gari ». 2(2).
- Imed, G., T. Mouna, A. Fatma, et S. Nizar. 2020. « Comparison of muscle damage parameters between the training session and after a fight amongst judokas ». *Journal of Physical Education & Sport* 20(1):71-78.
- Inogai, T., et R. Habersetzer. 2002. *Judo pratique: du débutant à la ceinture noire (suivant les progressions françaises et japonaises)*. Amphora. Paris.

- Ishii, T., M. Ae, Y. Suzuki, et Y. Kobayashi. 2018. « Kinematic Comparison of the Seoi-Nage Judo Technique between Elite and College Athletes ». *Sports Biomechanics* 17(2):238-50.
- Ishii, Takanori, Michiyoshi Ae, Yuta Suzuki, et Yasuto Kobayashi. 2018. « Kinematic comparison of the seoi-nage judo technique between elite and college athletes ». *Sports Biomechanics* 17(2):238-50.
- Jazarin, J. L. 1968. *L'esprit du judo : entretiens avec mon maître*. Paris: Les éditions du Pavillon.
- Jazarin, J. L. 1974. *Le judo école de vie*. Condé sur Noireau: Tgl Harmattan.
- Julhe, S. 2012. « Le judo et l'enfant. Regards et pratiques d'enseignants ». *Staps* n°96-97(2):121-37.
- Julio, U. F., V. L. Gonçalves Panissa, M. F. Agostinho, R. L. Cury, J. V. Esteves, et E. Franchini. 2018. « Time-course of time-motion, physiological, perceived exertion and neuromuscular responses during simulated judo matches ». *International Journal of Performance Analysis in Sport* 18(4):582-94.
- Kallenberg, L. A. C., et H. J. Hermens. 2008. « Behaviour of a Surface EMG Based Measure for Motor Control: Motor Unit Action Potential Rate in Relation to Force and Muscle Fatigue ». *Journal of Electromyography and Kinesiology* 18(5):780-88.
- Kamitani, T., Y. Nimura, S. Nagahiro, S. Miyazaki, et T. Tomatsu. 2013. « Catastrophic Head and Neck Injuries in Judo Players in Japan From 2003 to 2010 ». *American Journal of Sports Medicine* 41(8):1915-21.
- Kanō, J. 2013. *Du jūdō et de sa valeur éducative comme pédagogie*. S.l.: Metatext.
- Katsavelis, D., et A. Threlkeld. 2014. « Quantifying thigh muscle co-activation during isometric knee extension contractions: Within- and between-session reliability ». *Journal of Electromyography & Kinesiology* 24(4):502-7.
- Kniubaite, A., A. Skarbalius, F. M. Clemente, et D. Conte. 2019. « Quantification of external and internal match loads in elite female team handball ». *Biology of Sport* 36(4):311-16.
- Korb, S., et S. Delplanque. 2013. « Chapitre 8. Électromyographie (EMG) ». Dunod.

- Koshida, S., T. Ishii, T. Matsuda, et T. Hashimoto. 2017. « Kinematics of judo breakfall for osoto-gari: Considerations for head injury prevention ». *Journal of Sports Sciences* 35(11):1059-65.
- Kowalewski, K. F., C. R. Garrow, M. W. Schmidt, L. Benner, B. P. Müller-Stich, et F. Nickel. 2019. « Sensor-based machine learning for workflow detection and as key to detect expert level in laparoscopic suturing and knot-tying ». *Surgical Endoscopy* 33(11):3732-40.
- Koyama, K., M. Hirokawa, Y. Yoshitaka, et J. Yamauchi. 2019. « Toe Flexor Muscle Strength and Morphological Characteristics of the Foot in Judo Athletes ». *International Journal of Sports Medicine* 40.
- Kutafina, E., D. Laukamp, R. Bettermann, U. Schroeder, et S. M. Jonas. 2016. « Wearable Sensors for ELearning of Manual Tasks: Using Forearm EMG in Hand Hygiene Training ». *Sensors (Basel, Switzerland)* 16(8):E1221.
- Kuźmicki, S., A. Kruszewski, M. Kruszewski, M. Adam, M. Sarnacki, et R. Pujszo. 2016. « The individual technical and tactical profile of a leading Polish judoka in the +100 kg weight category and his somatic composition in comparison to the world elite ». *Baltic Journal of Health & Physical Activity* 8(4):69-78.
- Lacouture, P., et A. Junqua. 1991. « Plateforme de forces et analyse du geste sportif ». *Science & Motricite* (15):41-51.
- Lacouture, P., et A. Junqua. 2000. « Théorie et méthodologie de l'analyse mécanique en sports de combat ». P. 215-30 in *Recherches en sports de combat et en arts martiaux. État des lieux*. Paris: Ed. Revue EPS.
- Lafont, L. 2002. « Technique, modèles et didactique de l'éducation physique et sportive ». *Staps* no 59(3):57-70.
- Lai, D. T. H., M. Hetchl, X. C. Wei, K. Ball, et P. McLaughlin. 2011. « On the Difference in Swing Arm Kinematics between Low Handicap Golfers and Non-Golfers Using Wireless Inertial Sensors ». *Procedia Engineering* 13:219-25.
- Lampert, L. 1978. « Time, Clocks, and the Ordering of Events in a Distributed System ». *Communications of the ACM* 21(7):8.

