

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

LE FAUTEUIL ROULANT DE COURSE : UNE ANALYSE  
EXPLORATOIRE DU GESTE DE L'UTILISATEUR POUR  
DÉGAGER LES CRITÈRES DE CONCEPTION D'UNE  
ROUE INSTRUMENTÉE

MÉMOIRE  
PRÉSENTÉ  
COMME EXIGENCE PARTIELLE  
DE LA MAÎTRISE EN BIOLOGIE

PAR  
JEAN-LUC-FAUVEL

JANVIER 2018

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL  
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.07-2011). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»



*« Ce n'est pas parce que je suis  
un vieux pommier que je donne de vieilles pommes. »*  
- Félix Leclerc (1914-1988).



## REMERCIEMENTS

Après plus de 100 dossiers, 2014 fichiers électroniques et 569 fichiers de collectes (je ne les compte plus), mes sincères remerciements s'adressent à Félix Chénier et Steve Vezeau qui ont encadré ces travaux avec une générosité et un professionnalisme exemplaires.

Merci à toute l'équipe du sport adapté du Club d'athlétisme St-Laurent Sélect de Montréal, entraîneurs et athlètes, et aux membres du club d'athlétisme de Sherbrooke, entraîneur et personnel spécialisé, ces ambassadeurs du sport en fauteuil roulant de course sans qui c'eut été impossible d'entreprendre cette étude.

Geneviève Clermont, Julien Malbequi et Charles-Antoine Russell, étudiants stagiaires au baccalauréat en kinésiologie de l'UQÀM, Youssef El Khamlichi, Philippe Gourdou et Daniel Marineau, respectivement ingénieurs et technicien en électronique au pavillon Gingras-Lindsay du Centre intégré universitaire de santé et de services sociaux (CIUSSS) du Centre-Sud-de-l'Île-de-Montréal, merci pour avoir mis l'épaule à la roue lors des collectes en laboratoire.

Merci également à Jean-Jacques Rondeau, professionnel de la documentation à la bibliothèque des sciences de l'UQÀM et aux chercheurs du laboratoire de pathokinésiologie du Centre de recherche interdisciplinaire en réadaptation du Montréal métropolitain (CRIR) pour le partage de leur expérience.

Dominique, mes proches, et sans le savoir peut-être, des collègues de travail, Jean-François Allie, Véronique Paradis et Sylvain Poirier, auront influencé positivement ma décision d'entreprendre une maîtrise en ergonomie.

Finalement, j'exprime ma gratitude au comité patronal de négociation des collègues et au Cégep régional de Lanaudière à Terrebonne pour le généreux soutien financier qui nous a permis de concrétiser cette étude avec minutie.

## AVANT-PROPOS

Le désir de travailler dans l'univers des aides aux personnes a motivé le choix de cette recherche. Les connaissances et habiletés développées serviront, nous le souhaitons, à élargir les apports de l'ergonomie et de la biomécanique à la santé des personnes qui pratiquent la course en fauteuil roulant durant leurs activités sportives et la vie quotidienne.

Analyser l'activité pour écouter et être à proximité des utilisateurs permet d'entrer en relation avec les gens pour mieux se connaître à travers la découverte de l'autre. C'est un des buts partagés avec celui de faire du design utile et concret.

Comme nous le verrons dans le cadre théorique, l'approche ergonomique qui sera appliquée dans cette étude est centrée sur l'utilisateur. Elle partage le souci de le considérer tout comme le design industriel, une spécialité qui couvre un très large spectre de domaines d'expertises et d'applications. Une des manifestations modernes de ce dernier est le *Design Thinking* qui imprègne l'ensemble des activités d'innovation avec une philosophie centrée sur l'humain (Brown, 2008).

Étant designer et enseignant en techniques de design industriel au cégep régional de Lanaudière à Terrebonne, il m'est familier d'attaquer un projet multidisciplinaire. Cette étude non financée est concomitante aux travaux du professeur Félix Chénier et elle permettra d'alimenter ses travaux qui traitent de la biomécanique de la propulsion en fauteuil roulant de course (Figure 0-1). Nous sommes confiants que l'analyse fine du geste de se propulser en fauteuil roulant de course rejoindra ses intérêts de recherche qui sont : l'analyse biomécanique et l'entraînement à la propulsion d'un fauteuil roulant manuel (conventionnel et de course); la validité écologique de l'analyse biomécanique en laboratoire; le *biofeedback* et les nouvelles technologies en biomécanique.

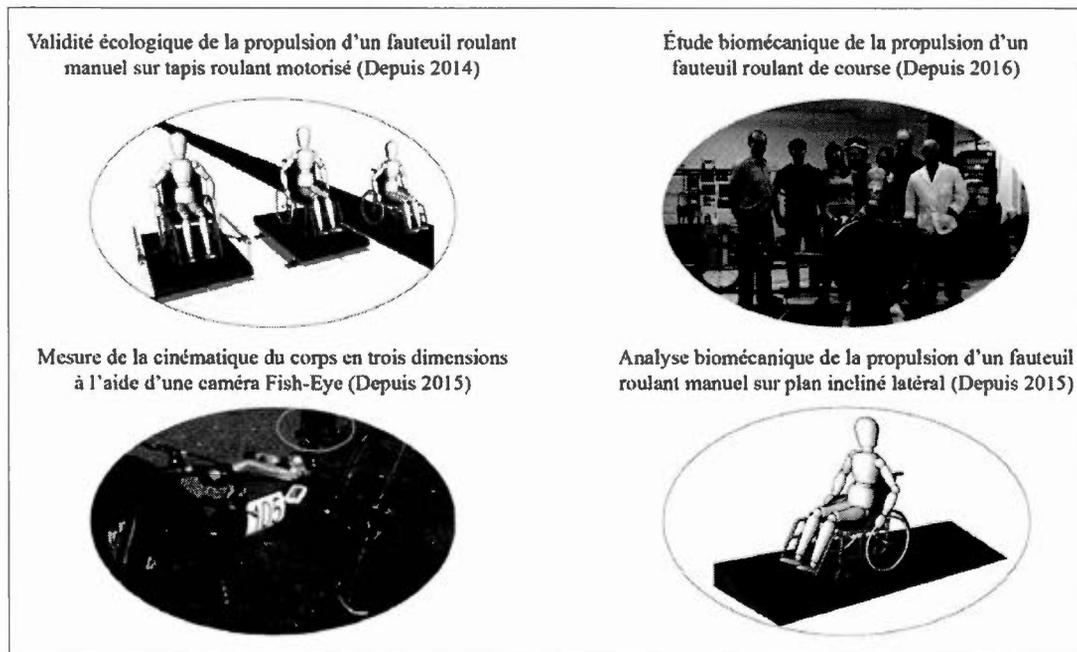


Figure 0-1 : Travaux de M. F. Chénier.

## TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS.....	V
AVANT-PROPOS.....	VII
TABLE DES MATIÈRES.....	IX
LISTE DES FIGURES.....	XV
LISTE DES TABLEAUX.....	XIX
LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES.....	XXI
RÉSUMÉ.....	XXIII
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE 1 PROBLÉMATIQUE.....	3
1.1. Introduction.....	3
1.2. Les facteurs sociaux des personnes ayant une incapacité liée à la mobilité.....	4
1.3. Risques associés à la pratique du sport en FRC.....	5
1.4. Les utilisateurs.....	6
1.5. Les intervenants.....	7
1.6. La RI comme outil de recherche pour la propulsion en FRC.....	8
CHAPITRE 2 BILAN DES CONNAISSANCES.....	11
2.1. Introduction.....	11
2.2. Le fauteuil roulant : un bref historique.....	11
2.3. Le sport en fauteuil roulant et son essor.....	12
2.4. Les entraîneurs.....	16
2.5. Les fauteuils roulants de course et leurs particularités.....	16
2.5.1. Caractéristiques générales.....	16
2.5.2. La main courante (MC).....	18
2.5.3. L'assise.....	19
2.5.4. Les roues arrière et avant.....	21

2.6. Les gants.....	23
2.7. Le matériel d'entraînement .....	24
2.8. Classification et exigences internationales de la course en FRC .....	25
2.9. Les utilisateurs, leur anthropométrie et certains types d'atteintes : les impacts sur le geste et le positionnement.....	26
2.10. L'interaction utilisateur/fauteuil roulant.....	28
2.11. Les différentes techniques de poussée .....	30
2.12. La biomécanique collaborant à l'ergonomie.....	36
2.13. Les sollicitations musculaires et articulaires.....	36
2.14. La roue de fauteuil roulant instrumentée (RI).....	39
2.15. Conclusion du bilan des connaissances .....	42
CHAPITRE 3 CADRE THÉORIQUE DE L'ÉTUDE .....	43
3.1. Contexte de l'étude.....	43
3.2. Les déterminants : pour mieux comprendre l'activité.....	45
3.3. L'apport de la biomécanique pour compléter l'analyse de l'activité .....	48
3.4. Conclusion du cadre théorique de l'étude .....	49
CHAPITRE 4 OBJECTIFS DE LA RECHERCHE .....	51
4.1. Identifier les principaux déterminants de l'activité qui modulent la variabilité des gestes en FRC.....	51
4.1.1. Caractériser les rôles et besoins des intervenants pour accompagner les athlètes.....	52
4.1.2. Caractériser le contexte et l'environnement physique de la course.....	51
4.1.3. Caractériser les fauteuils de course et les équipements .....	52
4.1.4. Caractériser la variabilité des athlètes .....	52
4.2. Investiguer le geste et caractériser les efforts de l'athlète/utilisateur de FRC ....	53
4.2.1. Documenter et analyser la variabilité des modes opératoires déployés .....	53
4.3. Déterminer des repères de conception d'une roue de FRC instrumentée .....	54
4.3.1. Évaluer l'efficacité du design et la convivialité de la SmartWheel.....	54
4.3.2. Élaborer des repères de conception d'une roue instrumentée pour FRC.....	54

4.4. Formuler des recommandations pour le milieu sportif en FRC et celui de la recherche.....	54
CHAPITRE 5 MÉTHODOLOGIE.....	57
5.1. Analyse ergonomique de l'activité en situations effectives de compétition et d'entraînement .....	57
5.1.1. Observations préliminaires en situation de compétitions.....	60
5.1.2. Entretiens dirigés avec les entraîneurs et intervenants.....	61
5.1.3. Analyse systématique de l'activité des athlètes en FRC lors de situations effectives d'entraînements (à l'extérieur et en salle sur rouleaux).....	63
5.2. Analyse biomécanique du geste de se propulser en laboratoire .....	71
5.2.1. Relevés anthropométriques de l'athlète et relevés dimensionnels des FRC en laboratoire .....	71
5.2.2. Essai à 66% de la vitesse maximale de l'athlète .....	73
5.2.3. Essai à effort maximal.....	78
5.3. L'analyse critique de la SmartWheel.....	78
CHAPITRE 6 LES RÉSULTATS .....	81
6.1. Introduction.....	81
6.2. Athlètes et intervenants : motivation, formation, rôles et besoins.....	87
6.2.1. La motivation des athlètes.....	87
6.2.2. Les entraîneurs, leurs rôles et leurs besoins, et la formation des athlètes.....	88
6.2.3. Le médecin sportif : son rôle et ses besoins .....	90
6.3. L'environnement et ses influences sur l'athlète et son FRC.....	91
6.3.1. La nature des pistes et des parcours .....	92
6.3.2. Les caractéristiques des rouleaux d'entraînement et l'activité.....	93
6.3.3. L'influence des facteurs météorologiques pour l'athlète .....	94
6.3.4. L'influence des facteurs environnementaux pour le FRC.....	94
6.4. Des techniques et des gestes variables.....	95
6.4.1. La prise d'informations visuelles comme déterminant de la posture, de la performance du geste et de la prévention des blessures .....	95

6.4.2. Les conséquences d'une extension marquée du cou.....	97
6.4.3. Asymétrie dans le plan frontal.....	97
6.4.4. La flexibilité du tronc, du dos et la taille des bras affectent le positionnement et l'atteinte de la MC.....	98
6.4.5. Balancer le tronc pour gagner en performance?.....	101
6.4.6. L'apport des muscles de l'épaule au transfert de force à la MC .....	101
6.4.7. L'angle articulaire du poignet lors de la phase d'impact.....	103
6.4.8. Une propulsion asynchrone .....	104
6.4.9. La position des doigts à l'impact .....	105
6.4.10. Deux variantes de techniques de poussée observées .....	108
6.4.11. Enchaînement entre les phases de poussée (3) et de relâchement (5) : un geste qui se démarque.....	111
6.4.12. L'angle des segments supérieur à la phase de récupération .....	112
6.4.13. Comparaisons entre les patrons du cycle de poussée : synthèse d'une grande variabilité .....	114
6.4.14. La force propulsive appliquée à la MC déterminée par la jauge de force et exprimée par des déformations de la roue arrière.....	116
6.4.15. Le temps comme indicateur de performance et l'accélération comme indice de performance.....	119
6.4.16. Poussées de départ et vitesse atteinte.....	122
6.4.17. Cadence des poussées et vitesse atteinte.....	123
6.4.18. Courbes d'énergie .....	125
6.4.19. Conclusion sur la variabilité des gestes et techniques .....	127
6.5. Les caractéristiques des équipements et leur influence sur l'activité.....	127
6.5.1. Les caractéristiques des FRC et l'activité.....	128
6.5.2. Les caractéristiques des gants et l'activité.....	139
6.5.3. Conclusion sur les caractéristiques des équipements et leur influence sur l'activité .....	140
6.6. La SmartWheel : témoignage d'une utilisatrice doctorante .....	141
6.6.1. Avantages reconnus .....	141
6.6.2. Difficultés rencontrées.....	142

6.7. Conclusion des résultats.....	144
CHAPITRE 7 DISCUSSION .....	145
7.1. Introduction.....	145
7.2. Apports de l'étude.....	145
7.2.1. Les principaux déterminants qui influencent l'activité de l'athlète .....	146
7.2.2. La motivation des athlètes.....	148
7.2.3. Les intervenants sont mal outillés .....	149
7.2.4. Des techniques de poussée qui diffèrent?.....	149
7.2.5. Le diamètre de la MC et son impact sur la cadence, l'angle de poussée et la force appliquée.....	151
7.2.6. La méthode de calcul de la capacité des capteurs de force d'une RI .....	154
7.2.7. Une interface athlète/FRC singulière .....	156
7.2.8. La résistance au roulement .....	157
7.2.9. L'aérodynamisme.....	157
7.2.10. Le type de gants pour atteindre de meilleures performances .....	159
7.2.11. Repères de conception pour une RI en meilleure adéquation avec l'activité de se propulser en FRC .....	160
7.3. Limites de l'étude .....	162
7.4. Dilemme de l'ergonome par rapport à la performance athlétique .....	163
7.5. Recommandations.....	164
7.5.1. Recommandations pratiques pour les athlètes, intervenants et membres du milieu sportif.....	164
7.5.2. Recommandations et perspectives pour la recherche.....	165
CONCLUSION.....	167
ANNEXE A CLASSES D'ATHLÈTES DE FRC.....	169
ANNEXE B DÉFINIR L'ERGONOMIE.....	171
ANNEXE C PLANS D'ENTREVUES .....	173
ANNEXE D FEUILLE DE COLLECTE EN LABORATOIRE .....	185
ANNEXE E REPÈRES DE CONCEPTION REGROUPÉS .....	211
ANNEXE F LA POSITION GÉNÉRALE DE L'ASSISE.....	213

APPENDICE A	GESTION DE LA CONFIDENTIALITÉ .....	219
APPENDICE B	FORMULAIRES DE CONSENTEMENT .....	221
APPENDICE C	EXEMPLE DE GRILLE D'OBSERVATION.....	239
APPENDICE D	DÉFICIENCES RECONNUES PAR L'IPC .....	243
APPENDICE E	LES COMPÉTIONS PARALYMPIQUES SELON L'IPC .....	247
RÉFÉRENCES.....		249

## LISTE DES FIGURES

Figure 0-1 : Travaux de M. F. Chénier. ....	viii
Figure 0-2 : Fauteuil roulant de course en action aux Jeux Paralympiques (2016) .....	1
Figure 1-1 : Génération des FRC en 1980 .....	7
Figure 1-2 : Quatre roues instrumentées .....	9
Figure 2-1 : La naissance et l'évolution des FR.....	12
Figure 2-2 : Six sports différents pratiqués en FR adapté.....	14
Figure 2-3 : FRC contemporain avec une cage U pour « kneelers ». ....	17
Figure 2-4 : Description des parties d'un FRC. ....	19
Figure 2-5 : Différents types de châssis de FRC de série. ....	20
Figure 2-6 : Les deux positions classiques de l'athlète dans le FRC.....	21
Figure 2-7 : Différents types de roues de FRC .....	22
Figure 2-8 : Schématisation de l'alignement des roues arrière.....	22
Figure 2-9 : Système de compensation de la trajectoire pour piste.....	23
Figure 2-10 : Quatre différents types de gants pour la poussée. ....	24
Figure 2-11 : Rouleaux d'entraînement pour FRC .....	25
Figure 2-12 : Le carrossage des roues arrière d'un FRC et le dégagement des bras. ....	29
Figure 2-13 : Technique de poussée T51 selon Goosey-Tolfrey .....	31
Figure 2-14 : Un type de référence pour imager les angles de poussée en FR. ....	32
Figure 2-15 : Technique de poussée para-backhand (PBT) selon Chow et Goosey Tolfrey .....	33
Figure 2-16 : Les phases de propulsion en FRC selon Higgs .....	34
Figure 2-17 : Périodes et phases du cycle de poussée, dans le plan sagittal, selon Masson (2015).....	34
Figure 2-18 : Deux techniques de poussée comparées.....	35
Figure 2-19 : Axes d'application de la force sur la main courante SmartWheel .....	38

Figure 2-20 : Schématisation théorique du vecteur de la force tangentielle de l'athlète junior australien Brad Pemberton.....	38
Figure 3-1 : Les déterminants (conditions) qui modulent l'activité des athlètes en FRC .....	47
Figure 3-2 : Facteurs déterminants l'activité de se propulser en FRC selon Mason (2013).....	48
Figure 5-1 : Plan du positionnement des caméras au centre d'entraînement .....	67
Figure 5-2 : Outil de calibrage du pincement des roues.....	68
Figure 5-3 : Athlète et FRC instrumenté sur rouleau en laboratoire (g), capteur de force à l'arrière du FRC (dr).....	74
Figure 5-4 : Aménagement du laboratoire Pathokin pour la collecte des données .....	75
Figure 5-5 : Partie de l'interface du logiciel Kinovea – exemple de calcul de la vitesse moyenne et de l'amplitude articulaire .....	76
Figure 5-6 : exemple d'interface du logiciel Mokka – visualisation 3D des marqueurs et graphiques associée selon trois axes .....	77
Figure 6-1 : extension prononcée et contraignante du cou de l'athlète #100.....	97
Figure 6-2 : asymétrie gauche/droite dans le plan frontal. ....	98
Figure 6-3 : Angle articulaire du coude à la phase de relâchement.....	99
Figure 6-4 : Variabilité de postures influencée par la souplesse, la flexion du bassin, du dos et la taille des bras .....	100
Figure 6-5 : fermeture de l'épaule entre les phases de propulsion 1 et 3 .....	102
Figure 6-6: Variabilité de l'angle formé par le poignet et l'avant-bras à la phase d'impact.....	104
Figure 6-7: propulsion non synchronisée dans les plans frontaux (vues postérieures) .....	105
Figure 6-8 : position #1 de la main au contact de la MC à la phase d'impact (2).....	106
Figure 6-9 : position #2 de la main au contact de la MC à la phase d'impact (2).....	107
Figure 6-10 : position #3 de la main au contact de la MC à la phase d'impact (2).....	107
Figure 6-11 : séquence illustrant nettement les doigts de la main qui « entrent » à l'intérieur de la MC.....	109
Figure 6-12 : traces sur les gants minimalistes de deux athlètes utilisant une technique de poussée où les doigts entrent à l'intérieur de la MC.....	109
Figure 6-13 : technique avec les mains en surface de la MC .....	110

Figure 6-14 : flexion suivie d'une pronation du poignet à la phase de relâchement (#5) .....	112
Figure 6-15 : variété d'hauteurs maximales des bras et des mains lors de la phase d'attaque.....	114
Figure 6-16 : schématisations filaires 3D formées par les capteurs actifs (vue de face) lors de l'essai effort maximal, période « plateau » d'une course sprint simulée, 15 s. après le départ.....	115
Figure 6-17 : déformation des roues arrière durant la phase de poussée .....	118
Figure 6-18 : Positions des pouces adoptées avant la première poussée du départ g : roue étoilée, pouces appuyés sur une étoile (départ à la finale du 100 m, Jeux de Rio 2016, Brent Lakatos T53);.....	129
Figure 6-19 : Recouvrements de la MC .....	137
Figure 6-20 : Taches sur les bras démontrant un contact répété avec la MC.....	138
Figure 6-21 : La SmartWheel utilisée par la doctorante interviewée.....	142
Figure 7-1 : Les déterminants qui se sont avérés majeurs (magenta) dans l'activité de se propulser en FRC .....	147
Figure 7-2 : Référence utilisée par Moss pour représenter les données d'angles au contact et au relâchement. ....	153
Figure 7-3 : La RI en développement qui est non disponible sur le marché, la Racing SmartWheel.....	156
Figure 7-4 : Trois positions du tronc étudiées pour connaître la surface frontale offerte à l'air en FRC, relevée (g), fléchie (c), en torsion (dr). Crédits Hedrick B. (1990) .....	158
Figure 0-3 : Une illustration de certaines interactions de l'ergonomie avec d'autres disciplines selon Vézina (2003). ....	172
Figure 0-4 : entrée dans le FRC avec l'aide d'une table .....	215
Figure 0-5 : châssis de FRC modifiés .....	217



## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2-1 : Les principaux muscles sollicités durant le cycle de poussée d'un FRC .....	37
Tableau 5-1 : Situations d'activités observées pour l'étude ergonomique, sur le terrain et en laboratoire. ....	58
Tableau 5-2 : Description des athlètes participant à la recherche .....	63
Tableau 5-3 : Variables anthropométriques et dimensionnelles relevées en laboratoire .....	72
Tableau 5-4 : Paramètres traités à l'aide du logiciel Kinovea pour l'essai maximal .....	76
Tableau 6-1 : Synthèse des résultats qui expriment la grande variabilité des modes opératoires .....	83
Tableau 6-2 : Performances exprimées en vitesses par les athlètes selon différentes conditions .....	93
Tableau 6-3 : Angles approximatifs des segments supérieurs au sommet de la phase de récupération. ....	113
Tableau 6-4 : Classement des certaines observations que démontrent les représentations filaires 3D de la figure 6-16. ....	116
Tableau 6-5 : Force propulsive des deux roues arrière et force tangentielle maximale à la MC générées par les athlètes (athlète #100 absent des collectes en laboratoire) .....	117
Tableau 6-6 : Progression de la vitesse atteinte sur rouleau lors de l'essai effort maximal par plage de deux secondes. ....	120
Tableau 6-7 : Profil de la vitesse selon les plages d'accélération, de maintien à plus de 98%, et de décélération lors de l'essai effort maximal. ....	120
Tableau 6-8 : Vitesse selon les six premières poussées de l'essai « propulsion en effort maximal » .....	123
Tableau 6-9 : Cadence moyenne selon des plages de temps pendant l'essai « propulsion en effort maximal » .....	124
Tableau 6-10 : cadences et vitesses maximales pendant l'essai « propulsion en effort maximal » .....	124

Tableau 6-11 : Estimation de l'énergie transférée (joules) à chaque poussée lors de l'essai maximal d'un athlète élite (#112). .....	126
Tableau 6-12 : Estimation de l'énergie transférée et consommée (joules) à chaque poussée lors de l'essai maximal d'un athlète "récréatif" (#101). .....	126
Tableau 6-13 : Paramètres des roues arrière et de la MC des FRC relevés.....	130
Tableau 6-14 : Diamètre des roues arrière avec et sans pneumatique et hauteur des pneus.....	131
Tableau 6-15 : Variation de la pression des pneus arrière des FRC relevés selon différentes conditions. ....	134
Tableau 6-16 : Relevés dimensionnels des FRC des athlètes participants.....	135
Tableau 7-1 : Comparaison des observations terrains et de la littérature en termes de description et d'appellation des techniques de poussée.....	150
Tableau 7-2 : Données sur le temps et les angles des six premières poussées d'un départ de type "sprint". .....	152
Tableau 7-3: Les caractéristiques qui influencent la résistance au roulement d'un FRC.....	157
Tableau 7-4 : Surfaces sectionnelles dans le plan frontal selon trois positions du tronc en FRC d'après Hedrick (1990) .....	158

## LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

AQSFR	Association québécoise des sports en fauteuil roulant
BPT	<i>Para-backhand technique</i> – technique de poussée
CIP	Comité international paralympique
CVT	<i>Conventionnal technique</i> – technique de poussée conventionnelle
DHT	Diamètre hors-tout de la main courante (MC)
EMG	Électromyographie
FLHQ	Fédération des loisirs pour handicapés du Québec
FME	Force mécanique effective ( <i>MEF, mechanical effective force</i> )
FR	Fauteuil roulant
FRC	Fauteuil roulant de course
FSI	Fédération sportive internationale
GD	Gants durs thermoformés
GM	Gants rembourrés en cuir
HR	Haute résolution (caméra)
HV	Haute vitesse (caméra)
IEA	<i>International Ergonomics Association</i> , Ass. Internationale de l'ergonomie
IPC	<i>International paralympic committee</i>
IRGLM	Le pavillon Gingras-Lindsay, Centre intégré universitaire de santé et de services sociaux (CIUSSS) du Centre-Sud-de-l'Île-de-Montréal.
MC	Main courante (roue de poussée, <i>pushrim, hand rim</i> )
OPHQ	Office des personnes handicapées du Québec
PBT	<i>Parabackhand technique</i>
RI	Roue instrumentée (l'ensemble de la roue : essieu, roulement, pneumatique, main courante, capteurs, électronique)
STC	Syndrome du tunnel carpien
SW	SmartWheel
TMS	Trouble musculosquelettique



## RÉSUMÉ

Les personnes avec une incapacité liée à la mobilité sont à risque de développer des affections associées à la sédentarité. L'athlétisme adapté (course en fauteuil roulant) est bénéfique pour contrer l'inactivité, mais la nature répétitive du geste pourrait se traduire par une charge articulaire importante à l'épaule. Il existe à ce jour peu de connaissances vérifiées sur la technique de propulsion à adopter pour maximiser la performance tout en réduisant la charge articulaire. Les objectifs de cette étude sont d'identifier les déterminants de l'activité qui modulent la variabilité des gestes en fauteuil roulant de course (FRC), investiguer le geste et caractériser les efforts de l'athlète/utilisateur, déterminer des repères de conception d'une roue instrumentée (RI) de FRC et formuler des recommandations pour ce milieu sportif et celui de la recherche. L'approche préconisée se base à la fois sur des données qualitatives et quantitatives issues d'une analyse ergonomique de l'activité en situations effectives de compétition et d'entraînement et d'une analyse biomécanique en laboratoire. Sept athlètes et quatre intervenants ont été observés et interviewés et plus de 300 captations vidéo ont été prises avec une caméra compacte grand-angle à haute résolution et haute fréquence d'image. Les résultats montrent que : 1) les influences qu'exercent la motivation personnelle, les rôles et les besoins des athlètes et des intervenants sur les modes opératoires sont bien réels; 2) l'environnement a un net impact sur les performances et la santé de l'athlète; 3) les modes opératoires observés sont très variables et les entrevues d'autoconfrontation révèlent que pour la majorité des athlètes interviewés, la technique de poussée observée était différente de la représentation qu'ils en avaient; 4) la personnalisation et l'entretien mécanique du FRC sont primordiaux pour éviter des blessures et favoriser la performance; 5) d'autres facteurs en lien avec les équipements y contribuent comme les conditions météorologiques, les gants, la main courante et les roues arrière; 6) la SmartWheel (RI de FR conventionnel) possède des avantages et des éléments perfectibles pouvant guider les paramètres de conception d'une éventuelle RI de FRC. Des recommandations de deux ordres s'adressant aux athlètes, aux intervenants et à la communauté scientifique ont permis de fournir des méthodes, techniques, outils d'investigation du geste et informations pour formaliser et structurer la formation, des repères de conception pour le développement d'une RI en juste adéquation avec l'activité et des perspectives de futures recherches.

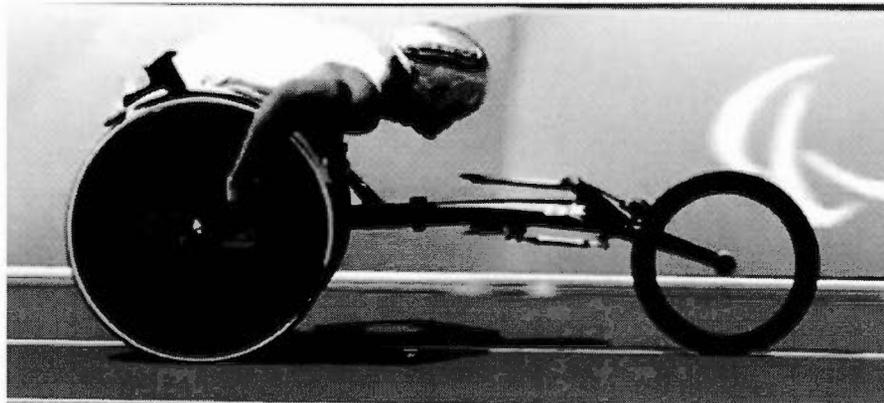
**MOTS-CLÉS :** athlétisme; biomécanique; ergonomie; fauteuil roulant de course; paralympique; para-athlétisme; propulsion; roue instrumentée; technique de poussée; utilisateur.



## INTRODUCTION

L'athlétisme pratiqué en fauteuil roulant de course (FRC) est une discipline officiellement représentée aux Jeux paralympiques depuis 1960 (Vanlandewijck et al., 2016). Le Québec compte trois clubs d'entraînement de FRC et plus d'une vingtaine d'athlètes en sont membres. Comme l'illustre la Figure 0-2, la propulsion s'effectue à l'aide de poussées rythmées transmises par les mains à un cerceau fixé aux roues arrière du FRC nommé main courante (MC). Les utilisateurs de FRC recourent à ce mouvement répétitif qui est facteur de risque pour le développement de blessures aux membres supérieurs (Paralyzed Veterans of America Consortium for Spinal Cord Medicine 2005).

*Figure 0-2 : Fauteuil roulant de course en action aux Jeux Paralympiques (2016)*



La prévalence des blessures et le souci de promouvoir la santé chez les personnes ayant des atteintes limitant la mobilité suscitent l'intérêt de plusieurs chercheurs dans plusieurs pays (Ackery *et al.*, 2004 ; Churton et Keogh, 2013). Les travaux portant spécifiquement sur le FRC sont toutefois moins répandus, bien que la croissante participation aux sports adaptés ait généré des innovations constantes entre autres dans le domaine des technologies d'aide à la recherche.

Cette étude exploratoire en ergonomie et biomécanique a pour but de mieux comprendre les déterminants qui modulent le geste de propulsion en FRC et de dégager des critères de conception d'une roue instrumentée (RI), un des outils mis à la disposition de la communauté scientifique et sportive pour évaluer et investiguer la performance des athlètes. Le premier chapitre expose la problématique soutenant l'étude exploratoire. Le chapitre 2 regroupe une revue de littérature résumant les connaissances actuelles en traçant : un bref historique de la discipline; les caractéristiques des équipements et des technologies; l'environnement des utilisateurs et des intervenants; l'aspect social du sport; certains types d'atteintes et leur impact sur les techniques de poussée; les différentes techniques de poussée; les sollicitations musculaires et articulaires; l'importance du positionnement de l'athlète dans le fauteuil et les roues instrumentées pour fauteuils roulant (FR). Le chapitre 3 présente le contexte de l'étude et le cadre théorique qui dépeignent l'approche ergonomique, approche appuyée par la biomécanique. Les objectifs de la recherche, l'investigation du geste de l'athlète/utilisateur et la détermination des critères de conception d'une RI sont présentés au quatrième chapitre. La méthodologie retenue est précisée au chapitre 5. Le sixième chapitre brosse le portrait des résultats obtenus, et les discussions du septième chapitre offre une synthèse des repères de conception souhaités pour une éventuelle RI adaptée aux FRC.

## CHAPITRE 1

### PROBLÉMATIQUE

#### 1.1. Introduction

Plusieurs sports sont pratiqués avec des FR spécialisés comme le basketball, le rugby, le tennis, etc., pour ne nommer que ceux-là, mais cette étude exploratoire se concentrera sur le domaine athlétique de la course en fauteuil roulant, une discipline de haut niveau qui exige de ses participants la même rigueur d'entraînement que les athlètes de compétition de piste dits *debouts (abled body)*. Son mouvement est cyclique et constant, donc plus facile à mesurer et à interpréter que le mouvement plus irrégulier et variable des autres sports.

Ce chapitre expose les raisons qui nous poussent à investiguer l'activité avec une approche ergonomique centrée sur l'utilisateur. Les principaux éléments de la problématique concernent : les outils qui s'offrent à la recherche préventive, plus particulièrement la roue instrumentée (RI); les éléments qui modulent le sport; l'apport des intervenants qui gravitent autour des athlètes; et les facteurs sociaux, dont la nécessité d'aider les personnes avec déficiences sensorimotrices et incapacités fonctionnelles à demeurer actives et à mieux s'intégrer dans la communauté.

## 1.2. Les facteurs sociaux des personnes ayant une incapacité liée à la mobilité

La sédentarité qui afflige notre société contemporaine favorise les risques de maladies coronariennes, de diabète de type 2, d'obésité, de certains types de cancer et de dépression. Elle n'épargne pas les personnes avec une mobilité réduite. Les personnes atteintes de lésions à la moelle épinière sont parmi les plus inactives de la société (Grange 2002). Au Québec, 875 000 personnes ont une incapacité liée à la mobilité (OPHQ, 2015) dont 45 000 d'entre elles utilisent un FR non motorisé et 7 000 un FR électrique (OPHQ, 2012). Intensifier la promotion de l'activité physique et une saine hygiène de vie n'est pas réservée aux personnes sans handicap, toutefois, à notre connaissance, seule une vingtaine de Québécois ayant des incapacités fonctionnelles et des déficiences sensorimotrices pratiquent la course en FRC dans des clubs d'athlétisme au Québec.

Une définition du mot handicap s'exprime ainsi : « le résultat d'une rencontre entre une atteinte et un environnement qui peut être plus ou moins adapté à cette atteinte » (Sausse *et al.*, 2014). Une personne en FR vit deux phénomènes : l'isolement physique et l'isolement social (Sausse *et al.* 2014). Le développement des modes de transports en FR peut pallier à ces deux formes d'isolement. Le sport est également un moyen efficace de le contrer.

En accord avec la démonstration de Scherer (Scherer *et al.*, 2005; Schreuer, 2009; Winkler *et al.*, 2008), Cooper (2009) soutient que l'intégration sociale des personnes avec des déficiences sensorimotrices et des incapacités fonctionnelles, comme l'emploi en est un facteur clé, est tributaire des technologies développées. Le but ultime de fournir des aides aux personnes est de favoriser leur participation. Les équipements ont un effet psychologique sur leur qualité de vie et celle de leur entourage. Les aides techniques s'avèrent un élément critique, car ils deviennent le prolongement de leur corps en générant même une représentation cérébrale (Campbell, 2012).

La pratique de la course en fauteuil roulant, en raison de sa fréquence de mouvement élevée et du déploiement d'une grande force de la part des membres supérieurs, pose néanmoins des questions sur les risques de blessures.

### 1.3. Risques associés à la pratique du sport en FRC

Les utilisateurs qui se propulsent au quotidien en FR conventionnel sont à grand risque de développer des troubles musculo-squelettiques (TMS). L'intérêt préventif est appuyé par les nombreux TMS observés comme le syndrome du tunnel carpien (STC) et le *shoulder impingement* (Vanlandewijck, Theisen et Daly 2012), terme qui se traduit par le syndrome d'accrochage de l'épaule qui regroupe plusieurs troubles reliés à cet ensemble articulaire. Des études américaines ont démontré la prévalence de douleurs à l'épaule chez 31 à 73% des personnes atteintes de paraplégie (Boninger et coll., 1996), et de 49 à 71% en ce qui a trait au STC chez tous les utilisateurs confondus (Robertson et al. 1996). Limiter les TMS passe nécessairement par une intervention ergonomique (Aptel *et al.*, 2000).

La propulsion en FR dans un contexte sportif fait naître un paradoxe entre cette activité physique et l'utilisation d'un FRC. Comment exercer un sport sans provoquer des blessures? Pourquoi certaines personnes pratiquant un sport vont-elles développer des TMS tandis que d'autres non?

S'appliquant tant aux personnes avec ou sans déficience sensoromotrice et incapacité fonctionnelle, la prémisse qui dicte que l'exercice favorise la bonne forme physique devrait en principe prévenir les blessures, mais le caractère répétitif et la charge articulaire élevée de la performance sportive en FRC augmentent ce risque chez les utilisateurs.

#### 1.4. Les utilisateurs

Le point de vue de l'utilisateur est trop rarement pris en compte alors qu'une approche biomécanique seule est souvent préconisée. Une approche combinée réunissant l'ergonomie et la biomécanique semble donc la plus pertinente pour répondre aux questions suivantes : qui sont les utilisateurs, leurs équipements, leurs besoins? Quels sont les facteurs environnementaux dans lesquels se déroule le sport et quels sont leurs impacts sur le geste et le déplacement du FRC? Qu'est-ce qui module le sport, la performance et le but à atteindre en FRC? Quels moyens et quels modes opératoires utilisent-ils pour se propulser et dans quelle mesure les équipements comme le port de gants peuvent-ils influencer les modes opératoires et les possibilités d'atteindre le but de performance?

Le rapport physique entre l'athlète et son FRC demeure incertain, car peu de données décrivent le positionnement optimal des athlètes sur les FRC contemporains. Masson (2015) a répertorié des études traitant de ce lien de position avec : l'efficacité mécanique et le rythme cardiaque (van der Woude, 1989); les moments angulaires du tronc et le patron d'activation des muscles (Mâsse et al., 1992); et l'influence sur divers paramètres cinématiques et cinétiques de la poussée (Higgs, 1983). Elle conclut qu'il est hasardeux de « statuer sur l'impact d'une position donnée sur les performances des athlètes en se basant sur les écrits. » En plus, toutes ces études portent sur les FRC d'une autre époque avec des paramètres dimensionnels très différents de ceux utilisés aujourd'hui. Ces derniers ont grandement évolué depuis les années 80 (Figure 1-1).



*Figure 1-1 : Génération des FRC en 1980*

*Mel Fitzgerald (g) et Rick Hansen du Canada (Dr), Jeux olympiques de Los Angeles de 1984.*

*\* À noter : le petit diamètre de la main courante (sous les mains), l'angle de carrossage des roues arrière qui est différent entre les deux FRC, et les deux petites roues avant, semblables à celles d'un fauteuil roulant classique.*

*(Crédits photo : PC/AOC)*

L'optimisation de l'interface utilisateur/FRC a permis d'augmenter de manière fulgurante les performances au 800 m (près de la moitié du temps) entre les jeux de Los Angeles (1984) et ceux de Sydney (2000). Un positionnement non appuyé par des données éprouvées pourrait affecter le risque de blessures ainsi que les performances alors que nous considérons qu'il faut quitter l'essai/erreur de la personnalisation de l'interface athlète/FRC. L'analyse ergonomique incluant une investigation auprès des athlètes et des intervenants peut offrir des éléments de compréhension de ces impacts.

### 1.5. Les intervenants

Plusieurs intervenants, comme les entraîneurs, les techniciens et les thérapeutes, sont au cœur même de l'activité des athlètes de FRC. Ils les aident à mieux performer, à réduire le risque de blessure, mais nous ne connaissons que peu de chose sur leur savoir, leur

implication et leur expérience par rapport à cette activité. Sont-ils en mesure d'expliquer la nature, la fréquence et le degré des blessures aux membres supérieurs des athlètes? Voient-ils un lien entre les blessures, les techniques et le type de compétitions pratiquées?

Il nous semble pertinent de générer de nouvelles connaissances qui favoriseront la participation et le développement d'une pratique plus sécuritaire de l'athlétisme en FRC en investiguant ces personnes qui figurent au premier rang de cette activité.

Des instruments leur indiquent la vitesse de l'athlète (odomètre/compteur de vitesse) et des caméras peuvent leur permettre de filmer le geste, mais pour quantifier la force déployée, aucun outil n'est encore sur le marché. Une RI ergonomiquement adaptée comme instrument de mesure conçue spécifiquement pour la course en FRC serait un atout.

#### 1.6. La RI comme outil de recherche pour la propulsion en FRC

Le patron en trois dimensions que génère le mouvement de l'athlète qui se propulse en FRC entraîne une combinaison complexe de mouvements aux articulations des membres supérieurs (main-bras-épaule). Les informations permettant de valider scientifiquement la position adéquate et optimale des athlètes dans le FRC, l'efficacité de la poussée et la prévention des blessures demeurent peu documentées.

L'analyse biomécanique de la propulsion d'un FRC inclut trois composantes : la cinétique, la cinématique et l'activité musculaire. Pour ces dernières, nous disposons d'outils tels des systèmes de capture du mouvement et des systèmes d'électromyographie (EMG). Parmi les instruments dont nous ne disposons pas : une roue arrière de FRC instrumentée de capteurs sur la main courante (MC).

Déjà en 1993, Asato et son équipe soulignent la nécessité d'avoir en main un tel outil pour obtenir des informations sur l'application de la force à la MC et les moments aux articulations qui en résultent. L'outil permet d'optimiser les performances et prévenir les TMS en ciblant les causes des blessures et en approfondissant la compréhension de l'impact que les techniques de poussée ont sur les membres supérieurs des sujets (Asato et al. 1993).

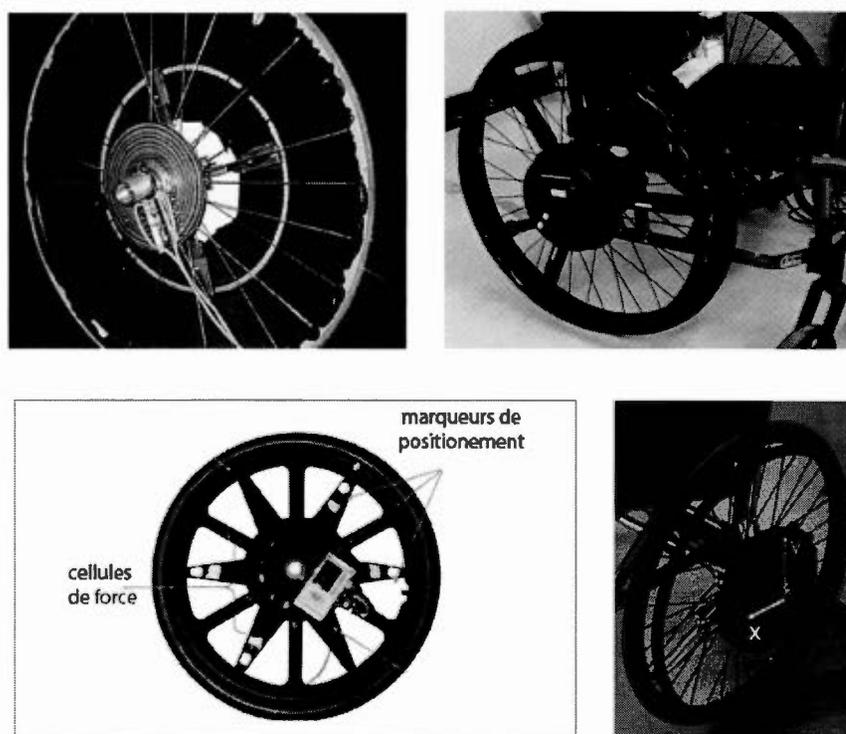


Figure 1-2 : Quatre roues instrumentées

*En haut : les slip-rings de la RI de Goosey avec un jeu de bagues collectrices (2001); la SmartWheel (2014). En bas : la RI de l'équipe de Wu (1998); l'Optipush de MaxMobility (2012).*

Dans le cadre de ses travaux en 2014, Pelland présente des RI développées par des équipes de recherche. L'*Optipush* de *MaxMobility* pour FR conventionnel était commercialisée, mais n'est plus manufacturée. Celle de Wu (Wu *et al.*, 1998) possède une plateforme d'acquisition de données embarquée dans la roue, ce qui élimine les

bruits que les *slip-rings* de la RI de Goosey induisaient dans les signaux (Goosey-Tolfrey et al. 2001), mais elle limite la rétroaction en temps réel et n'est pas commercialisée (Figure 1-2). L'équipe de Limroongreungrat a créé une RI avec une MC de FRC, mais elle aussi munie de *slip-rings* (Limroongreungrat, 2006). La Smartwheel version 2017 est une RI de FR conventionnel avec une grande MC d'environ 600 mm. Son poids est d'environ 4 kg, comparativement à 0,94 à 1,1 kg pour une roue de FRC pleine en carbone et 1,4 kg pour une roue de FR conventionnel, ce qui altère les données en modifiant l'inertie de la roue. Elle oblige les utilisateurs à forcer davantage pour manipuler le FR (Figure 1-2). Résoudre ces problèmes et optimiser les capteurs sont un défi. Se propulser avec une roue pleine ou une roue ouverte est également un questionnement valable (Figure 2-7).

Si l'on souhaite connaître les améliorations pertinentes à apporter au design des FR et de la MC, il est nécessaire d'avoir un outil de mesure qui puisse tenir compte de la réalité des athlètes. Il doit également permettre d'investiguer précisément le geste qui favorise à la fois l'atteinte de performances de haut niveau et des gestes plus sécuritaires sur le plan musculosquelettique.

L'intensité de *travail* se traduit-elle par des risques de blessures différents de la propulsion quotidienne en fauteuil roulant (FR) conventionnel? De quelle manière les incapacités fonctionnelles des athlètes influencent-elles le geste de propulsion? Quel est le degré de variabilité des gestes selon les différents utilisateurs? Quels sont les facteurs qui déterminent cette activité? Comment définir les paramètres et critères de conception d'une RI pour capter des données sur l'application de la force? Ces questions sont sans réponses pour le moment, car les connaissances sont limitées, voire inexistantes. Il nous apparaît essentiel d'analyser finement l'activité des utilisateurs et des intervenants pour y arriver.

## CHAPITRE 2

### BILAN DES CONNAISSANCES

#### 2.1. Introduction

Une importante partie de la littérature traitant des athlètes de sports en fauteuil roulant date d'une vingtaine d'années et la validité écologique est discutable alors que plusieurs collectes ont été effectuées sur ergomètre et parfois avec des sujets sans incapacité fonctionnelle ou déficience sensorimotrice (Churton et Keogh, 2013). Depuis, l'intérêt des chercheurs s'est soit éloigné du sujet, ou bien la relève n'a pas été au rendez-vous. Pour bien situer l'état des connaissances répondant à la problématique soulevée, une brève description du milieu de la course en FR permet entre autres de rendre compte de l'importance du projet de recherche.

#### 2.2. Le fauteuil roulant : un bref historique

Au sens propre du terme, l'origine du FR ne peut remonter plus loin que les époques de l'invention de la chaise et de l'utilisation de la roue. Les historiens reconnaissent que la chaise telle que nous la concevons existait dans les anciennes civilisations égyptiennes, assurément au XIV<sup>e</sup> siècle av. J.-C. comme en fait foi le mobilier restauré du roi Toutankhamon. On ne retrouve cependant des gravures artistiques imageant la roue comme outil de mobilité assemblée à un fauteuil en Chine qu'aux environs du 6<sup>e</sup> siècle av. J.-C. Sur la précision de ces dates, nous demeurons prudents. Au XVII<sup>e</sup> siècle, Stephan Farffler, horloger, inventait un fauteuil propulsé mécaniquement avec les mains. Plusieurs lui attribuent la pérennité du FR moderne (Figure 2-1). L'évolution récente nous montre la multiplication des modèles de FR et leur sophistication

croissante jusqu'aux FR motorisés en fibres de carbone et les FR utilisés dans les compétitions contemporaines (Figure 2-2).



*Figure 2-1 : La naissance et l'évolution des FR*

*(De g à d, 1re rangée) : artiste chinois ayant dépeint Confucius mû dans un fauteuil;  
Farffler et son fauteuil mécanisé; fauteuil américain du 19e siècle.  
(De g à d, 2e rangée) : fauteuil classique de type institutionnel Prima de marque Orthofab;  
dernières innovations : le fauteuil GO; la motorisation adaptable SmartDrive.*

### 2.3. Le sport en fauteuil roulant et son essor

C'est après la seconde guerre mondiale du XXe siècle que le sport en fauteuil s'est développé de manière organisée. Des compétitions de basketball en FR ont eu lieu en 1946 aux É.U. En 1948, des jeux internationaux prennent place, précurseurs des jeux paralympiques, appellation sacrée depuis les jeux de Tokyo (1964). La communauté paralympique reconnaît la fondation de son mouvement à Ludwig Guttman, un

neurochirurgien d'origine allemande qui dirigea un hôpital pour vétérans à Stoke Mandeville en Angleterre. Des compétitions de tir à l'arc eurent lieu à cet endroit en 1948, le jour même de la cérémonie d'ouverture des XIV Jeux Olympiques de Wembley, Angleterre. Guttman considéra le sport comme partie intégrante des soins offerts aux personnes atteintes de paraplégie<sup>1</sup>.

1952 voit naître les premières compétitions internationales de FRC sous la gouverne de l'International Stoke Mandeville Games Federation. L'athlétisme fait partie du programme paralympique depuis les premiers Jeux à Rome, en Italie, en 1960. Au Canada, c'est au Manitoba, en 1947, que la première compétition vue le jour. Au Québec, la pratique du FRC débuta dans les années cinquante. Aujourd'hui, c'est vingt-trois sports d'été et six d'hiver qui sont officiellement reconnus aux jeux paralympiques (voir la liste complète en appendice D). Selon Parasport Québec, tous types de compétitions et niveaux confondus, le basketball, le paracyclisme, l'athlétisme, le *powerchair* soccer et le rugby sont les sports parmi les plus populaires. (Figure 2-2).

---

<sup>1</sup> La paraplégie se définit comme étant « ...une lésion de la moelle épinière au niveau des segments dorso-lombo-sacrés entraînant une atteinte partielle ou complète des fonctions motrices et sensitives des membres inférieurs et du tronc » (Lagand, 2011).



*Figure 2-2 : Six sports différents pratiqués en FR adapté*

*(De g à d) : Le basketball; le paracyclisme sur route; la course en fauteuil roulant (Diane Roy, athlète paralympique québécoise); le powerchair soccer; le rugby et le tennis.*

En 1970 naissait la Fédération des loisirs pour handicapés du Québec (FLHQ). Six ans plus tard (en 1976) est créée une division québécoise de l'Association canadienne des sports en fauteuil roulant (ACSFRR) qui devient le 11 mars 1984, l'Association québécoise des sports en fauteuil roulant (AQSFRR). Le 1er avril 2012, l'AQSFRR change d'appellation et se nomme dorénavant Parasports Québec. Le para-athlétisme regroupe le plus de compétitions aux jeux paralympiques. C'est le comité international paralympique (CIP) qui supervise, organise et coordonne ces activités. Contrairement

aux Jeux olympiques, la classification des athlètes suit des règles d'évaluation particulières en fonction de l'étendue de leurs incapacités ou déficiences, évaluation qui permet de déterminer leur admissibilité aux compétitions d'une part et de les regrouper par catégorie sportive d'autre part. La classification au sein de chaque sport est réglementée par la Fédération sportive internationale (FSI) et doit se conformer aux normes internationales et au code de classification du CIP. Ce processus répond à trois questionnements selon les règles stipulées : (1) L'athlète a-t-il une entrave physique admissible ou éligible pour ce sport? (2) Est-ce que l'entrave physique éligible répond aux critères minimaux de ce sport? (3) Quelle classe sportive décrit le plus exactement les incapacités fonctionnelles ou les déficiences sensorimotrices de l'athlète?

Outre le sexe, à titre d'exemple non exhaustif, on retrouve les classes T51 et T52 pour les personnes atteintes de tétraplégie, T53 et T54 pour les personnes atteintes de paraplégie, T33, T34 et T35 distinguant différentes atteintes de motricité de nature cérébrale (Mitchell, 2016). On doit noter que la pratique du sport n'est pas réservée exclusivement aux personnes ayant une blessure à la moelle épinière. Les personnes amputées d'une jambe souffrant d'ataxie (une différence de longueur des jambes) ou d'hypertonie musculaire<sup>2</sup> sont également éligibles selon le code de classification du comité paralympique international (2015) qui liste précisément dix déficiences reconnues (appendice D). L'évolution ou la stabilité des handicaps est à considérer dans la vie sportive de l'athlète. La classification pourrait alors être revue dans le cas d'une atteinte aggravée.

Les athlètes québécois pratiquant l'athlétisme en FRC sont principalement regroupés dans trois clubs d'entraînement; le Club d'athlétisme de Sherbrooke, le Club St-Laurent Sélect de Montréal et le Rouge et or de la ville de Québec.

---

<sup>2</sup> L'hypertonie indique un tonus musculaire trop élevé.

Parmi les intervenants qui gravitent autour des athlètes, on retrouve les entraîneurs, les thérapeutes et l'ensemble des intervenants agissant sur l'aspect technique des équipements (ingénieurs, techniciens et artisans). Les entraîneurs possèdent pour plusieurs d'entre eux une formation en kinésiologie. Les thérapeutes quant à eux sont ergothérapeutes, physiothérapeutes, kinésiologues ou médecins.

#### 2.4. Les entraîneurs

L'entraîneur pour la course en FRC poursuit les mêmes buts que l'entraîneur d'athlétisme classique, soit encadrer l'athlète pour obtenir les meilleures performances. Il doit cependant adapter ses techniques d'entraînement aux particularités des atteintes des athlètes et aux particularités du sport. L'entraînement vise à développer et à maintenir de la vitesse, de la force musculaire, de l'endurance, de la souplesse, de la technique et de la tactique (Goosey-Tolfrey, V., 2010). Des instruments lui indiquent la vitesse de l'athlète (odomètre/compteur de vitesse) et des forces statiques maximales (dynamomètre), mais pour connaître la manière dont il déploie de la force et calculer les moments appliqués aux membres, aucun instrument n'est encore à leur disposition, faute de RI conçue spécifiquement pour la course en FRC. Les vélos, contrairement aux FRC, peuvent depuis tout récemment être adaptés de pédales instrumentées. Elles calculent la légère déformation de l'axe des pédales pour fournir de la rétroaction en temps réel à l'athlète sur sa performance (Bini *et al.*, 2011).

#### 2.5. Les fauteuils roulants de course et leurs particularités

##### 2.5.1. Caractéristiques générales

Des 28 compétitions officielles aux jeux paralympiques, plusieurs se déroulent avec des fauteuils roulants. Ces derniers possèdent pour la plupart des particularités techniques qui les différencient des fauteuils conventionnels (Figure 2-3) comme : i) un angle de

carrossage des roues arrière prononcé pour améliorer de façon ergonomique le couplage entre l'athlète et le FRC et pour favoriser la stabilité latérale dans les déplacements brusques; ii) des systèmes de fixation pour assurer l'athlète dans le fauteuil; iii) des pare-chocs pour les sports aux risques de collision (rugby); iv) une roue pivotante à l'arrière pour éviter la renverse sur les fauteuils de basketball et de tennis; v) une troisième roue à l'avant pour la course (depuis 1990) éliminant les deux petites roues d'autrefois (Figure 1-1).

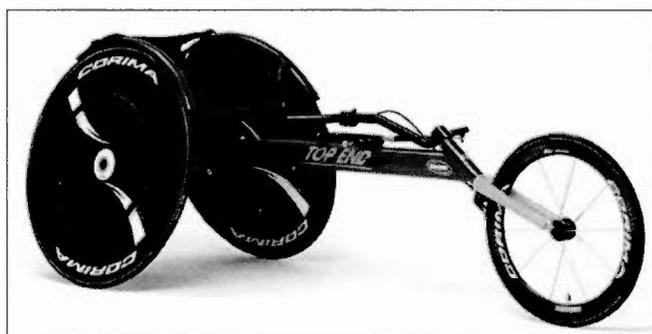


Figure 2-3 : FRC contemporain avec une cage U pour « kneelers ».

Les caractéristiques des FRC sont régies par des normes fixées par le comité paralympique international (IPC), mouvement jumeau du comité international olympique (CIO) (voir la section 2.8). Les FRC sont légers, car leur châssis est fait d'aluminium, entre autres de type 6061 T6, ou de matériaux composites (fibres de carbone). Leur longueur varie de 173 à 188 cm. Leur poids se situe entre 7,7 et 9 kg. Les FRC d'athlètes d'élite ont une durée de vie d'environ 5000 km. Ils acceptent le poids d'un athlète de 115 kg en moyenne. Un frein actionné par la main est fixé sur la roue avant. Il est utilisé rarement, car son action puissante peut faire chavirer le FRC ou faire éclater le pneu sur des surfaces dures (asphalte) selon un les entraîneurs du Club St-Laurent Sélect. Leur profil est bas par rapport au sol pour réduire la résistance à l'air et on les propulse avec les mains sur des mains courantes (MC).

### 2.5.2. La main courante (MC)

Le cerceau, roue de poussée, *hand rim* ou *push rim* sont des synonymes de MC employés dans la littérature et par les gens du milieu sportif. Elles sont fixées sur les roues arrière, du côté extérieur du fauteuil. Le diamètre sectionnel du tube en aluminium qui crée le cerceau de la MC est de 10 mm. Il atteint 15 à 17 mm selon le type de recouvrement, une enveloppe caoutchoutée qui favorise l'adhérence avec les gants. Les MC mesurent de 12 à 16 po (305 à 406mm) de diamètre hors-tout<sup>3</sup> (DHT) avec incréments de ½ po (12mm), et sont de moins grande taille que celles des FR conventionnels. La gamme la plus fréquemment rencontrée mesure 13,5 à 15 pouces (343 à 381mm). Le DHT influence directement la vitesse à laquelle la MC tourne au point de contact avec la main (son pourtour). Une MC de petit DHT tourne moins vite qu'une roue de grand diamètre. Quand le FRC atteint sa vitesse maximale, la main de l'athlète doit être plus *rapide* pour *suivre* la MC. Choisir le bon DHT est difficile, car il doit conjuguer la facilité à démarrer avec la capacité à appliquer de la force lorsque la MC tourne plus vite. Goosey-Tolfrey (2010) énonce que la vitesse de transmission de la force - *speed of force* - est plus importante que la puissance - *strength* - en raison de la vitesse à laquelle tourne la MC quand le FRC atteint les 30 km/h. Vegter (2010) précise que les conditions de propulsion étant différentes selon les parcours de course, un athlète élite désirera un DHT de MC (ratio de transmission) lui permettant d'atteindre une haute vitesse (DHT plus petit), tandis qu'un parcours incliné ou un athlète moins performant exigera un ratio plus bas (DHT plus élevé).

---

<sup>3</sup> Le diamètre inclus l'épaisseur de la surface de recouvrement (caoutchouc adhérent).

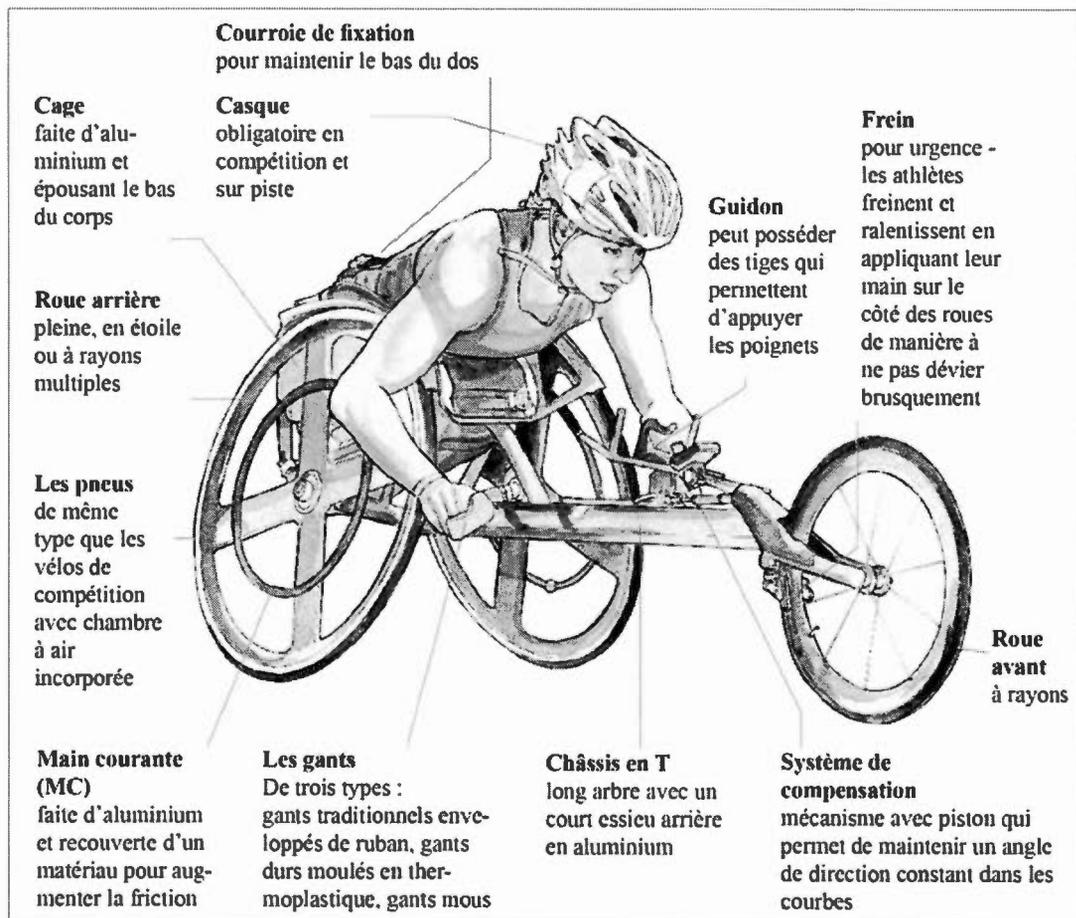


Figure 2-4 : Description des parties d'un FRC.

(Crédits : illustration traduite et bonifiée, *The Washington Post*, 2013-10-03.)

### 2.5.3. L'assise

On peut regrouper les types d'assises en deux catégories : en "V" (*kneelers*) et en "I" (*feet-down*). Il ne faut pas confondre le type d'assise avec le type de châssis (châssis en "U", "I" et "V"), l'assise étant la manière dont l'athlète se positionne dans le FRC. Par exemple, les *kneelers* auront les jambes repliées sous les cuisses, les talons presque en contact avec les fesses, tandis que les *feet down* auront les pieds déposés sur un

support qui se situe plus à l'avant de l'essieu, les jambes presque à la verticale (Figure 2-6). Les types de châssis sont définis par la forme de la structure. Le châssis en "U" possède une plaque pour supporter les genoux. Le châssis en "I" est celui qui facilite le plus l'entrée et la sortie du fauteuil et il s'utilise avec l'assise *feet down* (en "I"). Le châssis en "V" est suggéré pour les débutants alors que l'une ou l'autre des assises peuvent être utilisées (Figure 2-5).

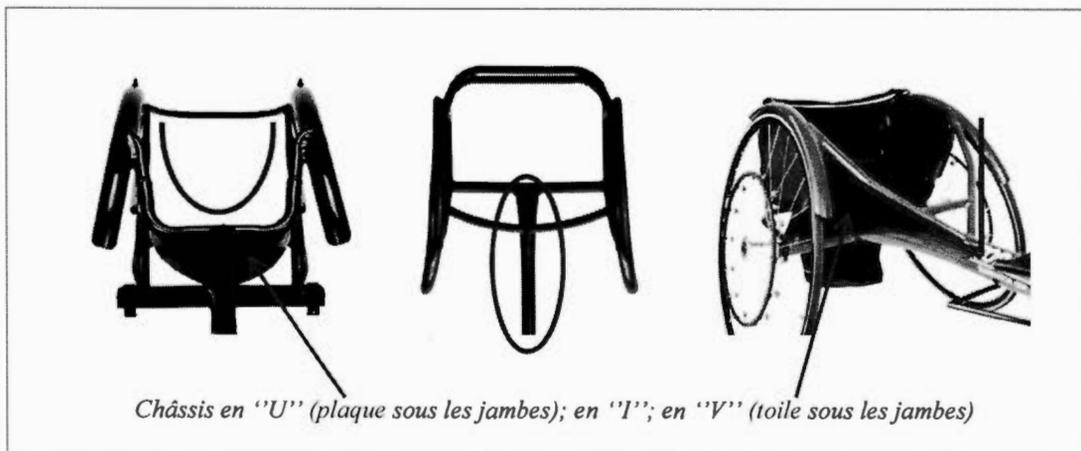
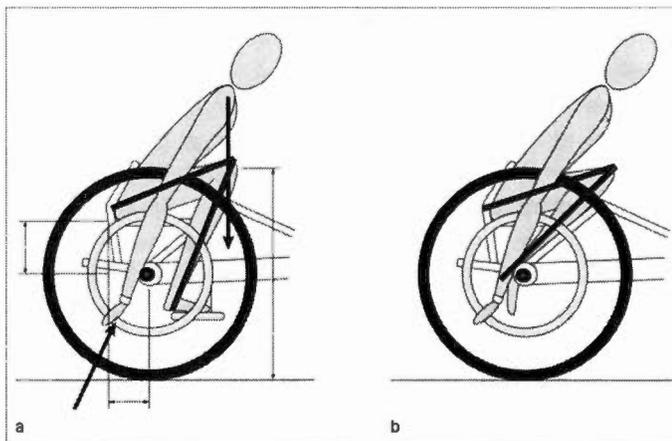


Figure 2-5 : Différents types de châssis de FRC de série.

Les athlètes adoptent l'une ou l'autre des configurations qui modulent l'assise selon la particularité de leur atteinte et le type de course pratiqué (Mitchell, 2016). Le châssis et l'assise correspondante doivent permettre au bas du corps d'épouser le mieux possible le FRC pour limiter le déséquilibre comme une bonne chaussure à son pied sans toutefois obstruer la circulation sanguine, ce qui provoque des ulcères cutanés. Les athlètes qui jouissent d'un bon contrôle de leur tronc préfèrent généralement une assise en "V", car elle engendre une inclinaison plus marquée vers l'avant qui réduit la résistance à l'air et favorise une poussée plus puissante (Mitchell, 2016). Les athlètes atteints de tétraplégie et ceux qui souffrent de spasticité adoptent plutôt une assise en "I". Cette dernière permet de déposer les pieds, d'avoir les jambes plus à la verticale et entrave légèrement moins la respiration et aide à maintenir le tronc plus droit alors qu'il

s'appuie sur les genoux. Remarquez l'angle différent entre la cuisse et la jambe à la Figure 2-6.