- Lariosa, C. J. D., D. Gozdowski, S. Pietkiewicz, et R. Maciejewski. 2017. « Survey of judo injuries in physical education classes: a retrospective analysis ». *Journal of Physical Education & Sport* 17(3):2034-42.
- Latour, B. 1995. *La science en action*. Paris: Editions Gallimard.
- Latour, B., et D. Gille. 2001. *L'espoir de Pandore*. Paris: La Découverte.
- Latour, B., et S. Woolgar. 1979. *Laboratory life: the social construction of scientific facts*. Beverly Hills: Sage Publications.
- Lepetit, K. 2018. « Évaluation biomécanique des capacités musculo-squelettiques lors de la transition assis / debout au moyen d'une centrale inertielle en situation écologique ». Thèse de doctorat, Université Technologique de Compiègne.
- Leplanquais, F., M. Cotinaud, et P. Lacouture. 1994. « Proposition pour une musculation spécifique : exemple du judo ». *Cinésiologie* (160):80-86.
- Leplat, J., et J. Pailhous. 1981. « L'acquisition des habiletés mentales : la place des techniques ». *Le Travail Humain* 44(2):275-82.
- Leroi-Gourhan, A. 1950. *Évolution et technique - Milieu et techniques*. Vol. Volume II. Paris: Albin Michel.
- Léziart, Y. 2006. « Technique, science et culture ». P. 7-25 in Robène L., Léziart Y., *L'homme en mouvement*. Vol. 2. Paris: Chiron.
- Lin, K. C., C. W. Wei, C. L. Lai, I. L. Cheng, et N. S. Chen. 2021. « Development of a badminton teaching system with wearable technology for improving students' badminton doubles skills ». *Educational Technology Research & Development* 69(2):945-69.
- Loison, T. 2016. *Rapport général d'analyses de données multifactorielles*. Fédération Française de Judo et Disciplines associées.
- Loizon, D., E. Margnes, et A. Terrisse. 2005. « La transmission des savoirs : le savoir personnel des enseignants ». *Savoirs* (8):107-23.

- Loquet, M. 2006. « Analyse des gestes professionnels : illustration de « l'œil du maquignon » chez une formatrice en expression corporelle ». *Revue française de pédagogie* n° 157(4):10-10.
- Luker, K. R., A. Aguinaldo, D. Kenney, K. Cahill-Rowley, et A. L. Ladd. 2014. « Functional Task Kinematics of the Thumb Carpometacarpal Joint ». *Clinical Orthopaedics and Related Research* 472(4):1123-29.
- MacIntosh, A., E. Desailly, N. Vignais, V. Vigneron, et E. Biddiss. 2020. « A biofeedback-enhanced therapeutic exercise video game intervention for young people with cerebral palsy: A randomized single-case experimental design feasibility study ». *PLoS ONE* 15(6).
- Macquet, A. C., et P. Fleurance. 2006. « Des modèles théoriques pour étudier l'activité de l'expert en sport ». *Science & Motricité* (58):9-41.
- Manton, S., G. Magerowski, L. Patriarca, et M. Alonso-Alonso. 2016. « The “Smart Dining Table”: Automatic Behavioral Tracking of a Meal with a Multi-Touch-Computer ». *Frontiers in Psychology* 7.
- Margnes, E. 1996. « Réflexions sur les valeurs du judo et perspectives de transposition didactique en EPS ». P. 173-79 in *Arts martiaux. Sports de combat*. Vol. 12, *Les cahiers de l'INSEP*. Paris: INSEP.
- Margnes, E. 2010. « Traitement didactique et pédagogique de l'activité “judo” ». in *Optimisation de la performance sportive en judo*. Bruxelles: De Boeck.
- Marotta, L., et J. Reenalda. 2021. « (Machine) Learning From IMU-derived Biomechanics To Detect Physical Fatigue In An Outdoor Run ». *Medicine & Science in Sports & Exercise* 53:141-141.
- Marsenach, J. 1994. *EPS au collège et volley-ball*. Paris: INRP.
- Martin, C. 2013. « Analyse biomécanique du service au tennis: lien avec la performance et les pathologies du membre supérieur ». Thèse de doctorat, Université Rennes 2.
- Martin, G. 2011. « Essai sur les territoires du judo en France ». Thèse de doctorat, Université Michel de Montaigne - Bordeaux III.

- Martins, F. P., L. S. D. Pinto De Souza, R. P. De Campos, S. J. Bromley, M. Y. Takito, et E. Franchini. 2019. « Techniques utilised at 2017 Judo World Championship and their classification: comparisons between sexes, weight categories, winners and non-winners ». *Ido Movement for Culture. Journal of Martial Arts Anthropology* 19(1):58-65.
- Masnières, J. L. 1988. *Le judo*. Paris: Solar.
- Massion, J. 1998. « Postural Control Systems in Developmental Perspective ». *Neuroscience and Biobehavioral Reviews* 22(4):465-72.
- Matos, A., T. Adão, L. Magalhães, et E. Peres. 2016. « A Myographic-Based HCI Solution Proposal for Upper Limb Amputees ». *Procedia Computer Science* 100:2-13.
- Maupu, P., et J. Vettrano. 2011. *Le guide du judo*. Paris: Editions EP&S.
- Mauss, M. 1934. « Les techniques du corps ». in *Sociologie et anthropologie*. Paris: PUF.
- Melo, S. I. L., S. G. dos Santos, A. G. da Cunha, D. Detanico, et J. S. Teixeira. 2009. « Ukemi: Quantity, Rate and Distribution in Judo Training Sessions ». *Fitness & Performance Journal (Online Edition)* 8(4):291-301.
- Melo, S. I. L., S. G. Santos, T. Piuccio, et J. Teixeira. 2013. « Influence of judoka height when using the seoi nage technique ».
- Mesli, T. 2010. « De l'expérience du corps en mouvement à une conception anthropologique de l'art martial : essence, forme et structure ». *Staps* n° 89(3):19-28.
- Mesure, S., et J. Crémieux. 1996. « L'entraînement de judo se traduit-il par l'utilisation de nouvelles stratégies sensori-motrices dans le contrôle postural ? » P. 77-83 in *Arts martiaux. Sports de combat*. Vol. 12, *Cahiers de l'INSEP*. Paris: INSEP.
- Metzler, J. 1996. « Une interrogation sur l'histoire des techniques et des règlements à partir des préoccupations didactiques ». in *Goirand P., Metzler J., Techniques sportives et culture scolaire : une histoire culturelle du sport*. Paris: Ed. Revue EPS.
- Miarka, B., R. Cury, R. Julianetti, R. Battazza, U. F. Julio, M. Calmet, et E. Franchini. 2014. « A comparison of time-motion and technical–tactical variables between age groups of female judo matches ». *Journal of Sports Sciences* 32(16):1529-38.