*Figure 2-6 : Les deux positions classiques de l'athlète dans le FRC*

*a) la position en "I", jambes devant l'essieu; b) la position en "V", jambes derrière l'essieu*

*Reproduit avec la permission de T. Gray-Thompson and I. Thompson, 2010, Wheelchair racing. In Wheelchair sport: A complete guide for athletes, coaches, and teachers, par V. Goosey-Tolfrey (Champaign, IL: Human Kinetics), p. 136.*

#### 2.5.4. Les roues arrière et avant

Les FRC ont trois roues; deux arrières d'environ 700 mm de diamètre et une roue avant plus petite de 500mm de diamètre. Le carrossage des roues arrière (l'inclinaison ou la cambrure) se situe entre 11 et 15°. La majorité des FRC adopte 12° sans qu'aucune raison spécifique ne soit mentionnée dans la littérature. Les roues ont des rayons classiques, ou sont pleines ou de configuration étoilée à quatre traverses en matériaux composites (âme de mousse recouverte de résine et de fibres de carbone) (Figure 2-7).

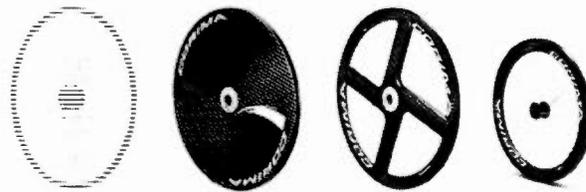


Figure 2-7 : Différents types de roues de FRC

(De g. à d) : roue arrière à rayon (ouverte); roue arrière en carbone (pleine); roue arrière étoilée en carbone (ouverte); roue avant en carbone et à rayon (ouverte) (source : Corima company)  
 Les roues arrière étoilées sont avantageuses pour les courses en plein air, accordant moins de résistance aux vents latéraux.

L'alignement des roues arrière est crucial. Un mauvais alignement est la plus importante source de résistance à basse vitesse (Hamilton, Senior et Haake 2004). Le pincement et l'ouverture (*toe-in* et *toe-out*, respectivement) freinent l'avancée du FRC (Figure 2-8). Pour imaginer ce type de désalignement, on peut faire allusion à la position des skis alpins en chasse-neige, dont les pointes avant se rapprochant forment un « V », ce qui freine la descente.

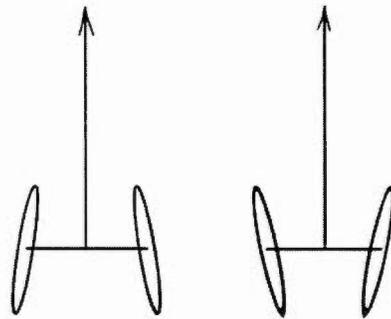
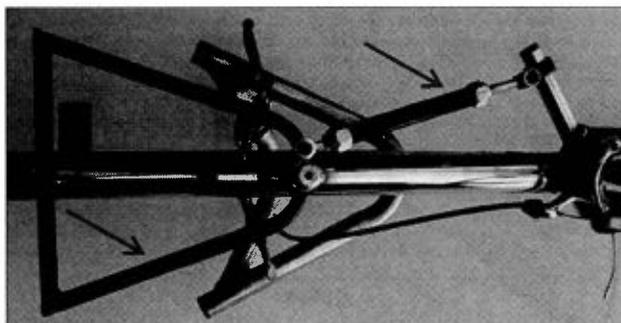


Figure 2-8 : Schématisation de l'alignement des roues arrière

Vues de dessus en plan. À gauche, le pincement, à droite, l'ouverture.

On dirige le FRC à l'aide d'un guidon qui possède une caractéristique additionnelle, un compensateur, permettant de maintenir le cap dans les droits et les courbes à rayons constants, libérant les mains pour la poussée (Figure 2-9). Le préajustement du compensateur fait en sorte que d'un seul léger coup de main sur la poignée triangulaire,

le FRC passera du mode "aller tout droit" au mode "entreprendre la courbe" à gauche ou à droite.



*Figure 2-9 : Système de compensation de la trajectoire pour piste*

*Vue de dessous, sous le châssis; la poignée en forme de triangle et le piston*

*Reproduit avec la permission de Ian Thompson. Wheelchair sport: A complete guide for athletes, coaches, and teachers, par V. Goosey-Tolfrey (Champaign, IL: Human Kinetics), p. 135.*

## 2.6. Les gants

Les mains sont recouvertes d'un gant pour prévenir les blessures, retenir les doigts et optimiser l'adhérence et la force appliquée (Figure 2-10). Deux types sont utilisés : flexible, avec plus ou moins de bourrure, et rigide. Le gant rigide, ou poing, est moulé spécifiquement pour la main de l'athlète. Il procure une plus grande force de frappe, car son revêtement absorbe (ou soustrait) moins d'énergie. Marcou (2015) s'interroge sur ce qui permet « un contact stable, sans glissement ni rebond, entre le gant dur et la MC, quelles que soient les conditions météorologiques, et ainsi permettre à l'athlète d'améliorer son confort, sa performance de poussée et donc implicitement sa vitesse ». Il conclut qu'une forme incorporant une rainure en « V » combinée au matériau suède (assez résistant à l'usure) contribue à l'amélioration de cette adhérence recherchée.

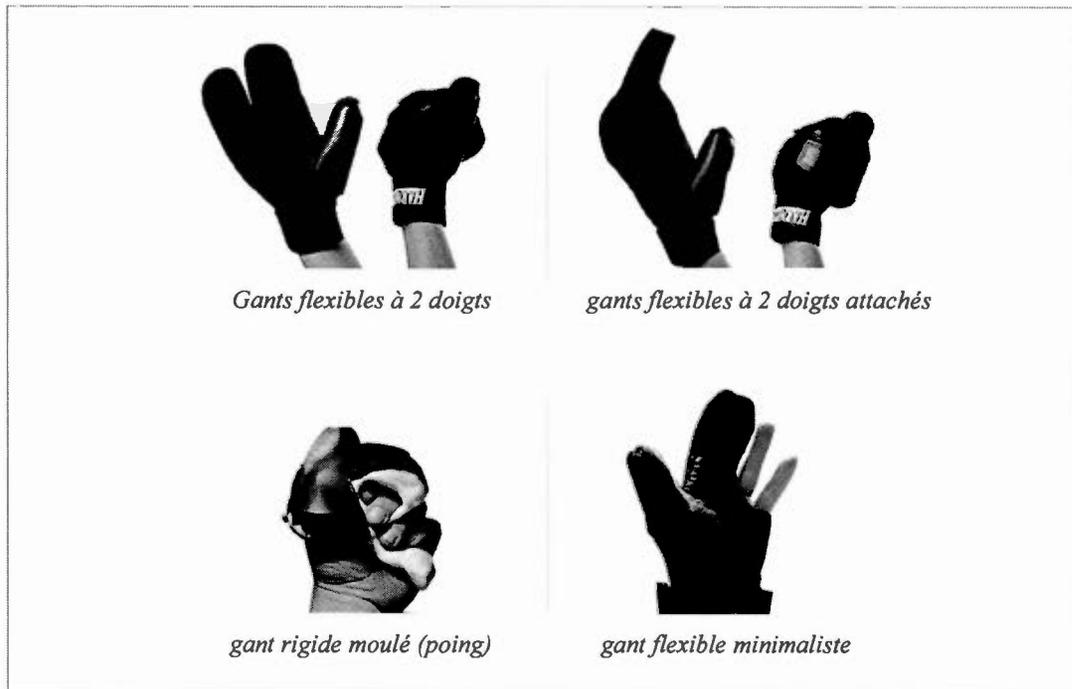
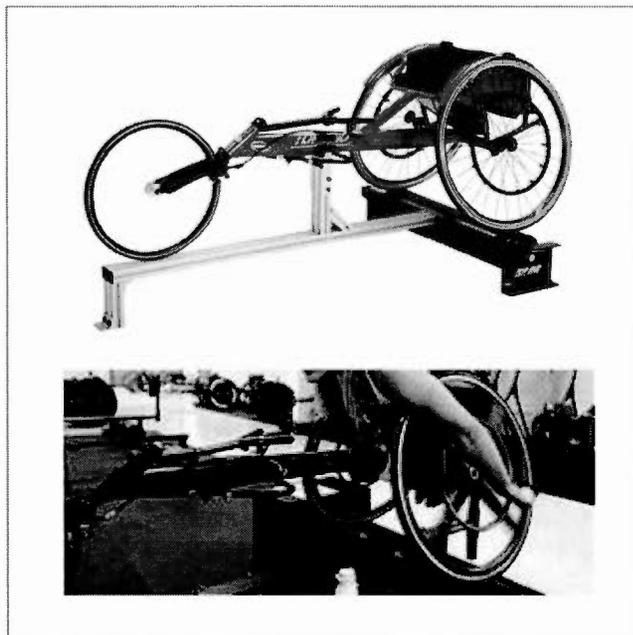


Figure 2-10 : Quatre différents types de gants pour la poussée.

## 2.7. Le matériel d'entraînement

Les athlètes de FRC qui ne disposent pas d'une piste d'athlétisme à leur portée utilisent des rouleaux fixes ou portatifs leur permettant de poursuivre l'entraînement à domicile, dans leurs clubs respectifs ou en tournée de compétition (Figure 2-11). Comme pour les ergomètres de propulsion en fauteuil roulant manuel conventionnels, ces rouleaux ne reproduisent pas fidèlement l'inertie, la résistance à l'air et la résistance de roulement en raison du déplacement inexistant et de la déformation des pneus différente (surface des rouleaux en acier vs recouvrement synthétique plus tendre pour les pistes) (Martin *et al.*, 2002). Certains sont équipés de mécanismes pour augmenter la résistance de roulement, des petits boulons qui entrent en contact avec la surface qui tourne et que l'on serre plus ou moins.



*Figure 2-11 : Rouleaux d'entraînement pour FRC*

*Crédits photos : en haut, Tependwheelchair.com, en bas, photo de Rick Danzl, autorisation d'Adam Bleakney, University of Illinois (E.U.).*

## 2.8. Classification et exigences internationales de la course en FRC

L'IPC fixe les règles de la pratique du sport en FRC. La classification des athlètes a pour but de déterminer qui est admissible au titre de para-athlète ainsi que les méthodes pour diviser les athlètes en classes sportives. À titre d'exemple, les valeurs acceptables pour participer sont de l'ordre de la puissance musculaire affaiblie, l'hypertonie, etc. (appendice D)

On y décrit également les exigences physiques des FRC. Les plus importantes sont : (1) la possession de deux grandes roues et une petite; (2) la petite roue doit être positionnée à l'avant; (3) aucune partie du FRC ne doit excéder la limite verticale arrière des roues arrière; (4) le diamètre maximum des roues arrière incluant les pneus gonflés ne doit pas dépasser 700mm, 500mm pour la roue avant; (5) une seule MC circulaire par roue

arrière est autorisée; (6) aucun engrenage mécanique ne doit être incorporé à la MC; les miroirs sont interdits et (7) aucun dispositif d'amélioration de l'aérodynamisme n'est permis (IPC, 2015).

## 2.9. Les utilisateurs, leur anthropométrie et certains types d'atteintes : les impacts sur le geste et le positionnement

Prenant conscience que les athlètes de FRC n'ont pas tous les mêmes déficiences ou incapacités, une classification élargie est justifiée, contrairement aux compétitions olympiques d'athlétisme qui ne font qu'une seule distinction, celle du sexe. D'emblée, il est possible de penser que les personnes atteintes de tétraplégie ne peuvent se mouvoir avec leurs bras, mais une définition scientifique de cette condition éclaire mieux le sujet. Tout comme la paraplégie, la tétraplégie est principalement causée par une blessure à la moelle épinière, et le degré de détérioration dépend de l'endroit où elle est affectée et de la sévérité de la lésion. Une étude épidémiologique américaine (selon la *National SCI database*) mentionne que dans 50% des cas de blessures à la moelle épinière, ce ne sont pas toutes les connexions entre les membres qui sont inférieures au niveau de l'atteinte et le cerveau qui sont rompues (Ackery *et al.*, 2004). Notons que la paralysie cérébrale (une condition associant trouble de la posture et du mouvement) et l'accident cérébral vasculaire (une défaillance de la circulation du sang qui affecte une région plus ou moins importante du cerveau) peuvent également engendrer cette condition. Nuance apportée, ceci montre que ce sport n'est pas uniquement réservé aux personnes ayant subi une blessure à la moelle épinière, ces deux dernières atteintes n'étant pas des blessures proprement dites, tout comme les personnes amputées entre autres (voir la section 2.3).

Dans certains cas de tétraplégie, les bras peuvent être encore mus, bien que la dextérité soit absente et qu'une spasticité s'observe (tonicité musculaire exagérée et excessive). Vanlandewijck (2012) déplore que peu d'athlètes atteints de tétraplégie soit présents

dans les études biomécaniques sur la propulsion en FRC. Étant donné qu'ils ont des limites très différentes et plus contraignantes que les athlètes atteints de paraplégie, peu d'entre eux sont aptes à la course en FRC. Peut-être est-ce la cause de leur désintérêt. Ceci limite le bassin expérimental de sujets. Dans ces deux conditions d'atteintes, l'athlète a plus ou moins de tonus musculaire au tronc, voire aucun dans certains cas. Cela influence grandement le rendement sportif et le transfert de puissance à la MC. Voilà d'ailleurs pourquoi l'ajustement serré au siège du FRC est combiné avec une sangle fixant le bas du dos, ceci aidant au maintien de ce type d'athlète. Les autres y gagnent également, car tout manque de stabilité dans le FRC ampute ou « voile » une partie de la force effectivement transmise pour l'avancée du fauteuil.

Nos discussions préliminaires avec l'entraîneur du Club d'athlétisme Saint-Laurent Sélect nous portent à croire que les propriétés anthropométriques propres à chaque athlète ne sont pas prises en compte de manière optimale lors des ajustements des FRC. Par exemple, le rapport entre la largeur du bassin, la longueur du tronc et la largeur des épaules des athlètes (la forme en "V" du dos). Nous sommes alors en mesure de nous questionner sur l'influence que cela a sur la géométrie du patron de la poussée et le stress appliqué aux membres supérieurs des athlètes.

Certains fabricants de FRC (TopEnd par exemple) fournissent des détails sur la personnalisation du fauteuil selon le type de châssis utilisé (cage). Généralement, la largeur des hanches, de la taille (deux pouces en haut du nombril), des genoux, la longueur des bras et la nature de l'atteinte sont les déterminants. Les entretiens exploratoires avec les techniciens de FRC du Club St-Laurent Sélect confirment qu'un FRC bien conçu et bien adapté à l'utilisateur comporte des avantages peu communiqués, voire insoupçonnés, comme l'optimisation de la poussée, du maintien et du transfert de force pour la propulsion.

### 2.10.L'interaction utilisateur/fauteuil roulant

La performance en FRC est tributaire de trois facteurs : l'utilisateur (ou le moteur), la mécanique et la technique du FRC (le design et l'ingénierie), et l'interaction entre l'utilisateur et le FRC (son positionnement, la technique de poussée, le patron d'application des forces, etc.) (van der Woude *et al.*, 2001). La nécessité de performer en FRC entraîne un cycle plus complexe que celui de la propulsion d'un FR conventionnel. Entre autres, la main atteint en plus la partie inférieure de la MC, et la phase avant contact demande une plus grande amplitude de mouvement. La propulsion du FRC se sépare en phases qui seront décrites à la section 2.11.

Le diamètre des MC, le carrossage des roues et le patron du mouvement qui sont influencés par l'assise ne peuvent qu'influencer directement l'efficacité de l'application de la force sur la MC des FR conventionnels (Van der Linden, 1996). Par exemple, en comparant deux MC différentes, une à section ronde de 18 mm de diamètre et à section ovale de 25 mm par 30 mm (dimensions en vue de coupe, sectionnelle), la MC de plus grand diamètre et ovale a nécessité une moins grande force de préhension, réponse physiologique favorable en termes d'efficacité mécanique probablement due à une meilleure adhérence. Mais ces résultats ne peuvent être transposés aux FRC sachant que le diamètre des MC et les techniques de poussée sont distincts. Relativement aux études mesurant les forces transmises sur des roues de FR de réadaptation, Pelland (2014) arrive aux mêmes conclusions alors qu'il note qu'elles ne sont pas utilisables à des fins d'études dans un contexte sportif puisque la biomécanique de la poussée est également différente.

Le carrossage des roues arrière protège entre autres des collisions, augmente la stabilité latérale et le mouvement des bras est moins entravé en raison du dégagement créé (Tsai *et al.*, 2012) (Figure 2-12).

Nous avons vu que le carrossage des roues arrière est plus ou moins standardisé, mais rien dans la littérature ne précise la raison pour laquelle un angle serait privilégié par rapport à un autre. Les relevés sur les FRC des athlètes pourront peut-être nous éclairer à ce sujet.

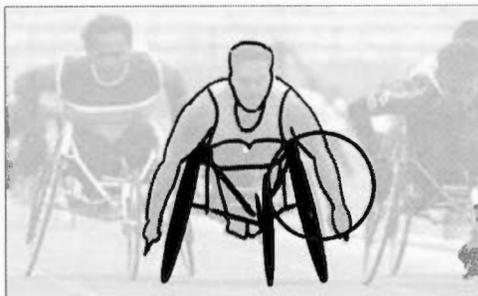


Figure 2-12 : Le carrossage des roues arrière d'un FRC et le dégagement des bras.

Selon Goosey-Tolfrey et al. (2001), les athlètes qui adoptent une position d'assise plus basse et avancée seraient en mesure de générer une force optimale sur la MC. Un mouvement d'ondulation du tronc, telle la nage papillon, favorise une adduction de l'articulation scapulo-humérale (ouverture des épaules) durant la phase d'accélération. Cela semble appuyer des écarts de performance entre les athlètes, et à ce titre, est une avenue qui mérite de plus amples recherches. Selon Masson (2015), les athlètes avec une incapacité quant au maintien de leur tronc auraient « un meilleur recrutement musculaire, soit une portée sur le cerceau plus grande, permettant ainsi de pousser sur une plus grande étendue du cerceau. »

Un autre facteur qui influence l'interaction utilisateur/FRC est le positionnement antéro-postérieur de la masse de l'athlète dans le FRC. Il ne doit être ni trop vers l'arrière ni trop vers l'avant, car dans ce dernier cas il influence grandement la résistance au sol (van der Woude *et al.*, 2001). Dans le premier il peut provoquer l'effet de "wheely". Soulever la roue avant du sol par la force de propulsion appliquée à la MC a comme conséquence de transformer l'impulsion de l'athlète en mouvement angulaire au lieu de

linéaire. Le fauteuil pivote sur l'axe des essieux au lieu d'avancer, ce qui est moins efficace. Cela peut également faire dévier le FRC et nécessiter une correction de la direction de conduite.

### 2.11. Les différentes techniques de poussée

Étudier l'interrelation entre l'utilisateur et le FRC, l'interface (van der Woude, 1989), permet d'identifier les conditions qui favorisent l'atteinte de performances et les limites du système musculosquelettique (SMS). Ces conditions peuvent être cernées en observant finement les techniques de poussée.

La propulsion en FR conventionnel et en FRC génère un stress très élevé sur le système musculosquelettique en raison de l'intensité et de la fréquence du geste de propulsion (Vanlandewijck, Y. *et al.*, 2001). Le couple appliqué à l'épaule et au poignet est également un facteur de risque non négligeable pouvant produire entre autres le syndrome du tunnel carpien (STC). Tôt au 20<sup>e</sup> siècle on identifiait déjà un lien entre la pratique du sport en FRC et le syndrome d'accrochage de l'épaule (Burnham *et al.*, 1993). L'effet sur ces facteurs de risque varie selon la technique utilisée par l'athlète pour se propulser.

La littérature répertorie trois techniques de poussée ou de contact avec la MC pour les compétitions en FRC : la technique conventionnelle (CVT), la technique *para-backhand* (PBT) (Chow *et al.*, 1999) et la technique dite T51 (Goosey-Tolfrey, V., 2010) (Figure 2-13, Figure 2-15 et Figure 2-18).

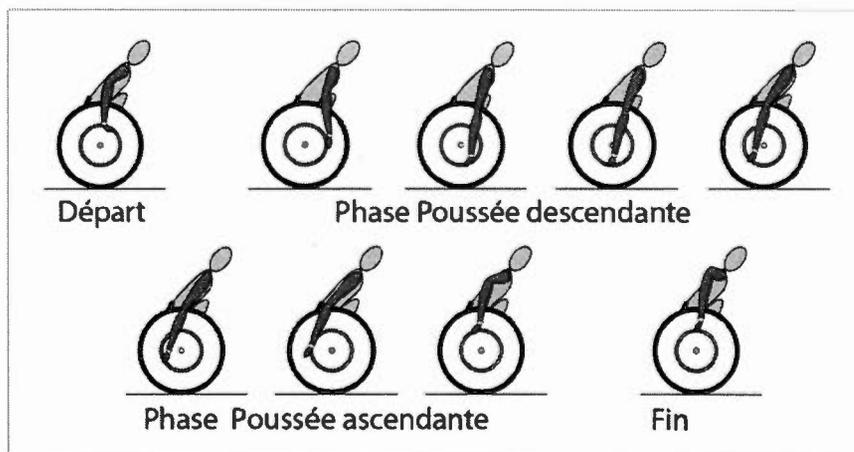


Figure 2-13 : Technique de poussée T51 selon Goosey-Tolfrey

Reproduit avec la permission de T. Gray-Thompson and I. Thompson, 2010, *Wheelchair racing. In Wheelchair sport: A complete guide for athletes, coaches, and teachers*, par V. Goosey-Tolfrey (Champaign, IL: Human Kinetics), p. 140.

La technique T51<sup>4</sup> est également appelée celle du *pouce*, en référence aux athlètes sévèrement atteints d'une blessure médullaire au niveau cervical C5 à C6. La force de poussée est développée de 1 à 5 h et de 7 à 11 h (Figure 2-13). Une MC de plus petit diamètre et de plus grande surface de contact (en vue de coupe) faciliterait ce type de poussée (Goosey-Tolfrey, 2010). La CVT et la PBT pour leur part ne sont pas accessibles aux athlètes atteints de tétraplégie en raison de la perte de contrôle des triceps (Goosey-Tolfrey, 2010). Cette particularité qui est propre à cette classe d'athlète explique le fait qu'ils appliquent également de la force à la MC en remontant lors de la phase ascendante et que les bras ne remontent pas très haut lors de la phase de recouvrement. La main semble ne jamais quitter la MC.

<sup>4</sup> Voir la description des types d'atteintes en annexe A.