- Miarka, B., K. Sterkowicz-Przybycien, et D. H. Fukuda. 2017. « Evaluation of Sex-Specific Movement Patterns in Judo Using Probabilistic Neural Networks ». *Motor Control* 21(4):390-412.
- Mikulovic, J., G. Vanlerberghe, et G. Bui-Xuân. 2010. « De la pédagogie conative à la pédagogie métaconative ». *Spirale - Revue de recherches en éducation* (45):137-50.
- Molina-García, J., A. Queralt, I. Estevan, et J. F. Sallis. 2016. « Ecological correlates of Spanish adolescents' physical activity during physical education classes ». *European Physical Education Review* 22(4):479-89.
- Monteiro, L., J. Gonçalves, L. Chambel, et M. Abel. 2019. « Evolution of the temporal structure of world high competition judo combat (2013 a 2017) ». *Revista de Artes Marciales Asiaticas* 14:15-17.
- Morin, E. 1982. *Science avec conscience*. Paris: Fayard.
- Mouchet, A. 2014. « L'observation du jeu comme geste professionnel des entraîneurs ». *Recherches & éducations* (12):43-56.
- Mouchet, A., C. Amans-Passaga, et J. F. Gréhaigne. 2010. « L'approche technologique en STAPS ». P. 201-22 in *dir. Musard M., Carlier G., Loquet M., Sciences de l'intervention en EPS et en sport : résultats de recherches et fondements théoriques*. Besançon: Presses universitaires.
- Nakanishi, H. 1998. *Seoi-Nage. Morote-Seoi-Nage, Ippon-Seoi-Nage*. Paris: Chiron.
- Newell, K. 1986. « Constraints on the Development of Coordination ». P. 341-60 in *Motor Development in Children: Aspects of Coordination and Control*. Dordrecht: H.T.A. Whiting.
- Nourrit, D., D. Delignières, N. Caillou, T. Deschamps, et B. Lauriot. 2003. « On Discontinuities in Motor Learning: A Longitudinal Study of Complex Skill Acquisition on a Ski-Simulator ». *Journal of Motor Behavior* 35(2):151-70.
- Osgood, C. E., G. J. Suci, et P. H. Tannenbaum. 1957. *The measurement of meaning*. Urbana: University of Illinois Press.
- Paillard, T. 2010a. « La régulation posturale du judoka ». P. 157-70 in *Optimisation de la performance sportive en judo*. Bruxelles: De Boeck.

- Paillard, T. 2010b. *Optimisation de la performance sportive en judo*. Bruxelles: De Boeck.
- Paillard, T., M. C. Costes-Salon, Y. Kerlirzin, C. Lafont, et P. Dupui. 2002a. « Réponses posturo-cinétiques du judoka en fonction de sa motricité spécifique en phase offensive. » *Movement Sport Sciences* no 45(1):119-24.
- Paillard, T., M. C. Costes-Salon, C. Lafont, et P. Dupui. 2002b. « Are there differences in postural regulation according to the level of competition in judoists? » *British Journal of Sports Medicine* 36(4):304.
- Parlebas, P. 1968. « Motricité émiétée et motricité structurée ». *Revue EPS* (93):17-23.
- Parlebas, P. 1977. « Activités physiques et éducation motrice ». *Revue EPS* 147.
- Parlebas, P. 1981. *Contribution a un lexique commenté en science de l'action motrice*. Paris: Publication I.N.S.E.P.
- Parlebas, P. 1991. « Didactique et logique interne des APS ». *Revue EPS* (228):9-14.
- Parlebas, P. 1999. *Jeux, sports et sociétés : Lexique de praxéologie motrice*. Paris: INSEP-Éditions.
- Payton, C. J., et A. Burden. 2007. *Biomechanical Evaluation of Movement in Sport and Exercise. The British Association of Sport and Exercise Sciences Guide*. Londres: Routledge.
- Pereira, G. R., L. F. de Oliveira, et J. Nadal. 2011. « Isometric fatigue patterns in time and time–frequency domains of triceps surae muscle in different knee positions ». *Journal of Electromyography & Kinesiology* 21(4):572-78.
- Pérennou, D. 2012. « Physiologie et physiopathologie du contrôle postural ». *La Lettre de médecine physique et de réadaptation* 28(3):120-32.
- Pérez Castilla, A., A. Piepoli, G. Delgado García, G. Garrido, et A. García Ramos. 2019. « Reliability and Concurrent Validity of Seven Commercially Available Devices for the Assessment of Movement Velocity at Different Intensities During the Bench Press ». *The Journal of Strength and Conditioning Research* 33.

- Perrin, P., M. C. Béné, C. A. Perrin, et D. Durupt. 1997. « Ankle Trauma Significantly Impairs Posture Control--a Study in Basketball Players and Controls ». *International Journal of Sports Medicine* 18(5):387-92.
- Perrin, P., D. Deviterne, F. Hugel, et C. Perrot. 2002. « Judo, Better than Dance, Develops Sensorimotor Adaptabilities Involved in Balance Control ». *Gait & Posture* 15(2):187-94.
- Perrin, P., E. Vitte, et T. Pozzo. 1991. « Equilibration dans les sports acrobatiques ». *Cinesiologie* (140):277-85.
- Perrot, C., D. Deviterne, et P. Perrin. 1998. « Influence of Training on Postural and Motor Control in a Combative Sport ». *Journal of Human Movement Studies* 35(3):S. 119-136.
- Perrot, C., R. Moes, G. Vancon, et P. Perrin. 1996. « Rôle des afférences visuelles dans le contrôle postural chez les pratiquants de boxe française ». *Archives of Physiology & Biochemistry* 104(5):624-624.
- Peter, J. M., et C. Martin. 2017. « Regards interdisciplinaires sur l'apport des technologies dans l'analyse du mouvement du service en tennis ». *Movement & Sport Sciences / Science & Motricité* (97):35-43.
- Piucco, T., et S. G. Santos. 2010. « Valores de impacto no corpo do judoca ao ser projetado pela técnica Ippon-Seoi-Nage. / Magnitude and duration of the impact generated on the athletes' body during training in Ippon-Seoi-Nage judo technique ». *Motricidade* 6(1):71-83.
- Poblador Valles, J. A. 2016. « Estudio electromiográfico de la técnica de judo "Seoi nage": comprobación de la eficacia del uso de gomas elásticas para sustituir al entrenamiento con un compañero ». Thèse de doctorat, Universidad de Zaragoza.
- Pociello, C. 1994. « Cultures, techniques et corps sportifs ». in *Techniques sportives et EPS, Dossier EPS n°19*. Paris: Ed. Revue EPS.
- Pucsok, J., et K. Nelson. 2001. « A kinetic and kinematic analysis of the Harai-goshi judo technique ». *Acta physiologica Hungarica* 88:271-80.

- Qi, W., X. Liu, L. Zhang, L. Wu, W. Zang, et H. Su. 2021. « Adaptive sensor fusion labeling framework for hand pose recognition in robot teleoperation ». *Assembly Automation* 41(3):393-400.
- Quidu, M. 2017. « Les activités sportives «hybrides» comme réponse à l'accélération des rythmes de vie: Le cas de la pratique du Mixed Martial Arts à l'École Normale Supérieure de Lyon ». *Temporalités* (25).
- Quittmann, O. J., J. Meskemper, K. Albracht, T. Abel, T. Foitschik, et H. K. Strüder. 2020. « Normalising surface EMG of ten upper-extremity muscles in handcycling: Manual resistance vs. sport-specific MVICs ». *Journal of Electromyography & Kinesiology* 51:N.PAG-N.PAG.
- Ramulu, Pradeep Y., Emilie S. Chan, Tara L. Loyd, L. Ferrucci, et David S. Friedman. 2012. « Comparison of Home and Away-From-Home Physical Activity Using Accelerometers and Cellular Network-Based Tracking Devices ». *Journal of Physical Activity & Health* 9(6):809-17.
- Reuchlin, M. 1983. *Psychologie*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Robène, L. 2014. « L'histoire des techniques et des technologies sportives : une matrice « culturelle » franco-française de l'histoire du sport ? » *Movement Sport Sciences* n° 86(4):93-104.
- Robène, L. 2017. « Technologies et techniques des sports : le regard de l'histoire et des sciences humaines et sociales ». *Movement Sport Sciences* n° 97(3):1-7.
- Robène, L., et Y. Léziart, éd. 2006. *Techniques sportives et culture*. Paris: Chiron.
- Rougé, J. L. 1992. *Harai-goshi*. Paris: Chiron.
- Rougé, J. L. 2008. « Objectif Ceinture Noire ! » *Dojo Info - Fédération Française de Judo* (10):20.
- Rousseau, J. J. 1762. *Emile ou De l'éducation*. Paris: Chez Jean Néaulme Librairie.
- Ryan, E. D., J. T. Cramer, A. D. Egan, M. J. Hartman, et T. J. Herda. 2008. « Time and Frequency Domain Responses of the Mechanomyogram and Electromyogram during Isometric Ramp Contractions: A Comparison of the Short-Time Fourier and Continuous

Wavelet Transforms ». *Journal of Electromyography and Kinesiology: Official Journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology* 18(1):54-67.

Salès-Wuillemin, Edith. 2006. « Méthodologie de l'enquête ». 45.

Sánchez-Margallo, F. M., J. A. Sánchez-Margallo, J. L. Moyano-Cuevas, E. M. Pérez, et J. Maestre. 2017. « Use of natural user interfaces for image navigation during laparoscopic surgery: initial experience ». *Minimally Invasive Therapy & Allied Technologies* 26(5):253-61.

Sato, T., et I. Okano. 1974. *Le Judo vivant*. Asnières: Maison du judoka.

Sattar, N. Y., Z. Kausar, S. A. Usama, N. Naseer, U. Farooq, A. Abdullah, S. Z. Hussain, U. S. Khan, H. Khan, et P. Mirtaheeri. 2021. « Enhancing Classification Accuracy of Transhumeral Prosthesis: A Hybrid sEMG and fNIRS Approach ». *IEEE Access* 9:113246-57.

Scheiterer, R. L., C. Na, D. Obradovic, G. Steindl, et F. J. Goetz. 2008. « Synchronization Performance of the Precision Time Protocol in the Face of Slave Clock Frequency Drift ». P. 554-59 in *2008 IEEE International Conference on Automation Science and Engineering*. Arlington: IEEE.

Sève, C. 2021. « Techniques corporelles et techniques sportives ». in *L'apprentissage des techniques corporelles et sportives*. Paris: Editions EP&S.

Simondon, G. 1958. *Du mode d'existence des objets techniques*. Paris: Aubier-Montaigne.

Skau Pawlowski, C., H. Bondo Andersen, et J. Schipperijn. 2020. « Difference in Outdoor Time and Physical Activity During Recess After Schoolyard Renewal for the Least-Active Children ». *Journal of Physical Activity & Health* 17(10):968-76.

Smith, R. W., T. J. Neltner, J. P. V. Anders, J. L. Keller, T. J. Housh, R. J. Schmidt, et G. O. Johnson. 2021. « Fatigability, Coactivation, and Neuromuscular Responses of the Biceps Brachii and Triceps Brachii Following Sustained, Maximal, Isometric Forearm Flexion to Task Failure ». *Journal of Exercise Physiology Online* 24(3):55-74.

Solomonow, M., R. Baratta, H. Shoji, et R. D'Ambrosia. 1990. « The EMG-Force Relationships of Skeletal Muscle; Dependence on Contraction Rate, and Motor Units Control Strategy. » *Electromyography and Clinical Neurophysiology* 30(3):141-52.