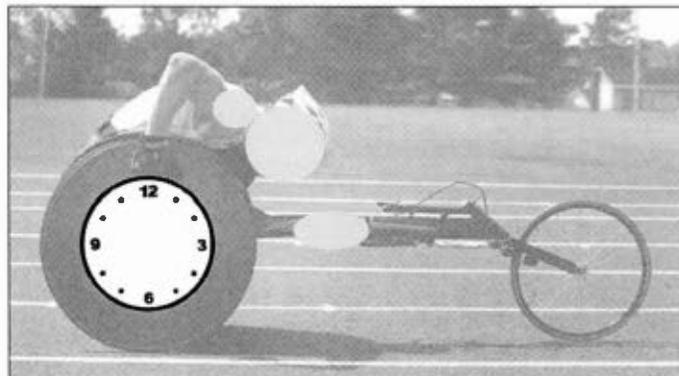


Figure 2-14 : Un type de référence pour imaginer les angles de poussée en FR.

La CVT consiste à garder la main en contact le plus longtemps possible avec la MC, la paume essentiellement perpendiculaire à la MC et le pouce sur le côté extérieur supérieur de la MC.

La PBT a été développée au début des années 90' pour réduire la prévalence de blessure aux membres supérieurs, et les athlètes d'endurance et moins explosifs devraient préférer cette technique (Chow et al. 1999). Goosey-Tolfrey (2010) précise qu'avec la technique *para-backhand* le contact survient vers 1 h alors que c'est le dos des doigts, vis-à-vis la phalange intermédiaire de l'index, qui touche la MC, le pouce servant de guide uniquement. Par la suite, la main pousse vers le bas à l'intérieur de la MC jusqu'au relâchement vers 7 h. La paume de la main refermée dans le poing est parallèle à la MC, ce qui maintient une bonne position pour l'articulation de l'épaule. La zone idéale se situe de 4 à 7 h alors que la puissance est plus importante que la force (à 40 km/h, l'athlète ne possède que 0,1 sec. pour fournir la poussée). L'évolution technique des gants a permis aux athlètes classés T52 d'utiliser la PBT.

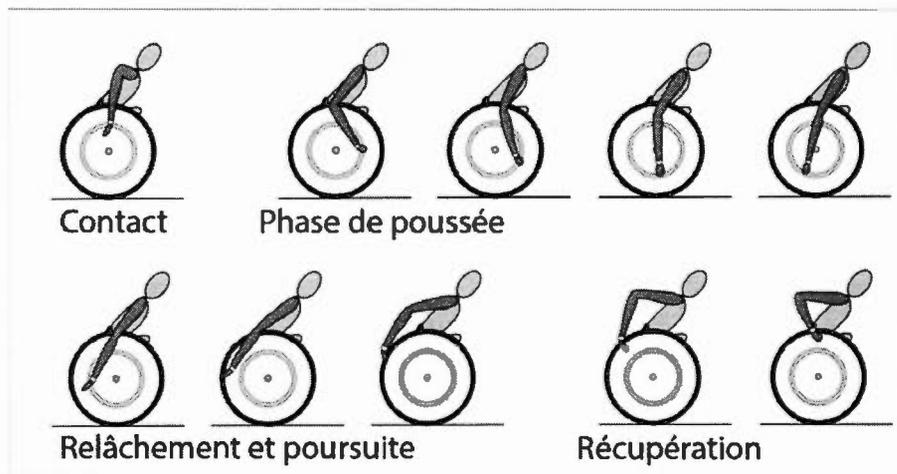


Figure 2-15 : Technique de poussée para-backhand (PBT) selon Chow et Goosey Tolfrey

Reproduit avec la permission de T. Gray-Thompson and I. Thompson, 2010, *Wheelchair racing. In Wheelchair sport: A complete guide for athletes, coaches, and teachers*, par V. Goosey-Tolfrey (Champaign, IL: Human Kinetics), p. 140.

Au début des années '80, on différencie deux phases : la propulsion, lors du contact avec la MC, et la récupération, lorsque la main quitte la MC avant de se positionner de nouveau pour une attaque (Sanderson et Sommer, 1985). Cooper (Cooper, 1995) en énonce trois pour les FRC : les phases de préparation, de propulsion et de récupération. Higgs (1993) en identifie plus précisément cinq. Masson (2015) précise la phase de relâchement de Higgs en distinguant le moment du relâchement avec la récupération (Figure 2-17). La nomenclature de Higgs, largement adoptée, sera celle à laquelle nous ferons référence dans ce travail (Figure 2-16).

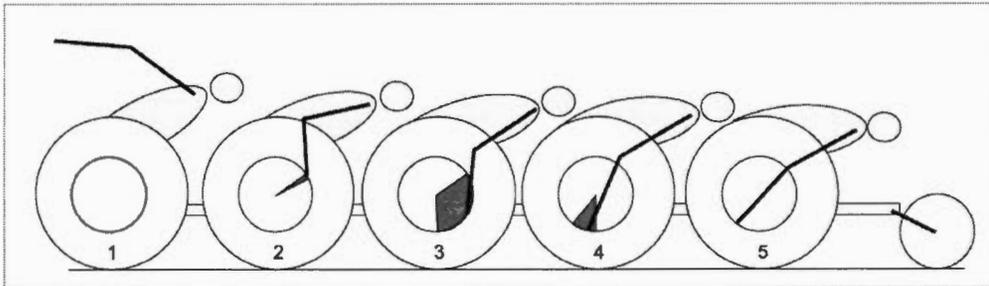


Figure 2-16 : Les phases de propulsion en FRC selon Higgs

1 à 2 = phase d'accélération, d'attaque; 2 = phase d'impact, de contact;  
 3 = phase de propulsion, de poussée; 4 = phase de rotation, production de puissance rotationnelle;  
 5 = phase de relâchement, 5 à 1 : phase de récupération, de retour (back swing).

Crédit de l'illustration : Vanlandewijck, Y. et al., 2001, avec l'autorisation de Springer via RightsLink.

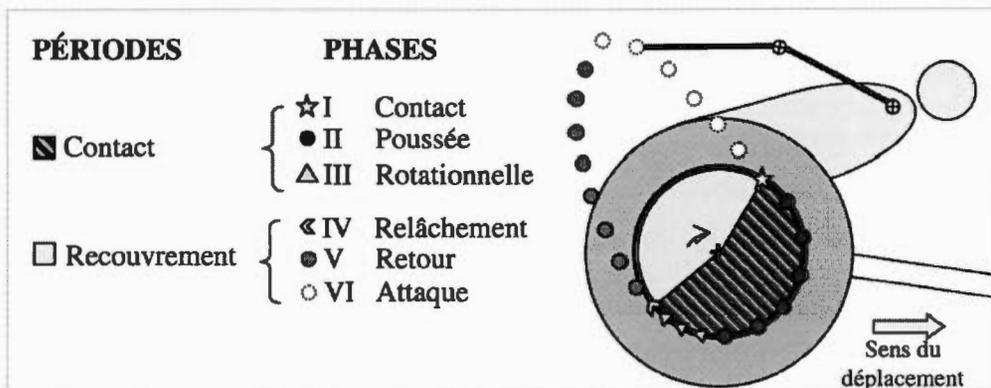


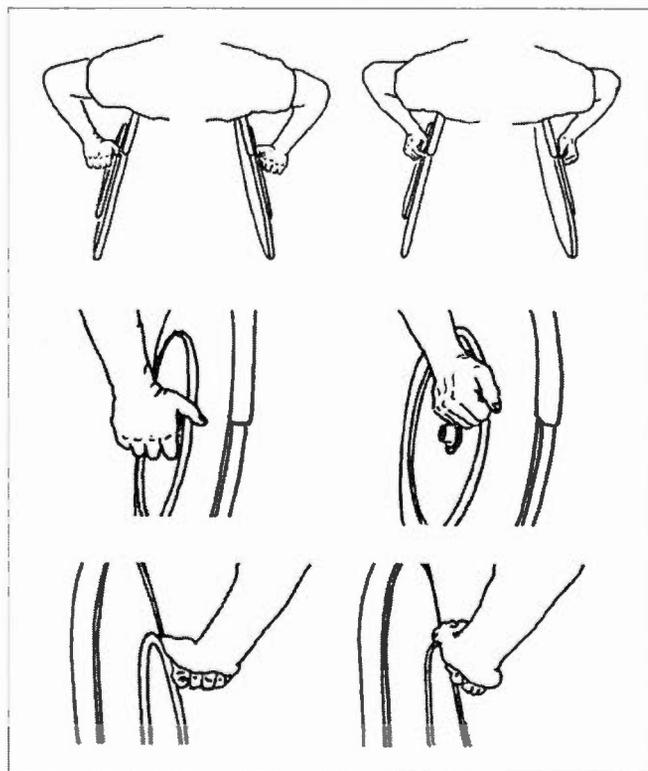
Figure 2-17 : Périodes et phases du cycle de poussée, dans le plan sagittal, selon Masson (2015).

Crédit du schéma : G. Masson, 2015, citation autorisée sous licence CC.

D'autres techniques de poussée ont été expérimentées, comme l'utilisation de manivelles et de leviers. Bien que ces dispositifs soient exclus des compétitions (règlements de l'IPC), ils réduisent les contraintes exercées sur le tunnel carpien (van der Woude *et al.*, 2001).

Vanlandewick (Vanlandewijck, D. Y. *et al.*, 2012) insiste sur le fait que l'optimisation de l'interface (l'interrelation entre l'utilisateur et le FRC) a eu comme effet de voir les

performances des athlètes augmenter de manière fulgurante depuis le milieu des années quatre-vingts<sup>5</sup>, les résultats du 800m passant de 2 min. 26 s. à 1 min. 38 s. entre les jeux de Los Angeles (1884) et ceux de Sydney (2000). Cependant les fortes spéculations quant aux causes de blessures liées à la sollicitation soutenue de l'épaule, du coude et du poignet tiennent peu compte des caractéristiques du mouvement. La position assise avant 1993 imposait une toute autre technique de poussée que la position nettement plus penchée et agressive contemporaine des nouveaux FRC, donc une interface différente.



*Figure 2-18 : Deux techniques de poussée comparées*

*À g, conventionnelle; à d., para-backhand; en haut, vue de dessus; au centre, vue latérale vers l'arrière; en bas, vue latérale vers l'avant.*

*Crédits : Chow J. 2000, autorisation de Wolters Kluwer via RightsLink*

<sup>5</sup> À titre de référence actuelle, le record mondial au 800m homme (T54) est de 1 min. 31,12 sec. (2010). (source IPC).

## 2.12. La biomécanique collaborant à l'ergonomie

Il existe un intérêt certain dans la collaboration entre la biomécanique et l'ergonomie, dont celui de « ... mieux comprendre les modes opératoires et identifier les déterminants de l'activité. [...] Ainsi ce qu'on appelle les facteurs biomécaniques, correspondent à l'activité physique elle-même, qui dans le cas où elle entraîne une hypersollicitation des muscles et des tendons, peut conduire au développement d'un TMS » (Vézina, 2001). Roquelaure (1999), dans une étude sur les tailleurs de vignes, a adopté une démarche « multidimensionnelle » qualifiant de complémentaires les méthodes épidémiologiques, biomécaniques et ergonomiques. « Les analyses biomécaniques quantifient finement l'astreinte des opérateurs générée par l'activité ». Alors que Vézina cite entre autres les postures, les composantes temporelles (durée, répétitivité, rythme, etc.), l'intensité (la force) et le jeu des muscles agonistes et antagonistes comme des facteurs d'hypersollicitation musculosquelettique, nous les reconnaissons dans l'activité de se propulser en FRC. Les observations et verbalisations de l'approche ergonomique ne permettent pas à elles seules de « ... mettre à jour des éléments de l'activité physique difficilement observables » (Vézina, 2001). C'est alors qu'une étude biomécanique en laboratoire prend toute sa signification en fournissant des mesures quantifiables et en permettant de vérifier des hypothèses sur la force générée par les athlètes et les modes opératoires qui favorisent ou entravent la performance en FRC.

## 2.13. Les sollicitations musculaires et articulaires

Au terme d'une revue de littérature exhaustive, Masson (2015) conclut qu'aucune étude à sa connaissance ne s'est intéressée à l'activité musculaire du tronc « bien qu'il semble contribuer considérablement à la production d'énergie pour déplacer le FRC. » En contrepartie elle décrit les principaux muscles sollicités durant le cycle de poussée (PBT) qui dure en moyenne 0,5 seconde (Tableau 2-1).

Le but recherché par l'athlète est de déployer une force qui propulsera son FRC avec le maximum d'efficacité. Ceci appelle la notion d'efficacité mécanique de la force appliquée (FME ou force mécanique effective) qui se traduit comme étant le rapport entre la force déployée par l'athlète (les moments articulaires du coude et de l'épaule) et la force résultante qui contribue à la propulsion.

*Tableau 2-1 : Les principaux muscles sollicités durant le cycle de poussée d'un FRC  
(Phases de la technique parabackhand) selon Masson, 2015.  
\*Les fléchisseurs et extenseurs radiaux du carpe sont sollicités tout au long du cycle.*

Phase	Nom	Muscles sollicités	Leur action
1	attaque	- le deltoïde antérieur et grand pectoral  - les biceps	- accélération du membre supérieur  - flexion du coude et de l'épaule
3	propulsion (poussée)	- les triceps	- extension du coude
4	rotation (fin de la phase de poussée)	- le deltoïde postérieur - le grand pectoral	- stabilisateur de la rotation externe de l'épaule et extenseur de l'épaule - stabilisateur de la rotation interne de l'épaule (*phase 4 + phase 5)
5	relâchement- récupération	- le deltoïde post. et trapèze supérieur  - les triceps  - le grand pectoral	- abduction et extension de l'épaule  - extension du coude  - stabilisateur de la rotation interne de l'épaule

Tout au long des phases de propulsion, l'athlète exerce des forces sur différents axes en rapport avec la MC : forces radiale  $F_r$ , axiale  $F_z$  et tangentielle  $F_t$  (Figure 2-19). « Ce sont les forces tangentielles qui produisent le travail nécessaire pour déplacer le fauteuil tandis que les forces axiales et radiales assurent la force de frottement nécessaire pour éviter le glissement (Masson, 2015).

Lors de la propulsion d'un FR conventionnel, dans un monde idéal, une hypothèse est que la force mécanique effective (FME) serait de 1, sans aucune perte dans l'axe radial (Figure 2-20). Toutefois le coude agirait alors « en excentrique », c'est-à-dire que le mouvement est en extension alors que la force est en flexion. Ainsi, le coude absorbe de la puissance au lieu d'en produire.

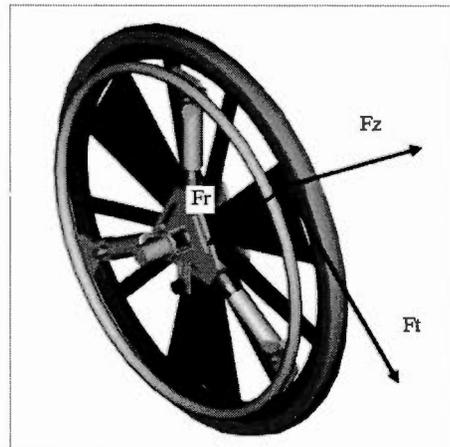


Figure 2-19 : Axes d'application de la force sur la main courante SmartWheel

$F_r$  = force radiale (vers le centre de l'essieu);  $F_z$  = force axiale (dans le sens de l'essieu);  
 $F_t$  = force tangentielle à la MC. La force résultante est une combinaison mathématique de ces trois forces. (Crédits : Yang, 2003)

Cette puissance additionnelle est générée par l'épaule, augmentant le moment articulaire à l'épaule » (Chenier, 2012). Mais cela n'est pas atteignable en raison de la force de frottement nécessaire en axial et non désirable en raison de l'augmentation du risque de blessure. Cette hypothèse est-elle transférable au geste de se propulser en FRC? Une RI de FRC pourrait aider à infirmer ou confirmer cette hypothèse.

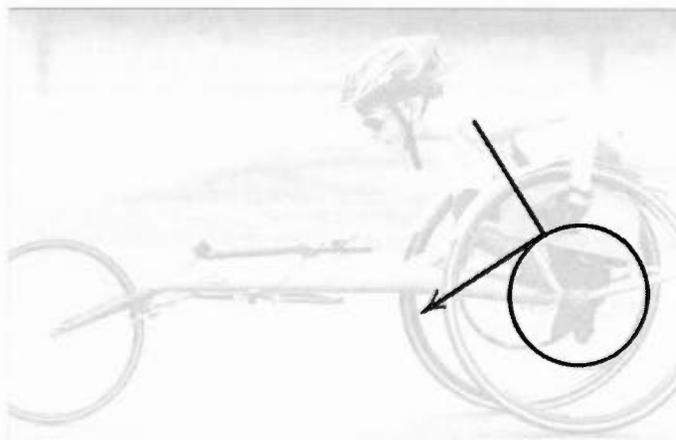


Figure 2-20 : Schématisation théorique du vecteur de la force tangentielle de l'athlète junior australien Brad Pemberton.

Les TMS des membres supérieurs résultent en premier lieu de l'application de contraintes biomécaniques soutenues et répétitives (CDC-NIOSH, 2013). Dans la situation qui nous concerne, la course en fauteuil roulant, la répétitivité du geste de se propulser est indéniable. Quant aux postures articulaires des membres supérieurs (composantes des facteurs biomécaniques), « dès lors que les articulations travaillent au-delà des angles de confort, la probabilité d'être atteint d'une TMS aux membres supérieurs s'accroît, indépendamment du niveau de répétitivité ou de l'effort » (Aptel, 2011). Un écartement de l'épaule par rapport au tronc de 20° à 60° est acceptable sous certaines conditions, selon la norme française sur la pénibilité des postures au travail (AFNOR). La zone confortable se situe en deçà de 20°.

#### 2.14. La roue de fauteuil roulant instrumentée (RI)

Analyser le geste de se propulser en FRC nécessite de comprendre les variables qui composent les déplacements, entre autres la posture et la force appliquée à la MC selon les types d'atteintes, soit une évaluation des contraintes et des sollicitations biomécaniques. Il y a trois éléments biomécaniques à mesurer : la force déployée, l'analyse du mouvement par la capture (*motion capture*) et la sollicitation musculaire. Pour cela nous disposons d'outils tels des caméras, ergomètres, capteurs-émetteurs, systèmes d'évaluation isocinétique et d'électromyographie (EMG). Toutefois, nous ne disposons pas d'une roue arrière de FRC instrumentée de capteurs, qui serait un instrument fort pertinent pour analyser la dynamique des forces dont les moments et la force déployée sur des axes définis.

Cooper (2009) décrit l'apparition des premières recherches pour la conception et la construction d'une RI entre les années 1984 et 1989 ainsi que l'évolution de la SmartWheel jusqu'à 2009. L'intérêt poursuivi à l'époque était de mieux connaître les performances des FRC pour les améliorer, but délaissé au profit des FR conventionnels avec une MC de plus grande taille. Une première version de la SmartWheel, alors

dédiée aux FRC, pouvait accommoder une MC entre 11 et 19 po de diamètre (28, 48 cm), l'éventail de dimensions utilisées pour la course à l'époque, alors qu'elle offre maintenant une MC de 22, 24, ou 25 po de diamètre (56, 61, 64 cm). Cette première version permettait donc de reproduire plus fidèlement la propulsion en FRC. Le poids de la roue instrumentée était trop lourd, les instruments mal balancés, et les jauges de forces ne résistaient pas aux forces appliquées. De 1989 à 1991, les intérêts de la recherche se sont déplacés vers la population d'utilisateurs de FR conventionnels où les blessures étaient plus fréquentes, malgré que les coureurs en fauteuil roulant parcourent beaucoup plus de distance que les non-athlètes (Boninger *et al.*, 1998). Depuis ce temps, la SmartWheel pour FR conventionnels ne permet pas de reproduire le geste de la course en FRC bien qu'une version pour FRC soit présentement en développement au É.U. (Rice, Ian, 2016).

Une attention particulière a dès lors été apportée à l'adaptation des FR selon les particularités des utilisateurs (conventionnels). L'électronique évoluant, la récolte de données fiables apparaît avec le remplacement des circuits analogiques par des circuits digitaux (1994-1996).

En 2001, la SmartWheel prend un essor commercial et est offerte à des groupes de recherche. Elle permet de quitter les laboratoires et les tapis roulants instrumentés avec des attributs de communication sans fil. Voici une description sommaire de son fonctionnement. Un interrupteur incorporé démarre l'alimentation et une carte mémoire intégrée sauvegarde les données en cas de problème de communication sans fil. La RI peut être utilisée selon deux modes : clinique ou recherche. En mode recherche, deux SmartWheel peuvent être installées (gauche et droite du FRC) afin de recueillir des données simultanément, ce que le mode clinique ne permet pas. « [La roue SmartWheel] permet la mesure de la vitesse de la roue, de l'angle de la roue [grâce à des encodeurs intégrés], des forces et des moments appliqués en 3D [grâce aux capteurs de force], de la fréquence de la poussée, de la longueur et de l'angle de poussée, et d'un

indice de fluidité de la poussée. Un graphique de la force tangentielle, un graphique de la vitesse, la force tangentielle maximale, la longueur de la poussée et la cadence » peuvent être visionnés en temps réel via une application spécialement conçue par le fabricant (Pelland, 2014). Un outil d'analyse de données incorporé permet de convertir et d'analyser les fichiers de recherche enregistrés sous format électronique .csv à la fin des essais.

Les travaux du laboratoire de Rory A. Cooper, vétéran handicapé et fondateur du *Rehabilitation Research and Development Center of Excellence in Pittsburgh*, ont permis d'élargir la recherche sur la propulsion en FR conventionnel et le FRC. Ses travaux sur entres autres les centres de pression, les forces appliquées et les moments de force croisés avec les cycles, phases et angles de poussée permettent aujourd'hui de mieux comprendre la biomécanique de cette activité. Quelques constatations non exhaustives : 1) les centres de pression (points virtuels de l'application de la force) ne sont pas nécessairement localisés dans l'axe projeté de la main (Cooper, 1995); 2) les moments à l'épaule sont plus grands que ceux du coude ou du poignet (Robertson *et al.*, 1996); 3) les utilisateurs de FRC adoptent une stratégie de propulsion différente des utilisateurs de FR conventionnels et les forces de propulsion augmentent proportionnellement avec la vitesse de déplacement (Goosey-Tolfrey, V. L. *et al.*, 2001); 4) les utilisateurs de FR conventionnels sont moins sujets à développer des TMS si la vitesse de la main au moment de l'impact sur la MC correspond plus étroitement à la vitesse de la roue (Yang, 2003); 5) l'application de la force radiale sur la MC d'un FRC, qui est nécessaire au maintien du contact entre le gant et le cerceau en raison du frottement, est très importante, soit deux fois supérieures à la force tangentielle et presque quatre fois supérieures à la force axiale (Limroongreungrat *et al.*, 2009).

Malgré ces avancées, la SmartWheel ne répond pas aux attentes technologiques contemporaines de légèreté et de fiabilité de la communication. De plus, sa version lointaine avec une MC de petit diamètre fidèle à celle utilisée pour le sport n'existe plus

sur le marché. Le prix est également un obstacle. Elle se détaille aux alentours de 39 000 USD, sans compter qu'idéalement deux roues devraient équiper un FRC lors des recherches pour analyser l'asymétrie dans la poussée.

Pelland (2014), qui a travaillé à la conception d'une RI dédiée au FRC, arrive aux principales recommandations suivantes concernant le volet technique : 1) la masse des roues et la qualité des roulements sont des préoccupations importantes pour effectuer des tests sur le terrain; 2) le choix des cellules de force, ces unités qui captent la force exercée sur la MC, doit optimiser la sensibilité et limiter la saturation.

#### 2.15. Conclusion du bilan des connaissances

Un retour dans le temps nous a permis de retracer l'apparition des fauteuils roulants au XVII<sup>e</sup> siècle et la naissance du sport en FRC au début XX<sup>e</sup> siècle. Les performances ont grandement évolué depuis alors que les techniques d'apprentissage, l'entraînement, le fauteuil et les équipements se sont perfectionnés.

Les handicaps et atteintes des athlètes étant très variables, des classes de compétition différentes sont instaurées. Ces différences expliquent plusieurs particularités propres aux interfaces athlète/fauteuil. Les techniques de poussée sont multiples, s'adaptant soit aux préférences ou aux impératifs de la condition des athlètes. Elles se découpent en phases qui permettent aux chercheurs d'étudier ce geste.

Les entraîneurs et les athlètes disposent d'outils pour mieux performer, le domaine de la recherche désire étudier l'activité pour prévenir les blessures. Les RI sont des outils efficaces pour cette compréhension, mais aucune ne répond aux exigences et particularités de la course.

## CHAPITRE 3

### CADRE THÉORIQUE DE L'ÉTUDE

#### 3.1. Contexte de l'étude

Ce projet de recherche ayant pour but de cerner les déterminants qui modulent le geste de propulsion en FRC et de dégager des critères de conception d'une RI, s'appuie à la fois sur une étude ergonomique sur le terrain, centrée sur l'analyse de l'activité du travail effectif, travail interprété ici par la pratique du sport en FRC, et à la fois sur une approche expérimentale en biomécanique. La conjugaison de ces deux approches est pertinente d'une part parce que le geste est plus difficile à investiguer finement en situation réelle et parce que les athlètes et les situations dans lesquelles ils évoluent sont très variables en termes d'atteintes, de dimensions corporelles, de motivation, d'équipements, d'entraînements, etc.

Parmi les différentes approches en ergonomie, l'analyse de l'activité demeure la plus pertinente pour répondre aux enjeux de cette recherche. L'utilisateur, l'athlète, est au centre de cette analyse. Notons que les représentations d'une activité qu'ont les différents acteurs ne sont que partielles, ce qui confirme l'importance cruciale de la collecte d'informations sur les lieux et durant la réalisation de l'activité de se propulser en FRC, sources qualifiées de *privilegiées* pour analyser une activité de travail (Vézina 2011). Pour une définition plus exhaustive du cadre théorique de la démarche en ergonomie et une mise en contexte de ses courants et interactions avec d'autres disciplines, nous invitons le lecteur à consulter l'annexe B.

Il importe de préciser le cadre théorique de notre démarche qui est largement inspiré des modèles proposés par St-Vincent (St-Vincent et al., 2011) et Guérin (Guérin *et al.*, 2007). Laberge (2011) précise qu'il faut considérer :

- l'activité elle-même et ses déterminants (les conditions de réalisation qui modulent l'activité);
- la personne elle-même (tenir compte des caractéristiques des athlètes);
- les conséquences en matière de santé (les risques de blessures et de TMS).

Le mandat d'une étude ergonomique, qui provient normalement d'un problème exprimé par le milieu de travail, est dans notre cas la nécessité d'avoir une roue instrumentée de FRC. Cette étude commande l'analyse de l'activité des athlètes. Examiner le milieu pour en connaître le fonctionnement nous permet de sélectionner les situations de travail, ou les moments privilégiés, pour observer finement le geste de se propulser en FRC. Cela permet également d'établir des liens avec les personnes et de découvrir les déterminants et les effets qui en résultent. La combinaison observations et verbalisations s'avère très importante (Vézina 2011).

La documentation de plusieurs unités d'analyse, « des configurations particulières de la situation de travail », peut permettre de comparer les modes opératoires des athlètes, de constater des variations de l'activité de l'athlète, ou enrichir la compréhension de la situation de travail (St-Vincent et al. 2011). Une démarche en entonnoir amène à des propositions explicatives (Guérin et al. 2007) qui aboutiront dans notre contexte d'étude par le dégagement de critères de conception d'une RI.

Alors que Guérin et al. (2007) énonce que l'observation est au centre des méthodes et que « le recueil d'information passe par la présence d'un ergonomiste sur les lieux pendant la réalisation du travail », il précise que ce constat, qui est évident selon lui, marque la différence entre deux méthodes : *l'analyse de l'activité*, qui porte sur un

travail effectivement réalisé à un moment donné, et *les autres approches* « ...qui s'appuient sur des représentations du travail en général, de ses déterminants ou de ses conséquences, mais en dehors de sa réalisation effective (par des entretiens, l'analyse de documents, etc.). » Cependant, nous avons pratiqué l'analyse de l'activité en observant les athlètes dans différentes situations : entraînement à l'intérieur; sur piste et en compétition, et en mettant également en pratique ces *autres approches* en nous appuyant sur ces représentations du travail en général, mais pas toutes en dehors de la réalisation effective du travail. Filmer en direct et observer in situ n'est pas en dehors de la réalisation effective du travail, mais bien ancré sur le geste tel qu'il est pratiqué.

### 3.2. Les déterminants : pour mieux comprendre l'activité

Dans une approche ergonomique, il est primordial de rechercher et de cibler les déterminants. Ils constituent le cadre de l'activité de travail dont l'utilisateur est au centre (Figure 3-1). Les déterminants sont les éléments qui la conditionnent, qui se greffent autour d'elle. Ils sont : (1) au premier plan l'athlète lui-même(l'utilisateur); (2) les intervenants qui gravitent autour de lui; (3) les équipements et leurs caractéristiques (fauteuil, gants, etc.); (4) la technique de poussée (son activité) qui comme nous l'avons vu est grandement influencée par le couple athlète/fauteuil; (5) la nature de la pratique, soit en entraînement ou en compétition; (6) les parcours (revêtements, dénivelés, etc.) et (7) les conditions météorologiques.

À terme, que ce soit en entraînement ou en compétition, l'activité de se propulser en FRC aura des conséquences sur la santé et la performance recherchée par les athlètes. La plupart du temps, « le travail [le sport dans le cas qui nous concerne], sous certaines conditions, aura des conséquences non pas négatives, mais bien positives pour la santé » (Guérin *et al.*, 2007). L'activité sportive procure en effet à l'athlète un bien-être immense sur le plan physiologique et psychologique. Les conséquences peuvent cependant être négatives et correspondre à un TMS ou à un accident sur piste.

L'élucidation des causes des souffrances exprimées ou observées est complexe et le rôle de l'ergonome consiste justement à les déceler avant qu'elles n'aient des conséquences irréversibles sur l'individu. En ce qui concerne les conséquences sur la performance, elles se traduisent par des gratifications que reçoit l'athlète ou la satisfaction (ou la déception) qu'il ressent liées à l'atteinte (ou non) de la performance requise pour se qualifier aux compétitions nationales et d'envergure, dont des bourses, des médailles et la reconnaissance en général.

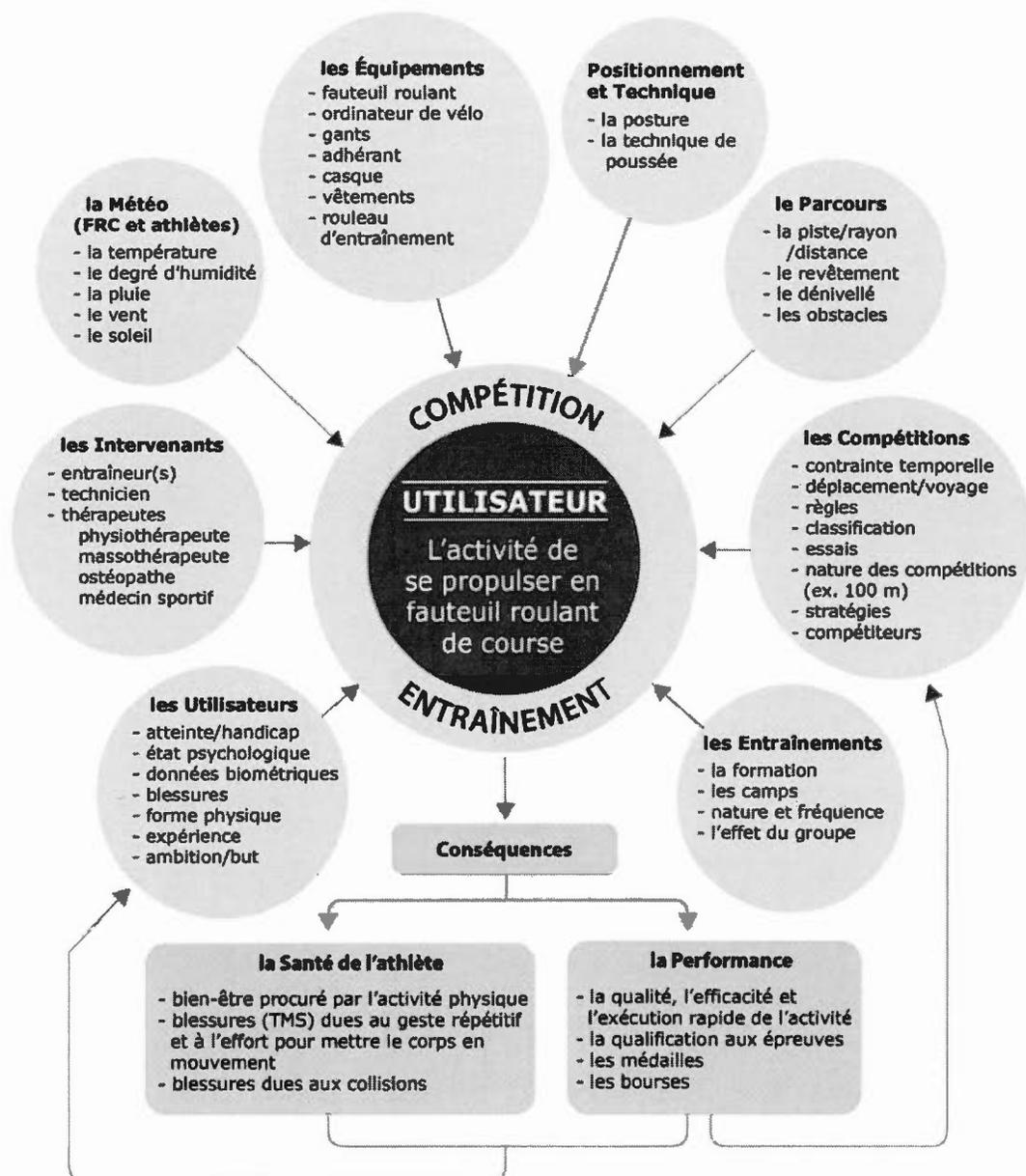


Figure 3-1 : Les déterminants (conditions) qui modulent l'activité des athlètes en FRC

\* Schéma inspiré et adapté de Guérin et al., 2007.

### 3.3. L'apport de la biomécanique pour compléter l'analyse de l'activité

Mason (2013) schématise une variante du modèle qui soulève lui aussi la complexité des différents facteurs influençant la performance et la santé de la propulsion en FRC (Figure 3-2). Il inclut l'apport de la biomécanique qui se traduit entre autres par l'évaluation de l'activité musculaire, de l'énergie transférée au FRC et de celle consommée par l'athlète. Pour notre étude, l'énergie transférée par l'athlète au FRC vient appuyer l'analyse de son rapport avec l'énergie consommée par la friction à chaque poussée. L'évaluation de l'activité musculaire n'est pas abordée, car elle nécessite une expertise que nous ne possédons pas et qu'elle dépasse le champ de cette recherche. L'analyse de l'activité, qui est pertinente pour comprendre l'athlète dans son environnement, n'offre pas un cadre suffisant. La biomécanique est alors nécessaire, car le sport fait appel à des règles qui sont différentes de celles des milieux de travail industriels. L'approche multidisciplinaire revêt donc l'importance d'intégrer la biomécanique et d'analyser le geste en laboratoire avec des instruments de mesure précis permettant de quantifier des observations qualitatives.

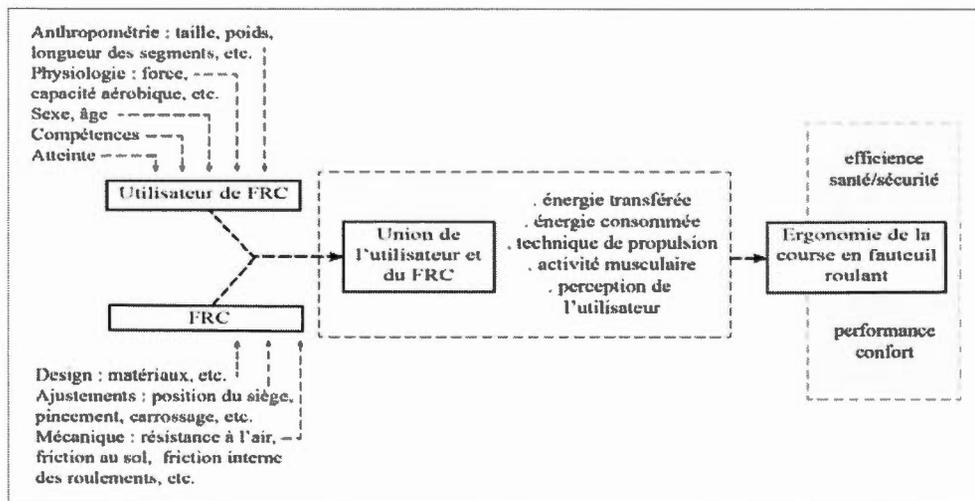


Figure 3-2 : Facteurs déterminants l'activité de se propulser en FRC selon Mason (2013)

Crédits : adapté et traduit avec l'autorisation de Springer via RightsLink.

### 3.4. Conclusion du cadre théorique de l'étude

Les modèles de Guérin et al. (2007) et St-Vincent et al. (2011) suggèrent une approche ergonomique stipulant qu'étudier l'utilisateur au cœur de son activité aide à mieux le comprendre. Il faut l'interviewer et l'observer sur les lieux et dans les différentes situations qu'il rencontre pour dresser la liste des déterminants qui influencent directement son activité et modulent ses stratégies, gestes et modes opératoires, et connaître les raisons qui motivent l'utilisation de certains gestes plutôt que d'autres. Il est essentiel de documenter les éléments de variabilité et les contraintes qui les caractérisent et qui caractérisent le contexte dans lequel ils évoluent. Vézina (2011) montre l'importance d'une approche multidisciplinaire élargie avec l'ergonomie alors que Mason (2013) confirme que l'intégration de la biomécanique permet d'avantager l'approche ergonomique. Ainsi, l'approche multidisciplinaire revêt donc l'importance d'intégrer la biomécanique pour analyser finement le geste en laboratoire avec des instruments de mesure précise alors que l'approche ergonomique, qui traite des conditions influençant la réalisation de cette activité, est pertinente pour bien comprendre le geste dans sa globalité, et par conséquent, de mieux diriger les paramètres de conception d'une éventuelle RI qui sera utile pour continuer à évaluer et investiguer ce geste.



## CHAPITRE 4

### OBJECTIFS DE LA RECHERCHE

L'objectif général de cette étude ergonomique et biomécanique est d'enrichir la compréhension de l'interaction entre l'athlète et son FRC. Plus spécifiquement i) identifier les principaux déterminants de l'activité qui modulent la variabilité des gestes déployés pour propulser le fauteuil ainsi que leurs conséquences sur la performance et la santé des athlètes, ii) investiguer le geste et caractériser les efforts de l'athlète/utilisateur, iii) déterminer les paramètres de conception d'une éventuelle RI ayant les caractéristiques appropriées pour que les intervenants, chercheurs et athlètes puissent évaluer et investiguer ce geste avec plus de précision et selon les conditions d'exécution de l'activité et la nature des modes opératoires déployés réellement en situation effective d'entraînement ou de course, iv) puis formuler des recommandations pour le milieu sportif en FRC et celui de la recherche.

#### 4.1. Identifier les principaux déterminants de l'activité qui modulent la variabilité des gestes en FRC

Cet objectif vise à identifier les principaux déterminants de l'activité qui modulent la variabilité des gestes déployés pour propulser le fauteuil ainsi que leurs conséquences sur la performance et la santé des athlètes dans un contexte d'entraînement et de compétition. Les objectifs spécifiques sont :

#### 4.1.1. Caractériser le contexte et l'environnement physique de la course

Décrire et mieux comprendre la nature du contexte réglementaire, financier et organisationnel dans lequel évoluent les athlètes en FRC, la nature des entraînements ainsi que la variabilité des conditions d'exécution de l'activité de compétition ou d'entraînement, notamment les environnements physiques comme les parcours et la variabilité des distances et surfaces de roulement, etc., et les environnements climatiques comme le travail à la chaleur, sous la pluie, au froid, etc., afin d'expliquer l'impact de ces facteurs sur la performance du geste de propulsion du FRC et les risques d'accidents ou d'incidents.

#### 4.1.2. Caractériser les fauteuils de course et les équipements

Analyser l'influence de différents paramètres liés aux équipements comme la forme du fauteuil, le type de pneus et leur pression, le type, l'angulation et le pincement des roues arrière, les dimensions et l'éloignement de la MC, le type de gants portés, etc., sur l'activité et les modes opératoires des athlètes, notamment l'adoption de postures contraignantes et les efforts sollicités, et sur l'efficacité du geste comme les cadences, accélérations et vitesses maximales atteintes.

#### 4.1.3. Caractériser la variabilité des athlètes

Identifier comment différents paramètres de variabilité inter et intra-individuelle comme le type de handicap ou d'atteinte, les dimensions corporelles de l'athlète, ses ambitions, sa forme physique, ses blessures, etc., peuvent influencer l'activité et les modes opératoires qu'ils déploient pendant la course ou l'entraînement.

#### 4.1.4. Caractériser les rôles et besoins des intervenants pour accompagner les athlètes

Identifier d'abord les principaux intervenants (entraîneurs, techniciens et professionnels de la santé) qui gravitent autour de l'athlète, puis préciser leurs rôles et leur implication, les enjeux de performance et les critères d'apprentissage du geste et facteurs menant à cette performance, les connaissances et équipements à leur disposition pour accompagner les athlètes, et finalement, connaître les interactions qu'ils pourraient avoir avec une RI et leurs besoins en information pour mieux aider les athlètes.

#### 4.2. Investiguer le geste et caractériser les efforts de l'athlète/utilisateur de FRC

Cet objectif vise à voir et comprendre si certains modes opératoires engendrent des conséquences négatives sur la performance des athlètes ou pourraient se traduire par des inconforts ou des TMS aux membres supérieurs dans un contexte d'entraînement ou de compétition. Les objectifs spécifiques sont :

##### 4.2.1. Documenter et analyser la variabilité des modes opératoires déployés

Dresser un inventaire des postures types sur le FRC et expliquer l'impact ou les raisons qui justifient à différents moments l'adoption de certains modes opératoires comme l'inclinaison et le balancement du tronc, le transfert de force, la symétrie ou l'asymétrie du geste, la fréquence des poussées, le patron du cycle, etc., afin de fournir des paramètres réalistes permettant d'enrichir les représentations qu'ont les intervenants, chercheurs et athlètes sur le geste de propulsion en FRC et afin d'identifier comment ils permettent ou non aux athlètes de propulser leur FRC selon le but recherché par l'action et la performance souhaitée.

Décrire finement les techniques de poussée déployées par les athlètes/utilisateurs en FRC, notamment la prise de la MC, ainsi que la nature de la modulation des phases de

propulsion dans les différentes situations de conduite (accélération, régime constant - plateau, décélération).

Identifier les modes opératoires contraignants ainsi que les stratégies de régulation, d'économie et de préservation de la santé enseignées ou utilisées par les athlètes.

Déterminer les forces maximales déployées lors de la propulsion du FRC afin de mieux guider l'utilisation des outils de laboratoire et seconder la sélection des cellules de force d'une RI.

#### 4.3. Déterminer des repères de conception d'une roue de FRC instrumentée

Cet objectif vise à établir des repères de conception d'une RI de FRC répondant aux conditions d'exécution de l'activité et aux besoins des intervenants, chercheurs et athlètes souhaitant évaluer et investiguer les modes opératoires concrètement déployés lors de la propulsion du fauteuil. Les objectifs spécifiques sont :

##### 4.3.1. Évaluer l'efficacité du design et la convivialité de la SmartWheel

Identifier les forces, faiblesses et défauts des différentes caractéristiques de la SmartWheel actuelle et des limites liées à son utilisation.

##### 4.3.2. Élaborer des repères de conception d'une roue instrumentée pour FRC

Formuler et catégoriser des repères guidant la conception d'une future RI en meilleure adéquation avec le contexte variable de l'environnement, la nature des entraînements et l'activité et les besoins des athlètes/utilisateurs, des entraîneurs, des professionnels et des chercheurs qui souhaiteraient investiguer le geste de propulsion en FRC.

#### 4.4. Formuler des recommandations pour le milieu sportif en FRC et celui de la recherche

Cet objectif vise à formuler aux athlètes et aux intervenants du milieu sportif en FRC, des recommandations permettant d'améliorer les conditions d'exécution de l'activité des athlètes en FRC et à identifier des perspectives de recherches futures pour le milieu de la recherche, spécialement sur la biomécanique du geste de propulsion en FRC.



## CHAPITRE 5

### MÉTHODOLOGIE

Compte tenu de la problématique et des objectifs fixés pour cette recherche, l'approche préconisée se base à la fois sur des données qualitatives et quantitatives issues d'une analyse ergonomique sur le terrain et d'une analyse biomécanique en laboratoire.