- Soylu, A. R., H. Ertan, et F. Korkusuz. 2006. « Archery performance level and repeatability of event-related EMG ». *Human Movement Science* 25(6):767-74.
- Sterkowicz, S., A. Sacripanti, et K. Sterkowicz-Przybycień. 2013. « Techniques Frequently Used during London Olympic Judo Tournaments: A Biomechanical Approach ». *Archives of Budo* 9:51-58.
- Stokes, I. A. F. 2005. « Relationships of EMG to effort in the trunk under isometric conditions: force-increasing and decreasing effects and temporal delays ». *Clinical Biomechanics* 20(1):9-15.
- Suchman, L. A. 1987. *Plans and situated action : the problem of human-machine interaction*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Swinnen, S. P., N. Dounskaia, C. B. Walter, et D. J. Serrien. 1997. « Preferred and induced coordination modes during the acquisition of bimanual movements with a 2:1 frequency ratio ». *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 23(4):1087-1110.
- Takahashi, R. 1992. « The application of biomechanics to judo technique «okuri ashi barai» ». 15(4):30-33.
- Terret, C., J. Morlier, et J. Mikulovic. 2020. « La biomécanique au service de la formation du judoka. État des lieux, questionnements et perspectives. » in *Formation, sports de combat et arts martiaux*. Toulouse: Presses de l'Université Toulouse 1 Capitole.
- Terret, C., L. Robène, et B. Grosjean. 2017. « Histoire des techniques en canoë-kayak freestyle ». *Movement & Sport Sciences* n° 97(3):53.
- Tezuka, M., S. Funk, M. Purcell, et M. J. Adrian. 1983. « Kinetic analysis of judo technique ». in *In, Matsui, H., and Kobayashi, K. (eds.), Biomechanics VIII-A & B: proceedings of the Eighth International Congress of Biomechanics, Nagoya, Japan, Champaign, Ill., Human Kinetics Publishers, c1983, p. 869-875. ;*
- Thabot, D. 1995. *Judo optimal*. Paris: Actio.
- Thomas, D. 2006. « A General Inductive Approach for Analyzing Qualitative Evaluation Data ». *American Journal of Evaluation* 27:237-46.

- Thouvarecq, R., et D. Adé. 2021. « Les approches scientifiques de l'apprentissage moteur ». in *L'apprentissage des techniques corporelles et sportives*. Paris: Editions EP&S.
- Totty, M. S., et E. Wade. 2018. « Muscle Activation and Inertial Motion Data for Noninvasive Classification of Activities of Daily Living ». *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* 65(5):1069-76.
- Trilles, F., L. Blais, et R. Cadière. 2010. « Facteurs biomécaniques de performance ». P. 17-71 in *Optimisation de la performance sportive en judo*. Bruxelles: De Boeck.
- Trilles, F., P. Lacouture, et R. Cadiere. 1990. « Analyse de différents styles d'une projection de judo (uchi-mata): perspective didactique a partir d'une approche mécanique. » *Science & Motricité* (10):33-43.
- Turpin, J. P. 1997. « Réhabiliter le conatif ». in *Comment peut-on enseigner une culture corporelle ? Colloque inter-national de Montpellier*. Montpellier: AFRAPS.
- Uhlrich, G., S. Eloi, et D. Bouthier. 2011. « La technologie dans le contexte des STAPS : de la conception d'outils à la conceptualisation... et réciproquement ». *eJRIEPS. Ejournal de la recherche sur l'intervention en éducation physique et sport* (23).
- Vázquez-Guerrero, J., B. Jones, B. Fernández-Valdés, G. Moras, X. Reche, et J. Sampaio. 2019. « Physical demands of elite basketball during an official U18 international tournament ». *Journal of Sports Sciences* 37(22):2530-37.
- Vera-Garcia, F. J., J. M. Moreside, et S. M. McGill. 2010. « MVC techniques to normalize trunk muscle EMG in healthy women ». *Journal of Electromyography & Kinesiology* 20(1):10-16.
- Vial, P., D. Roche, et C. Fradet. 1988. *Le Judo - Évolution de la compétition*. Paris: Vigot.
- Vigarello, G. 1988. *Une histoire culturelle du sport: techniques d'hier ... et d'aujourd'hui*. Paris: Revue E.P.S. : Robert Laffont.
- Vigarello, G. 1991. « Pour une technologie culturelle dans le champ des pratiques sportives ». P. 146-51 in. Actes du colloque de La Sorbonne.
- Vigarello, G. 1992. « La technique sportive : reflets changeants ». in *Claude Genzling, Le Corps surnaturé. Les sports entre science et conscience*. Paris: Autrement.