#### 5.1. Analyse ergonomique de l'activité en situations effectives de compétition et d'entraînement

(Objectifs spécifiques 4.1.1, 4.1.2, 4.1.3, 4.1.4, et 4.2.1)

Sommairement, l'analyse ergonomique a été effectuée sur le terrain lors de situations de compétitions et d'entraînements<sup>6</sup>. Comme le calendrier des compétitions tirait à sa fin au moment du démarrage de l'étude, l'analyse a consisté d'abord à faire i) des observations préliminaires en situation de compétitions, ii) à interroger les entraîneurs et intervenants, puis iii) à faire une analyse systématique de l'activité des athlètes en FRC lors de situations effectives d'entraînements à l'extérieur et en salle sur rouleaux, dont des entretiens dirigés et des entretiens d'autoconfrontation avec ces athlètes, un relevé de FRC et un protocole d'analyses fines du geste de propulsion en milieu écologique (piste et salle d'entraînement). Les situations d'activités se sont déroulées du 30 avril 2016 au 10 janvier 2017. Le Tableau 5-1 présente une synthèse de l'ensemble des situations d'activités observées, notamment les lieux, natures, contextes et observables,

---

<sup>6</sup> Tous les entretiens, observations et autoconfrontations ont été menés par la même personne.

l'intensité de la propulsion, les types de prises vues, les collectes, et leur durée.  
L'ensemble de la méthode se détaille comme suit (Tableau 5-1) :

Tableau 5-1 : Situations d'activités observées pour l'étude ergonomique, sur le terrain et en laboratoire.

#	Athlète	Lieu	Protocole méthodologie	Observables	Intensité de propulsion	Type de prise de vue	Durée
S1 à S4	Entraîneurs Intervenants		Dir EI	Expérience, Aspects technique Etc.	n/a	(audio)	2 à 3h
S5	100	P GV	Obs Pr	Exploration et milieu	Moyenne	n/a	½ journée
S6	Tous (n=12)	P US	Obs Pr	Exploration et milieu	Maximale	n/a	journée
S7	110	P BL	Ent Xt	Regard, cadence et direction	Moyenne et élevée	GP FRC	40 m
S8	100	P GV	Ent Xt	Regard, cadence et direction	Moyenne et élevée	GP FRC	2 x 25 m
S9	100	P BL	Ent Xt	Regard, phases et cadence	Moyenne	GP PARA	1 x 120 s
S10	101	P BL	Ent Xt	Regard, cadence et direction	Moyenne	GP FRC	2 x 120 s
S11	100 110	P GV	Ent Xt	Regard, cadence Direction, tech. de poussée, stratégie	Moyenne et élevée	GP FRC + En parallèle avec vélo	2 x 15 s
S12	100	P BL	Ent Xt	Regard, cadence et direction	Moyenne	GP FRC	1 x 120 s
S13	101	P BL	Ent Xt	Regard, cadence et direction	Moyenne	GP FRC	2 x 120 s
S14	109	R CE	Ent Int Rel FRC	Cadence, posture et tech de poussée	Moyenne et élevée	GP TR : PD3 AR6	4 x 60 s
S15	107	R CE	Ent Int Rel FRC	Cadence, posture et tech de poussée	Moyenne et élevée	GP TR : toutes IP : F12 AR6	15 x 15 s
S16	100	R CE	Ent Int Rel FRC	Cadence, posture et tech de poussée	Moyenne et élevée	GP TR : PG9 D5 IP : PD3 AR6	5 x 15 s
S17	109	R CE	Ent Int	Cadence, posture et tech de poussée	Moyenne et élevée	GP TR : D5 G7 IP : PG9 PD3	5 x 15 s
S18	101	R CE	Ent Int Rel FRC	Cadence, posture et tech de poussée	Moyenne et élevée	GP TR : toutes IP : toutes	26 x 15 s
S20	100	R CE	Ent Int	Cadence, posture et tech de poussée	Moyenne et élevée	GP TR : toutes IP : toutes	25 x 15 s
S21	110	R CE	Ent Int	Cadence, posture et tech de poussée	Moyenne et élevée	GP TR : toutes IP : toutes	24 x 15 s
S22	107	R CE	Ent Int	Cadence, posture et tech de poussée	Moyenne et élevée	GP TR : G7 G11 D2 D4 D5 IP : AR6	6 x 15 s
S23	109	R CE	Ent Int	Cadence, posture et tech de poussée	Moyenne et élevée	GP TR : toutes IP : toutes	17 x 15 s

#	Athlète	Lieu	Protocole méthodologie	Observables	Intensité de propulsion	Type de prise de vue	Durée
S24	100	R CE	Ent Int	Cadence, posture et tech de poussée	Moyenne et élevée	GP TR : G7 G8 G10 G11	4 x 30 s
S25	107	R CE	Ent Int	Cadence, posture et tech de poussée	Moyenne et élevée	IP : FR12 AR6	2 x 60 s
S26	100	R CE	Ent Int	Gants	n/a	IP	1 x 60 s
S27	110	R CE	Ent Int Rel FRC	Entrée dans le FRC	n/a	IP : FR12	2 x 60 s
S28	112	R CE	Ent Int Rel FRC	Cadence, posture, Tech. + entrée FRC	Moyenne et élevée	GP TR : toutes IP : toutes	22 x 15 s 1 x 60 s
S29 à S34	Tous les athlètes		Dir At	Techniques Etc.	n/a	audio	1 à 2h
S35 à S40	Tous les athlètes		Auto	Techniques Rétroaction	n/a	audio	1 à 2h
S41	101;	RL LB	Ess Lab	Cadence, posture et	66%, Maximale et	IP TR PD et OPT	1 x 120 s
S42	110;		Rel Lab	Tech. de poussée +	3 postures fixes		1 x 45 s
S43	112;			Positionnement 3D			3 x 30 s
S45	109;			des marqueurs.			
S46	107						

\* Consulter la Figure 5-1 pour visualiser le positionnement des caméras en situation d'entraînement et la Figure 5-4 pour le positionnement des caméras et appareils en laboratoire.

\*\* Les situations d'activités se sont déroulées du 30 avril 2016 au 10 janvier 2017, et les collectes en laboratoire du 20 février au 27 mars 2017.

#### Légende des lieux :

*P GV = Piste Gilles-Villeneuve du Parc Jean-Drapeau, Île Notre-Dame, Montréal*

*P BL = Piste Ben Leduc, parc Marcel-Laurin, Montréal*

*P US = Piste de l'Université de Sherbrooke, Sherbrooke*

*R CE = Rouleau, Centre d'entraînement du Club St-Laurent Sélect, parc Marcel-Laurin, Montréal*

*RL LB = Rouleau instrumenté, Laboratoire Pathokin, CIUSSS, Pavillon Gingras-Lindsay, Montréal*

#### Légende des prises de vue avec caméras :

*GP FRC = GoPro sur potence du FRC*

*GP PARA = GoPro sur un FRC roulant en parallèle avec le FRC observé (plan sagittal de l'athlète)*

*GP TR = GoPro sur trépied avec éclairage d'appoint*

*IP = iPhone manuel*

*F12 = Position frontale à midi*

*D2 = Position à droite du FRC (à 2 h)*

*PD3 = Position perpendiculaire au FRC - à droite (à 3 h)*

*AR6 = Position à l'arrière du FRC (à 6h)*

*G8 = Position à gauche du FRC (à 8 h)*

*PG9 = Position perpendiculaire au FRC - à gauche (à 9 h)*

*IP TR PD = iPhone sur trépied perpendiculaire au FRC*

*OPT = Caméras infrarouges OptoTrak*

*Légende des protocoles en lien avec la méthodologie :*

*Obs Pr = Observation préliminaire*

*DirEI = Entretiens dirigés avec entraîneurs et intervenants*

*Ent Ex = entraînements à l'extérieur*

*Ent Int = entraînements à l'intérieur*

*Relv FRC = relevés de FRC*

*Dir At = entretiens dirigés avec athlètes*

*Auto = autoconfrontation*

*Rel Lab = relevés anthropométriques et FRC en laboratoire*

*Ess Lab = essais en laboratoire*

*Légende des intensités de propulsion :*

*Moyenne = vitesse et cadence équivalant à moins de 66% de ce que l'athlète peut fournir*

*Élevée = vitesse et cadence équivalant à plus de 66% de ce que l'athlète peut fournir*

*Maximale = vitesse et accélération d'un sprint (ex. 100m)*

### 5.1.1. Observations préliminaires en situation de compétitions

#### 5.1.1.1. Déroulement :

Afin de mieux comprendre les environnements dans lesquels évoluent les athlètes de FRC, deux événements distincts ont été observés, soit une course de 10 km durant l'événement Défi Sportif Altergo à la piste Gilles-Villeneuve de l'Île Notre-Dame à Montréal et une journée de compétitions provinciales mixtes d'athlétisme au complexe sportif extérieur de l'université de Sherbrooke. Un relevé a été effectué sur l'organisation des lieux et des compétitions, les conditions climatiques, les équipements et surfaces de roulement, les intervenants, la place de l'athlète, son espace d'intervention et sa relation avec ses concurrents (trois clubs de parathlétisme), etc.

Cette analyse a permis de mieux préparer l'observation des situations d'entraînement et les plans d'entrevues.

#### 5.1.1.2. Participants :

Douze athlètes et trois entraîneurs des trois clubs de parathlétisme québécois ont été observés sur une base volontaire lors des compétitions (Club St-Laurent Sélect de Montréal, Club Athlétisme Sherbrooke, Club Athlétisme de Québec).

#### 5.1.1.3. Instrumentation :

Les observations ont été recueillies principalement avec la prise de notes manuscrites.

#### 5.1.1.4. Traitement des données :

Les données recueillies ont été consignées dans un tableur Excel et catégorisées pour mettre en perspective ce qui conditionne l'activité de s'entraîner et de courser en FRC, la variabilité des athlètes ainsi que la variabilité d'un environnement à l'autre (pistes matelassées en caoutchouc, asphalte, dénivelés, etc.).

### 5.1.2. Entretien dirigés avec les entraîneurs et intervenants

#### 5.1.2.1. Déroulement :

Les entraîneurs et intervenants ont été interrogés sur : (1) l'activité des utilisateurs de FRC pour documenter leur représentation du contexte réglementaire, financier et organisationnel; (2) les critères d'efficacité et de performance des athlètes récréatifs et élites; (3) l'aspect technique et innovant des équipements et la personnalisation des FRC; (4) leur expérience et leur formation sur la prévalence des blessures et des TMS aux membres supérieurs (tendinite, tendinose, déchirure de la coiffe des rotateurs de l'épaule, microfracture de stress au poignet), leurs nature, fréquence et degré; (5) les liens possibles entre les blessures, les techniques et le type de compétitions pratiquées; (6) le retour à la pratique du sport après une blessure; (7) leur participation et

engagement aux compétitions paralympiques, nationales et locales; (8) la nature des entraînements ainsi que la variabilité des conditions d'exécution de l'activité de compétition ou d'entraînement; etc. Les données ont servi de référence pour l'analyse fine du geste de propulsion des athlètes et les entrevues dirigées avec les athlètes.

#### 5.1.2.2. Participants :

Quatre intervenants (deux d'entre eux cumulant plus d'un profil différent) ont été interviewés : (1) deux entraîneurs, un ayant une formation en kinésiologie; (2) un médecin sportif, recruté pour son expérience et sa formation sur la prévalence des blessures et TMS, et sa participation et son engagement de longue date aux compétitions paralympiques, nationales et locales; (3) deux techniciens (un combinant le profil d'orthésiste, les deux celui d'ancien athlète) pour l'aspect technique et innovant des équipements, et la personnalisation des FRC; (4) un ancien athlète, pour son recul et son expérience d'utilisateur. Tous ont été sélectionnés pour leur connaissance des critères d'efficacité et de performance des athlètes récréatifs et élites.

#### 5.1.2.3. Instrumentation :

Les entretiens dirigés se sont déroulés dans un endroit privé et ont été recueillis à l'aide d'une enregistreuse numérique posée sur la table et d'une grille de questions. Le plan d'entrevue figure à l'annexe C.

#### 5.1.2.4. Traitement des données :

L'écoute des bandes sonores a permis de compiler et de catégoriser (tableur Excel et document Word) les informations récoltées selon les déterminants de l'activité et les conditions d'exécution du geste, notamment l'expérience des interviewés, la pratique du sport, les stratégies de course, les blessures et une description du geste de propulsion et de sa variabilité.

### 5.1.3. Analyse systématique de l'activité des athlètes en FRC lors de situations effectives d'entraînements (à l'extérieur et en salle sur rouleaux)

Les entraînements effectifs ont été monitorés dans les buts de relever les paramètres techniques des FRC, de répertorier les différentes situations d'entraînement, et d'analyser finement le geste de se propulser. Le protocole d'analyse repose sur : i) des observations filmées à l'extérieur, en piste et sur rouleaux; iii) un relevé des FRC; iv) des entretiens dirigés; v) des entretiens d'autoconfrontation. Ces protocoles ont tous été administrés par la seule et même personne, soit l'auteur du mémoire.

#### 5.1.3.1. Participants :

Six athlètes de gabarit, déficience, incapacité et sexe différents, soit un peu moins de la totalité des athlètes de parathlétisme de la région de Montréal, ont été sélectionnés pour les observations, les entrevues dirigées, les relevés de FRC et les séances d'autoconfrontation. Le recrutement a été réalisé de concert avec l'entraîneur en chef du Club d'athlétisme Saint-Laurent Sélect parmi les athlètes qu'il supervise. Nous avons tenté de recruter un athlète de chaque catégorie et chaque sexe. Tous ceux disponibles concourent dans les catégories T34, T53 et T54, ce qui signifie qu'ils ont tous un contrôle presque total des membres supérieurs, mais avec différents niveaux de contrôle des abdominaux (T34 contrôle partiel à total, T53 pas de contrôle des abdominaux, T54 contrôle partiel à total). Le Tableau 5-2 décrit les principales caractéristiques des athlètes ayant participé aux entrevues et à la recherche.

*Tableau 5-2 : Description des athlètes participant à la recherche*

*Caractéristiques anthropométriques, classification, objectifs, description sommaire des atteintes, résultats officiels*

athlète	100	101	107	109	110	112
Classification	T-53	T-53	T54	T54	T34	T54
Sexe	♀	♀	♂	♀	♂	♂
Nature de l'atteinte	Paraplégie T3 AIS B scoliose	Paraplégie T6 AIS A	Poliomyélite	Paraplégie T10 AIS B	Paralysie cérébrale Dysplasie spastique	Amputé tibial
Poids (kg)	n/d	57,2	59,4	52,7	75,2	71,4

athlète	100	101	107	109	110	112
Taille (m)	n/d	1,61	1,64	1,60	1,71	1,74
Périmètre pectoral au niveau du buste (mm)	n/d	915	930	920	985	1015
Long. des bras du centre de l'épaule au processus styloïde ulnaire (mm)	n/d	533	580	545	569	560
Contrôle des abdominaux et dorsaux	partiel	partiel	total	total	total	total
Contrôle des bras, limitations	total	presque total bras gauche légère faiblesse	presque total bras droit légère faiblesse	total	total	total
Asymétrie gauche/droite (autoreportée)	n/a	épaule g. affaiblie	n/a	n/a	n/a	n/a
# années de pratique du sport	10	2	5	5	2	12
Nature des compétitions	régional national internat	régional	régional	régional national	régional national	national international Jeux Paralympiques
Catégorie, ambition de l'athlète	élite Tokyo 2020	récréatif aime la compétition	récréatif participer au max. de compétition	Intermédiaire atteindre les standards canadiens	élite Tokyo 2020	élite Tokyo 2020 marathon
Spécialités sportives	100, 200, 400m	100, 200, 400m	100, 200, 400, 800m	100, 200, 400m	100, 200, 400m	400, 800, 1500m
Résultats officiels en compétition (minutes; secondes; centièmes)						
100 m	19 :61	27 :27	20 :26	21 :32	17 :69	15 :41
200 m	34 :62	-	36 :52	38 :22	30 :61	-
400 m	1 :04 :51	-	1 :17 :81	1 :13 :56	57 :06	48 :18
800 m	-	-	2 :34 :39	2 :41 :18	2 :05 :37	1 :39 :73
1500 m	-	-	5 :26 :78	-	3 :48 :61	3 :21 :73

Critères d'inclusion : Personne s'entraînant à la course en fauteuil roulant depuis au moins 3 mois et possédant son propre FRC (propriété ou prêt).

Critères d'exclusion : Présence de blessure ou de douleur pouvant interférer avec la technique de propulsion; présence de trouble cognitif ou de communication pouvant interférer avec les interactions lors des entrevues.

Gestion de la confidentialité : Les mesures prises pour assurer la confidentialité des participants et des documents archivés sont décrites en détail à l'appendice A

Observations en situation d'entraînements extérieurs

#### 5.1.3.2. Déroulement :

Les observations en situation d'entraînements extérieurs se sont déroulées au circuit Gilles-Villeneuve du Parc Jean-Drapeau de l'Île Notre-Dame et à la piste Ben-Leduc du Parc Marcel-Laurin (tous deux à Montréal) pour assurer un contexte écologique. À l'aide d'une caméra fixée sur la potence (devant du guidon) de leur FRC et filmant l'athlète de face, ou sur le FRC d'un autre athlète ou le vélo d'un membre de l'équipe de chercheurs (sur asphalte seulement), tous deux roulant en parallèle et filmant l'athlète perpendiculairement, les observations du geste de propulsion portaient sur les regards sur piste, la symétrie des poussées, le positionnement dans le FRC, la cadence des poussées, les stratégies de récupération, la posture des utilisateurs, etc. Chaque athlète devait réaliser son programme d'entraînement habituel. La durée des séquences équivalait à un tour de piste de 400 m ou un parcours de 6 km selon le lieu. Des notes explicatives ont été prises tout au long de la séance par la même personne. Le Tableau 5-1 présente les situations d'activités observées.

#### 5.1.3.3. Instrumentation :

Les athlètes ont été filmés avec une caméra de type GoPro™ à haute fréquence d'images par seconde (240 images/s - fps) munie d'une lentille grand-angle. Un carnet a permis de consigner des notes (papier/crayon).

#### 5.1.3.4. Traitement des données :

Un premier visionnement des vidéos a été effectué pour dresser une liste d'observables selon une série de critères : la symétrie ou l'asymétrie du geste; la fréquence des poussées; le patron du cycle; les différentes phases de poussée; les membres impliqués

lors du contact avec la MC; etc. Les vidéos étant obtenues avec une caméra à grand-angle non calibrée, aucune mesure cinématique n'a pu être prise. Toutefois, nous avons produit une chronique des événements à partir de ces prises. Des photographies ont été extraites des captures vidéo pour obtenir un portrait de la variété de gestes déployés lors de la course selon différentes conditions (en accélération, au repos, en dirigeant le fauteuil, types de gants, types de roue arrière et de MC, position de l'athlète sur le fauteuil, etc.). Un tableur a été produit pour consigner toutes les observations selon les conditions qui modulent l'activité. Il contenait les éléments observés, leurs conséquences sur l'activité, ainsi que la liste des moyens disponibles ou à produire pour les démontrer (citation, témoignage, photo, tableau, schéma, figure, etc.). Plus d'une centaine d'éléments ont été consignés avant tri.

Observations en situation d'entraînement en salle sur rouleaux

#### 5.1.3.5. Déroulement :

Les situations d'entraînement en salle sur rouleaux ont été filmées au Centre d'entraînement du Club St-Laurent Sélect à l'aide de deux caméras recueillant les plans libres à l'avant et à l'arrière du FRC et les plans centrés sur la technique de poussée, près des roues arrière. La durée d'enregistrement a été déterminée en fonction de la disponibilité des athlètes durant les entraînements d'environ 45 minutes. Comme le cycle d'exécution du geste est très court ( $\pm 0,5$  s), en moyenne 15 à 20 séquences de  $\pm 15$  secondes chacune ont été filmées. Les caméras étaient fixées sur un trépied avec une source d'éclairage d'appoint, la fréquence élevée nécessitant beaucoup de lumière. Différentes prises de vue ont permis de capter le geste sous plusieurs angles (Figure 5-1). Le Tableau 5-1 présente les situations d'activités observées.

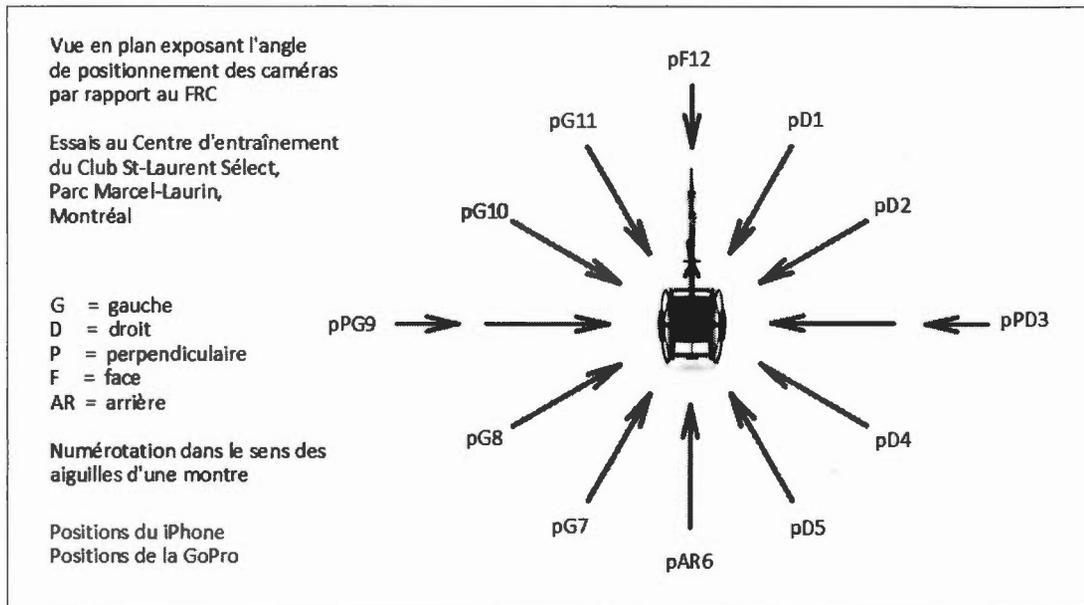


Figure 5-1 : Plan du positionnement des caméras au centre d'entraînement

#### 5.1.3.6. Instrumentation :

L'instrumentation est identique aux observations en situation d'entraînements extérieurs à l'exception que les athlètes ont également été filmés avec une caméra vidéo Samsung Galaxy 5 (fréquence de capture à 120 images/s) pour les plans libres à l'avant et à l'arrière du FRC et que les plans étaient centrés sur la technique de poussée près des roues arrière.

#### 5.1.3.7. Traitement des données :

Le traitement des données est identique aux observations en situation d'entraînements extérieurs.

## Relevé des fauteuils roulants de course (FRC) et leurs particularités

### 5.1.3.8. Déroulement :

Les paramètres de chaque FRC des athlètes observés en situation d'entraînement sur pistes ou sur rouleaux ont été relevés sur le plan de leur hauteur, longueur, largeur au sol, largeur d'ouverture du siège, carrossage des roues, pincement des roues arrière (cf. section 2.4), diamètre hors-tout et diamètre sectionnel des mains courantes. Un relevé photographique a permis de caractériser les particularités de chaque FRC, notamment la forme, couleur, garnitures, revêtement, équipements et composants utilisés ou ajoutés, etc.