- Wang, X. D. 2021. « Statistical Analysis of the Techniques Used by the Main Opponents of Chinese Judo Athletes in the Tokyo Olympic Games ». *Journal of Capital Institute of Physical Education* 33(1):19-30.
- Weiss, S. 2006. *Tout savoir sur le judo de compétition*. Paris: Chiron.
- Woods, J. J., et B. Bigland-Ritchie. 1983. « Linear and Non-Linear Surface EMG/Force Relationships in Human Muscles. An Anatomical/Functional Argument for the Existence of Both ». *American Journal of Physical Medicine* 62(6):287-99.
- Wundersitz, D. W. T., P. B. Gastin, S. J. Robertson, et K. J. Netto. 2015. « Validity of a Trunk-Mounted Accelerometer to Measure Physical Collisions in Contact Sports ». *International Journal of Sports Physiology & Performance* 10(6):681-86.
- Zanone, P. G., et J. A. Kelso. 1992. « Evolution of Behavioral Attractors with Learning: Nonequilibrium Phase Transitions ». *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance* 18(2):403-21.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : nombre d'occurrences avec le mot clé « judo » dans « SPORTDiscus with Full Text ».....	77
Tableau 2 : nombre d'occurrences par sport dans « SPORTDiscus with Full Text ».....	78
Tableau 3 : curriculum conatif appliqué au judo. Source : Bui-Xuâ 1990 cité par Calmet 2002.	101
Tableau 4 : synthèse des objectifs de recherche et problématiques.	123
Tableau 5 : caractéristiques techniques du « Myo Armband ».	135
Tableau 6 : étapes 4 et 5 du curriculum conatif appliqué au judo. Source : Bui-Xuân 1990 cité par Calmet 2002.	158
Tableau 7 : critères de constitution des groupes	167
Tableau 8 : cahier des charges pour respect de la logique interne	170
Tableau 9 : synthèse de la chronologie d'une séquence de mesure	179
Tableau 10 : caractéristiques des sujets – tableau exhaustif	184
Tableau 11 : caractéristiques des sujets – tableau synthétique.....	185
Tableau 12 : justification des rejets de séquences – tableau exhaustif.....	186
Tableau 13 : justification des rejets de séquences – tableau synthétique.....	186
Tableau 14 : synthèse du nombre de valeurs marquées par séquence	187
Tableau 15 : écarts-types des accélérations verticales des deux pieds de chaque sujet _ tableau exhaustif	195
Tableau 16 : comparaison des écarts-types des accélérations verticales des deux jambes pour chaque groupe par t-student	195
Tableau 17 : coefficients de corrélation des deux jambes des écarts-types des accélérations verticales pour chaque groupe.....	195
Tableau 18 : écarts-types des accélérations verticales pour la moyenne des deux pieds – tableau exhaustif	196
Tableau 19 : comparaison des écarts-types des accélérations verticales moyennées pour chaque groupe par test t-student	196

Tableau 20 : comparaison des pourcentages de temps passés dans chaque tranche d'intensité pour chaque bras par test t-student, et pour les méthodes RMS de redressement-lissage.	205
Tableau 21 : comparaison des pourcentages de temps passés dans chaque tranche d'intensité par t-test t-student et pour les méthodes RMS et redressement-lissage.	206
Tableau 22 : pics d'accélération des jambes fortes et faibles et pics d'accélération angulaire de la ceinture de « tori » par action ayant entraîné une valeur – tableau exhaustif	214
Tableau 23 : comparaison des pics d'accélération jambe « forte » / jambe « faible » par test t-test	214
Tableau 24 : coefficients de corrélation des pics d'accélération jambe « forte » / jambe « faible ».....	215
Tableau 25 : pics d'accélération moyens des jambes et pics d'accélération angulaire de la ceinture de « tori » par action ayant entraîné une valeur – tableau exhaustif	215
Tableau 26 : comparaison des pics d'accélération des jambes et de la ceinture de « tori » par tests t-student.....	216
Tableau 27 : intervalle de temps entre le dernier pic de la phase de placement et l'impact de « uke » au sol. Qualité des premiers et derniers pics de la phase de placement du mouvement. Tableau exhaustif.	216
Tableau 28 : comparaison des temps de placement du mouvement par t-student	217
Tableau 29 : zones corporelles à l'initiative du mouvement de « seoi-nage ».....	217
Tableau 30 : temps de projection par technique ayant entraîné une valeur – tableau exhaustif	218
Tableau 31 : comparaison des temps de projection par test t-student.....	218
Tableau 32 : synthèse de la validation des hypothèses	221
Tableau 33 : profil des enquêtés – données statistiques.....	227
Tableau 34 : p-value par test du Khi-deux en fonction du nombre de réponses positives par question	228
Tableau 35 : statistiques de réponse au questionnaire – section déplacements	230
Tableau 36 : statistiques de réponse au questionnaire – section saisies.....	233
Tableau 37 : statistiques de réponse au questionnaire – section techniques de projection	239
Tableau 38 : taux de progression en % entre étape 4 et étape 5 sur les trois composantes du modèle	242

TABLE DES FIGURES

Figure 1 : dynamomètre manuel. Source : Ache Dias et al. 2012.....	65
Figure 2 : plateforme de force. Source : Blais et al. 2007.....	66
Figure 3 : EMG de surface. Source : Poblador Valles 2016.	67
Figure 4 : préparation d'un judoka pour une séance de recueil de données avec un système optoélectronique. Source : Koshida et al. 2017.....	69
Figure 5 : centrales inertielles. Source : Piucco et al. 2010.	71
Figure 6 : « uchi-komi » avec ergomètre et avec « uke ». Source : Helm et al. 2008.	73
Figure 7 : protocole expérimental de Ischii et al. 2018. Source : Ischi et al. 2018.....	77
Figure 8 : stratégie de construction du « kumi-kata » en fonction du niveau d'expertise. Source : Calmet et al. 2010.....	88
Figure 9 : schéma récapitulatif des invariants mécaniques identifiés par Blais et al. Source : Blais et Trilles 2004.	94
Figure 10 : progression française de judo de 1967. Source : Fédération Française de Judo....	99
Figure 11 : le « Myo Armband ». Source : Thalmic Labs®.	132
Figure 12 : description du « Myo Armband ». Source : Thalmic Labs®.....	134
Figure 13 : interface du logiciel « Myo Diagnostics ». Source : capture d'écran personnelle.	136
Figure 14 : logiciel en ligne « MyoDiagnostics ». Source : Thalmic Labs®.....	137
Figure 15 : interface du logiciel « MyoCapture ». Source : capture d'écran personnelle.....	137
Figure 16 : fichier Excel avec données brutes d'EMG. Source : capture d'écran personnelle.	138
Figure 17 : schéma de placement des électrodes. Sources : image Thalmic Labs® et conception personnelle	139

Figure 18 : fichier Excel, données brutes accélérations (à gauche) et accélérations angulaires (à droite). Source : capture d'écran personnelle.....	140
Figure 19 : fichier Excel, données orientation. Source : capture d'écran personnelle.....	140
Figure 20 : référentiel (x ; y ; z) du brassard. Source : image Thalmic Labs® et conception personnelle.	140
Figure 21 : code C# pour identification des brassards	147
Figure 22 : code C# gel du prélèvement des données EMG sur brassards ceintures et chevilles	147
Figure 23 : code C# synchronisation des horloges	150
Figure 24 : code C# modification du système d'horodatage.....	151
Figure 25 : illustration de saut vertical. Source : photos C. Terret.	152
Figure 26 : graphes des accélérations d'un saut vertical d'un sujet (abscisse en ms ; ordonnée en g). À gauche : données ceinture, norme des composantes (x ; y ; z). À droite : jambe droite, axe (x). Source : images Matlab.....	152
Figure 27 : code C# pour regroupement des fichiers	154
Figure 28 : fichier de données accélération. Source : capture d'écran personnelle.	155
Figure 29 : schématisation de l'outil de prélèvement de données. Source : conceptions personnelles, images libres de droits.....	156
Figure 30 : programme grade ceinture bleue. Source : France Judo.....	159
Figure 31 : à gauche : schématisation ippon-seoi-nage, source : méthode française de judo, FFJDA. A droite : Toshihiko Koga réalisatn ippon-seoi-nage, source : David Finch, JudoPhotos.com.....	162
Figure 32 : kinogramme ippon-seoi-nage. Source : photos et montage personnel.	163
Figure 33 : calcul de puissance, bilatéral, n=10, p-value=5%, efect size=1. Source : capture d'écran G*Power®.....	166

Figure 34 : calcul de puissance, unilatéral, n=10, p-value=5%, effect size=1. Source : capture d'écran G*Power®.....	166
Figure 35 : partie du matériel de l'outil de recueil de données. Source : photo personnelle .	173
Figure 36 : matériel de l'outl de recueil de données. Source : photographie personnel	174
Figure 37 : appareillage de l'avant-bras. Source : photographie personnelles.....	175
Figure 38 : appareillage sujet « tori ». Source : photographie personnelle.....	175
Figure 39 : composantes d'accéléraions selon (x) du pied droit du sujet 1 dans sa séquence de « randori » : données brutes. Abscisses : temps en ms ; Ordonnées : bits. Source : Matlab..	193
Figure 40 : composantes d'accéléraions selon (x) du pied droit du sujet 1 dans sa séquence de « randori » : données séquencées. Abscisses : temps en ms ; Ordonnées : bits. Source : Matlab.	193
Figure 41 : composantes d'accéléraions selon (x) du pied droit du sujet 1 dans sa séquence de « randori » : signal séquencé et lissé. Abscisses : temps en ms ; Ordonnées : bits. Source : Matlab.....	194
Figure 42 : signaux bruts des 8 EMG de l'avant-bras gauche du sujet 22 lors du « randori ». Abscisses : temps en ms ; Ordonnées : bits. Source : Matlab.	200
Figure 43 : signal traité par la méthode RMS de l'EMG de l'avant-bras gauche du sujet 22 lors de 60s de « randori ». Abscisses : temps en ds ; Ordonnées : bits. Source : Matlab.....	202
Figure 44 : signal traité par redressement puis lissage par moyenne glissante de l'EMG de l'avant-bras gauche du sujet 22 lors de 60s de « randori ». Abscisses : temps en ds ; Ordonnées : bits. Source : Matlab.....	203
Figure 45 : kinogramme modélisant le « kuzushi », « tsukuri » et « kake » d'un « seoi-nage ». Source : Blais 2004.	209
Figure 46 : kinogramme modélisant le « turning phase » etle « throxing phase » d'un « seoi-nage ». Source : Ishii et al. 2018.	209
Figure 47 : temps de combat par séquence et typologie des actions ayant entraîné une valeur – tableau exhaustif.....	212

Figure 48 : représentation graphique de l'action n°2 du sujet n°2. Technique « eri-seoi-nage » gauche ayant conduit à un « Ippon ». De gauche à droite et de haut en bas : accélérations jambe gauche, accélérations jambe droite, accélérations angulaires ceinture « tori », accélérations ceinture « uke ». Abscisses : ms ; Ordonnées : m/s ² ou rad/s ² . Source : Matlab.	213
Figure 49 : schématisation du niveau de maîtrise de la technique de déplacement en fonction des étapes conatives	229
Figure 50 : répartition temporelle en pourcentage de la durée de combat des intensités de contraction des avant-bras en fonction de la 1-RM et pour les trois groupes de niveau. Données détaillées en 5.3.5) et issues de la méthode RMS.	232
Figure 51 : schématisation du niveau de maîtrise de la technique de saisie en fonction des étapes conatives.....	233
Figure 52 : schématisation du niveau de maîtrise de la technique de saisie en fonction des étapes conatives et selon les enseignants experts.....	235
Figure 53 : schématisation du niveau de maîtrise de la phase de placement de la technique « seoi-nage » en fonction des étapes conatives.	236
Figure 54 : schématisation du niveau de maîtrise de la phase de projection de la technique « seoi-nage » en fonction des étapes conatives.	238
Figure 55 : synthèse des taux de progression entre étape 4 et étape 5 sur les trois composantes du modèle	243
Figure 56 : représentation volumétrique des 3 axes du curriculum conatif, schématisation du passage de l'étape 4 à l'étape 5. Source : Dieu 2012.	246

Titre : Analyse technologique des conduites motrices du judoka en contexte écologique au regard de niveaux d'expertise. Épistémologie de la mesure, objectivation par actimétrie et EMG, propositions d'intervention.

Résumé :

Le judo est une activité d'opposition duelle dans laquelle l'incertitude provient de l'adversaire et la victoire basée sur une logique de score. Dans une conception sportive de l'activité, les combattants cherchent la fin du duel par le « Ippon ». Les conduites motrices convoquées, notamment l'ensemble des techniques nécessaires au combat s'avèrent complexes, il s'agit de les repérer et les analyser. Lors des phases debout, nous proposons de les modéliser autour d'un triptyque : saisies, déplacements et techniques de projection. L'analyse technologique de l'activité suppose la prise en compte de l'ensemble de ces paramètres. Or, la littérature actuelle s'appuyant sur des mesures en biomécanique cantonne les recherches à des situations de coopération, lesquelles sont éloignées de la logique interne de l'activité. La raison principale provient des limites techniques des appareils de mesure qui ne permettent pas d'effectuer, à ce jour, ces mesures dans le contexte écologique de la situation de combat. Ces mêmes études se limitent également souvent à analyser un unique paramètre de la motricité du judoka. Enfin, la technique entendue comme idéale, en référence à celle du champion, reste la forme prédominante dans les différentes publications. Le cadre artificiel des mesures interroge donc la pertinence de ces dernières et invite le chercheur s'intéressant à l'analyse de l'activité dans son contexte écologique à se questionner. Ainsi, dans un premier temps, cette recherche a pour ambition de collecter des données relatives à la technique debout, appréhendée dans sa complexité, et exécutée en situation écologique. Dans ce but, un outil de mesure innovant exploitant un appareil connecté, le « *Myo Armband* » de Thalmic Labs®, a été spécialement développé. En s'appuyant sur l'électromyographie de surface et l'actimétrie, il permet de mesurer l'activité du judoka en combat dans les trois composantes techniques du modèle. Trente sujets, tous spécialistes de la forme technique « *seoi-nage* », ont été sélectionnés. Ils sont répartis dans trois groupes distincts révélateurs des étapes « *contextuelle* » et « *expertise* » du curriculum conatif ainsi que d'une étape intermédiaire. La première témoigne d'un niveau de maîtrise technique fonctionnelle en contexte d'opposition. Eu égard à la complexité de conception d'un tel outil, une démarche de type « *bottom-up* » est utilisée ; aucune hypothèse motrice n'est envisagée *a priori*. Les données recueillies dans les trois composantes motrices ont pour objectif, par la comparaison des trois groupes, d'analyser la dynamique de progression des habiletés techniques. L'objectif n'est pas d'étudier les processus d'acquisition d'une technique, mais plutôt la dynamique de progression d'une habileté technique déjà acquise vers le stade de l'expertise. Un second objectif est également de valider les connaissances empiriques et professionnelles proposées par les experts grâce à leur objectivation. La finalité, sans pour autant adopter une démarche prescriptive, vise modestement à émettre quelques propositions d'intervention. Au final, l'étude s'inscrit dans une conception Parlebasienne qui ambitionne d'étudier et d'analyser les conduites motrices au prisme d'une pluralité de sciences d'appui. Malgré la difficulté de cette approche eu égard à la pluridisciplinarité qu'elle nécessite, c'est dans cette philosophie que ce travail a été mené. L'approche technologique, la biomécanique, les théories de l'apprentissage ont été mobilisées. Une telle démarche engage préalablement une analyse fine des contours épistémologique de l'étude ainsi qu'une objectivation des limites méthodologiques.

Mots clés : judo, technologie, écologie, biomécanique, apprentissage, épistémologie

Title : Technological analysis of judoka's motor behavior in an ecological context depending to levels of expertise. Epistemology of measurement, objectivation by actimetry and EMG, educational proposals.

Abstract :

Judo is a dual opposition activity in which the uncertainty arises from the opponent and the victory is based on a scoring logic. From a sporting conception of the activity, fighters seek out the end of the dual with an « *Ippon* ». Motor skills and, in particular, all techniques needed for combat are complex, we need to identify and analyze them. For the standing phases, we propose to model them around a triptych: grips, movements and projection techniques. A technological analysis of the activity assumes that all of those parameters are taken into account. However, the current literature based on biomechanical measurements confines research to cooperation situations far removed from the internal logic of the activity. The main reason comes from technical limits of the devices which, to this day, do not allow measurements in the ecological context of the combat situation. Those studies are also often limited to the analysis of one single parameter of judoka's motor skills. Finally, the technique considered as ideal, as the champion's one, is often the predominant form in various publications. The artificial framework of the measurements puts into question their relevance and leads the researcher interested in the analysis of the activity in its ecological context to question himself. Thus, initially, this research aims to collect data relating to the standing technique, understood in its complexity, and performed in an ecological situation. To do so, an innovative measurement tool using a connected device, the « *Myo Armband* » from Thalmic Labs®, has been especially developed. Based on surface electromyography and actimetry, it measures the activity of the judoka in combat regarding the three technical components of the model. Thirty subjects, all specialists of the « *seoi-nage* » technical form, were selected. They are split into three distinct groups translating the « *contextual* » and « *expertise* » stages of the conative curriculum as well as an intermediate stage. The first testifies to a level of functional technical control in a context of opposition. Considering the complexity of designing such a tool, a « *bottom-up* » type approach is used; no driving hypothesis is considered *a priori*. The aim of the data collected in the three motor components is, by comparing the three groups, to analyze the dynamics of progression of technical skills. The objective is not to study the process of acquiring a technique, but rather the dynamics of the technical skill's progression already acquired towards the stage of expertise. A second objective is also to validate the empirical and professional knowledge offered by the experts thanks to their objectification. The purpose, without adopting a prescriptive approach, modestly aims to make a few proposals for intervention. Ultimately, the study falls within the Parlebasian conception which aims to study and analyze motor behavior through the prism of a plurality of supporting sciences. Despite the difficulty of this approach due to the multidisciplinary required, it is in this philosophy that this work was initiated. The technological approach, biomechanics, learning theories have been mobilized. However, such an approach supposes a detailed analysis of the epistemological scope of the study as well as an objectification of the methodological limits.

Keywords : judo, technology, ecology, biomechanics, learning, epistemology

Unité de recherche

Laboratoire Cultures – Éducation – Sociétés (LACES EA 7437)
Université de Bordeaux - 3, Ter place de la Victoire - 33076 Bordeaux Cedex