### 5.1.3.9. Instrumentation :

Les FRC ont été relevés à l'aide d'un ruban à mesurer, d'un niveau électronique, d'un pied à coulisse et d'un outil de calibrage du pincement des roues fabriqué pour l'occasion et permettant de cibler les points qui se situent au même niveau que le centre de l'essieu des roues arrière, points nécessaires au calcul du pincement ou de l'ouverture (Figure 5-2).

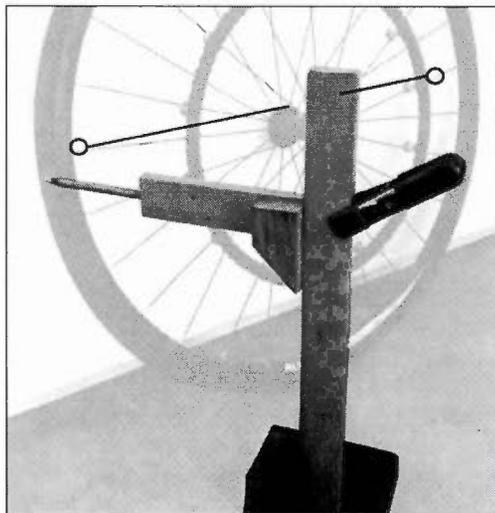


Figure 5-2 : Outil de calibrage du pincement des roues

#### 5.1.3.10. Traitement des données :

Les données des relevés sur les FRC ont été consignées dans un tableur Excel pour en permettre l'analyse et la comparaison, et faire de possibles liens avec la variabilité des gestes (cf. Tableau 5-1). Elles sont les dimensions des roues et des pneus, les dimensions de la MC, l'angulation et le pincement des roues arrière.

Les entretiens dirigés avec les athlètes

#### 5.1.3.11. Déroulement :

Les entretiens dirigés se sont déroulés après les séances d'entraînement hebdomadaires et ont été administrés individuellement, en privé, au Centre d'entraînement du Club d'athlétisme St-Laurent Sélect (parc Marcel-Laurin, 2345, boul. Thimens, Montréal, QC, H4R 1T4). L'entretien a porté sur leur pratique du sport, leur motivation, leur formation, les programmes d'entraînement, l'état des surfaces et des FRC, le type de gants utilisé, la technique de poussée pratiquée, etc. La grille d'entrevue figure à l'annexe C.

#### 5.1.3.12. Instrumentation :

Les verbalisations ont été recueillies avec une enregistreuse numérique posée sur la table et menées à l'aide d'une grille de questions.

#### 5.1.3.13. Traitement des données :

L'écoute des bandes sonores a permis de compiler et catégoriser (tableaux et document Word) les informations récoltées suivantes : les caractéristiques personnelles de l'athlète, sa santé en lien avec la pratique du sport, les caractéristiques de son FRC, le type de gants utilisé, les techniques de poussée et de direction, les stratégies en course, ses projections d'avenir, etc. et de préparer une grille d'observation pour les entretiens d'autoconfrontation.

## Les entretiens d'autoconfrontation avec les athlètes

### 5.1.3.14. Déroulement :

Les entretiens d'autoconfrontation avec les athlètes (d'une durée de 60 à 90 m.) se sont déroulés après les séances d'entraînement hebdomadaires au maximum une semaine après l'entrevue dirigée et ont été administrés individuellement, en privé, au Centre d'entraînement du Club d'athlétisme St-Laurent Sélect (parc Marcel-Laurin, 2345, boul. Thimens, Montréal, QC, H4R 1T4). Sur la base des vidéos recueillies en situation d'entraînement entre les premiers entretiens dirigés et l'autoconfrontation, et selon la particularité de chaque sujet, nous avons présélectionné et découpé sur logiciel Adobe Premiere Pro™ des séquences vidéo pertinentes sur les postures et gestes — les captations fines permettant de décortiquer les phases de poussée, les regards et autres observations ayant attiré notre attention — que nous avons présentés individuellement aux athlètes. Nous les avons retenues soit parce qu'elles étaient en adéquation ou en contradiction avec l'enseignement et/ou la littérature. L'appendice C donne un exemple des grilles qui ont été présentées aux athlètes (tableur regroupant les différentes observations, commentaires et explications colligés). Les séquences vidéo présentées variaient de cinq à trente secondes. Une nouvelle séquence était présentée lorsque l'athlète n'avait plus de commentaire à formuler. La durée moyenne des réponses variait de 30 secondes à 5 minutes. Elles ont permis de réunir des témoignages sur les modes opératoires déployés, alors que les athlètes étaient invités à commenter et expliquer les gestes, leur variabilité, et les raisons qui les poussent à adopter ces différents modes.

### 5.1.3.15. Instrumentation :

Les verbalisations ont été recueillies avec une enregistreuse numérique posée sur la table et menées à l'aide d'une grille d'observations préalables à l'entretien d'autoconfrontation. Les séquences vidéo notées dans la grille ont été présentées sur écran d'ordinateur portable 15 po.

#### 5.1.3.16. Traitement des données :

Les verbalisations, commentaires et explications regroupées avec les différentes observations ont été résumés après entrevue et ont bonifié les grilles présentées aux athlètes (tableur Excel), les athlètes ayant apporté des précisions ou fait des démonstrations sur les modes opératoires déployés, les gestes, leur variabilité, et les raisons qui les poussent à adopter ces différents modes.

### 5.2. Analyse biomécanique du geste de se propulser en laboratoire

#### (Objectif spécifique 4.2.1)

Pour compléter et bonifier le volet ergonomique de cette étude, un protocole de collectes en laboratoire a été élaboré pour générer des données quantitatives sur la propulsion en FRC et ainsi mieux évaluer la performance du geste dans différentes situations. Cette méthode se décline selon trois tâches : (i) des relevés anthropométriques de l'athlète et des relevés dimensionnels des FRC en laboratoire; (ii) des essais à 66% de la vitesse maximale de l'athlète, (iii) des essais à effort maximal.

#### 5.2.1. Relevés anthropométriques de l'athlète et relevés dimensionnels des FRC en laboratoire

##### 5.2.1.1. Déroulement

Pour toutes les tâches en laboratoire, les collectes ont eu lieu en février et mars 2017 au Laboratoire de pathokinésiologie du CRIR, pavillon Gingras de l'IRGLM, 6300 avenue de Darlington, Montréal, QC, H3S 2J4. Elles ont été regroupées lors d'une visite d'une durée approximative d'une demi-journée par athlète. La feuille des collectes en laboratoire (annexe D) décrit en détail le protocole.

Pour connaître avec précision les valeurs anthropométriques de chaque athlète, un relevé a été effectué au début de la rencontre (variables au Tableau 5-3), et certaines dimensions des FRC préalablement relevées en salle d'entraînement ont été vérifiées une deuxième fois pour les valider et s'assurer qu'elles n'avaient pas été modifiées depuis : le diamètre sectionnel et hors-tout de la MC, l'écart entre la roue arrière et la MC.

*Tableau 5-3 : Variables anthropométriques et dimensionnelles relevées en laboratoire*

Variables (outils de mesure)
Taille du participant (ruban ou toise)
Longueur verticale du menton au sommet (anthropomètre)
Distance verticale entre D1 et le bas des oreilles (anthropomètre)
Périmètre de la tête au-dessus des oreilles (ruban)
Distance du grand trochanter à l'acromion (ruban)
Périmètre pectoral au niveau des mamelons (ruban)
Périmètre au niveau du nombril (ruban)
Périmètre au niveau des hanches (ruban)
Largeur pectorale au niveau des mamelons, plan frontal (anthropomètre)
Largeur au niveau du nombril, plan frontal (anthropomètre)
Largeur au niveau des hanches, plan frontal (anthropomètre)
Largeur au niveau des épaules : distance inter acromiale hors-tout (anthropomètre)
Longueur du bras dominant : centre de l'épaule au centre du coude (ruban)
Longueur avant-bras, de l'épicondyle latéral au processus styloïde ulnaire (cubital)
Périmètre du bras dominant sous l'aisselle (ruban)
Périmètre maximum du bras dominant au niveau du renflement du biceps (ruban)
Périmètre proximal du coude (ruban)
Distance du centre du poignet à la pointe du doigt #3 (ruban)
Périmètre proximal du poignet (ruban)
Périmètre de la main aux premières jointures (ruban)
Poids de l'athlète (pèse-personne ou pesée pour fauteuil roulant conventionnel)

### 5.2.1.2. Participants

Pour toutes les tâches en laboratoire, les participants aux collectes sont les mêmes que ceux recrutés pour les entretiens dirigés et d'autoconfrontation, ainsi que les situations d'entraînements à l'extérieur et en salle sur rouleaux. L'athlète #100 n'a

malheureusement pas pu participer à ces collectes en raison d'ennuis de santé. Deux ingénieurs de l'Institut de réadaptation Gingras-Lindsay de Montréal (IRGLM) et trois stagiaires de recherche du programme de baccalauréat d'intervention en activité physique de l'UQÀM ont assisté lors des acquisitions en laboratoire.

#### 5.2.1.3. Instrumentation

Les dimensions anthropométriques listées au Tableau 5-3 ont été relevées avec un ruban à mesurer, une toise et un anthropomètre. Le poids des athlètes a été consigné à l'aide d'un pèse-personne et d'une balance pour fauteuil roulant conventionnel. Les relevés sur FRC ont été enregistrés avec un ruban à mesurer, un pied à coulisse et un outil de calibrage du pincement des roues.

#### 5.2.1.4. Traitement des données

Les données anthropométriques et les relevés des FRC ont été classés dans un tableur pour permettre de faire des liens entre la morphologie des athlètes, la MC et les résultats de l'étude.

### 5.2.2. Essai à 66% de la vitesse maximale de l'athlète

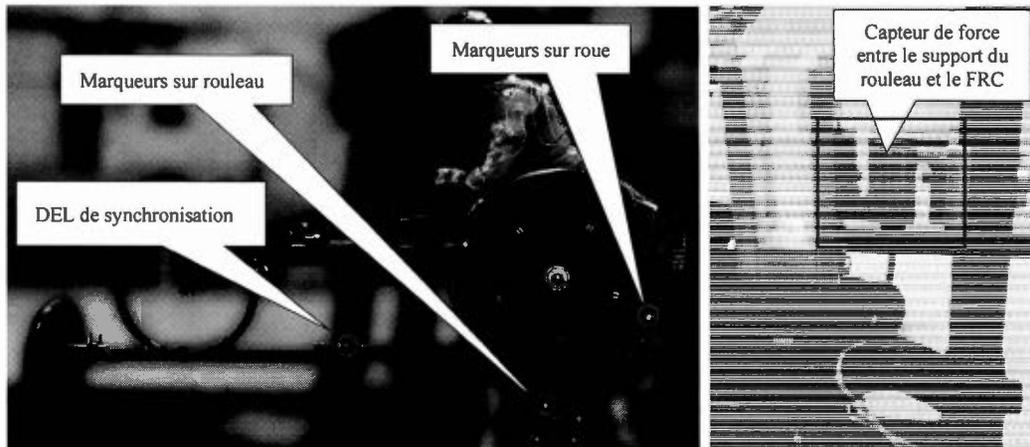
#### 5.2.2.1. Déroulement

Dans le but d'étudier la propulsion à vitesse moyenne, une première acquisition a été faite à une vitesse constante (plateau) pendant 1 minute après une phase d'échauffement enregistrée. La vitesse a été fixée à 66% de la vitesse maximale que l'athlète atteint normalement sur rouleau d'entraînement. Cette vitesse a été fixée après discussion avec l'entraîneur chef du Club St-Laurent Sélect, permettant d'évaluer des conditions constantes pour l'ensemble des athlètes sans générer de la fatigue musculaire rapide, ce qui aurait entraîné des stratégies de compensation. À la fin de la minute, les athlètes devaient ne plus toucher aux roues arrière jusqu'à leur arrêt complet pour modéliser la résistance de roulement générée par l'interface roue/rouleau.

### 5.2.2.2. Instrumentation

L'instrumentation est identique pour les deux essais : 66% et maximal.

Le FRC personnel du participant a été installé sur un rouleau d'entraînement commercial identique à celui qu'il utilise au club d'athlétisme. La pression des pneus arrière a été réglée à 160 lb. Des marqueurs actifs non invasifs ont été installés sur le participant à l'aide de bandes velcro et de ruban adhésif hypoallergène. La Figure 5-3 illustre une installation. Les marqueurs actifs ont été suivis à l'aide de quatre barres Optotrak (NDI) synchronisées. Un capteur de force (Intertechnology Inc., modèle 363-D3-200-20P3, sortie 3mV/V à 200 lb, # série CY2416) a été installé à l'arrière du FRC pour relever la force exercée sur l'axe antéro-postérieur du FRC (axe des x).



*Figure 5-3 : Athlète et FRC instrumenté sur rouleau en laboratoire (g), capteur de force à l'arrière du FRC (dr)*

Deux caméras vidéo synchronisées de type iPhone (fréquence de capture à 240 images/s), alignées perpendiculairement aux FRC et centrées vis-à-vis le milieu des roues arrière, ont été positionnées à 3 mètres de ces dernières pour filmer les participants bilatéralement dans les plans sagittaux (Figure 5-4).

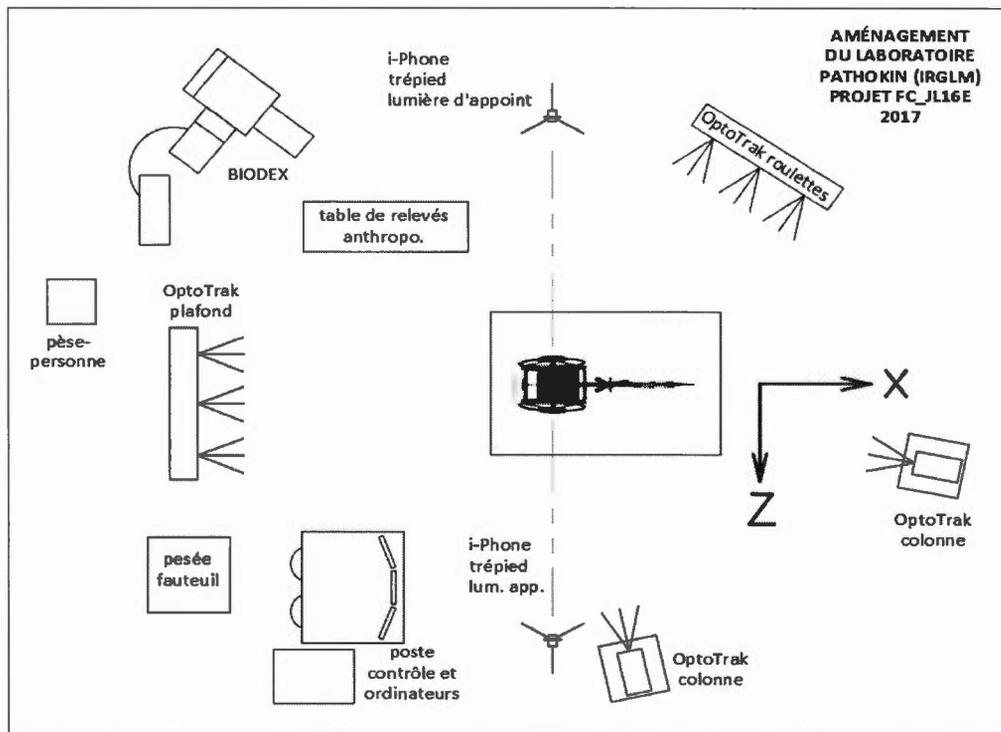


Figure 5-4 : Aménagement du laboratoire Pathokin pour la collecte des données

### 5.2.2.3. Traitement des données

Le traitement des données est identique pour les deux essais (66% et maximal).

Analyse cinématique – Pour ces deux essais, les données vidéo obtenues avec les iPhone ont été analysées avec le logiciel libre de droit Kinovea (Figure 5-5) pour connaître les vitesses, accélérations, cadences de poussée et amplitudes comparées de la phase de recouvrement. Un tableur a été produit pour le calcul des angles approximatifs des segments supérieurs au sommet de la phase de récupération. Les paramètres figurent au Tableau 5-4 et les résultats sont illustrés au Tableau 6-3.

Tableau 5-4 : Paramètres traités à l'aide du logiciel Kinovea pour l'essai maximal

(1) vitesse (m/s et km/h)	- vitesse de la 1 <sup>re</sup> à la 6 <sup>e</sup> poussée (moyenne de 3 lectures avant le contact avec la MC de la poussée suivante) - vitesse à 2, 4, 6, 8, 10, 15 et 20 secondes après le départ (moyenne de 8 lectures sur le cycle correspondant) - vitesse moyenne de 0 à 2, 0 à 4, 0 à 6, 0 à 8, 0 à 10, 0 à 15 et 0 à 20 secondes après le départ
(2) fréquence des poussées (cycle/s)	- fréquence moyenne selon les plages de 0 à 2, 2 à 4, 4 à 6, 6 à 8, 8 à 10, 10 à 15, et 15 à 20 secondes après le départ
(3) accélération (m/s)	- accélération moyenne de la plage selon les plages de 0 à 2, 2 à 4, 4 à 6, 6 à 8, 8 à 10, 10 à 15, et 15 à 20 secondes après le départ

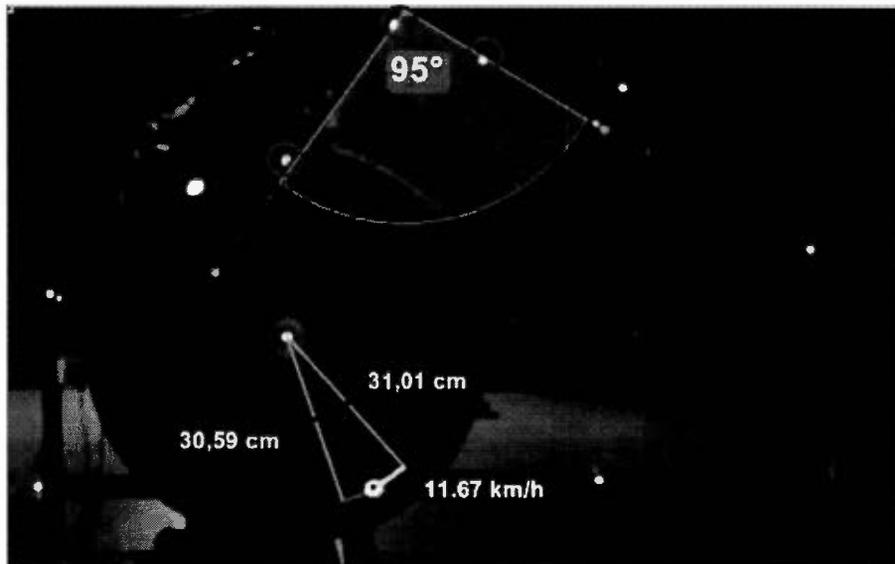


Figure 5-5 : Partie de l'interface du logiciel Kinovea – exemple de calcul de la vitesse moyenne et de l'amplitude articulaire

\*Les points d'ancrage des calculs géométriques correspondent aux marqueurs passifs.

Les points anatomiques préalablement *probés* (sondés) (exemple « Articulation gléno-humérale ») ont été reconstruits à l'aide des triades fixées sur les segments mains, avant-bras, bras, scapulas. Ces données spatiales en trois dimensions (3D) ont été produites selon la procédure usuelle au Laboratoire de pathokinésiologie du CRIR. La reconstruction de ces marqueurs virtuels a été réalisée à l'aide du logiciel Matlab et leur

schématisation à l'aide du logiciel libre de droit Mokka (Figure 5-6). Cette dernière a permis de comparer les patrons du cycle de poussée<sup>7</sup> pour exprimer leur variabilité entre les athlètes. Pour mesurer l'efficacité des poussées, le travail par poussée généré par l'athlète a été estimé et comparé au travail par poussée généré par la résistance de roulement.

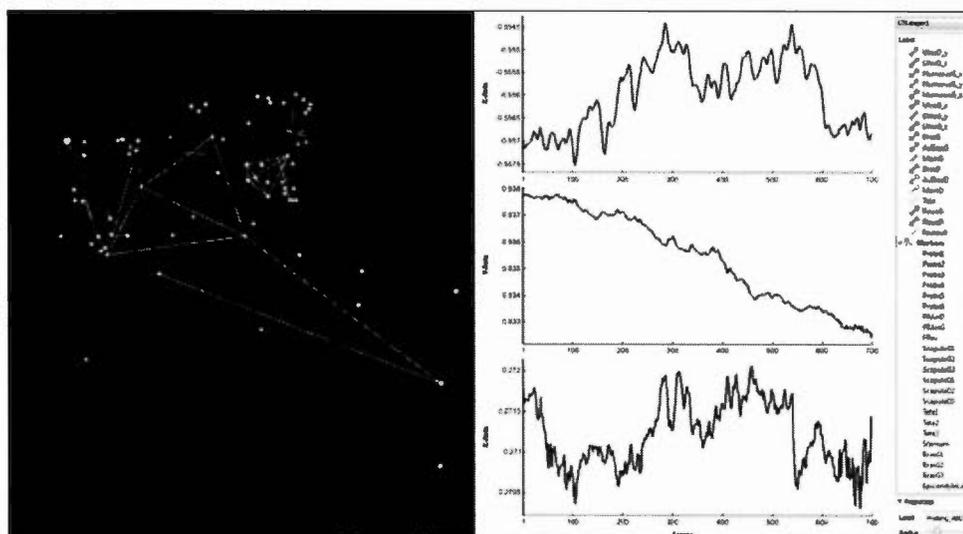


Figure 5-6 : exemple d'interface du logiciel Mokka – visualisation 3D des marqueurs et graphiques associée selon trois axes

Les acquisitions à 66% de la vitesse maximale permettront, dans des travaux subséquents (non-traités dans ce mémoire) de comparer la technique à vitesse contrôlée.

#### 5.2.2.4. Traitement statistique

Ce projet est une étude exploratoire et descriptive, les données ont été interprétées et discutées individuellement, et aucun test statistique n'a été réalisé.

<sup>7</sup> Nous définissons le patron du cycle de poussée par la trajectoire en trois dimensions qu'effectuent les membres supérieurs tout au long des poussées.

### 5.2.3. Essai à effort maximal

#### 5.2.3.1. Déroulement

Afin de simuler une course sprint, après un repos minimal de 5 minutes (selon la forme et les indications du participant), les athlètes déployaient un effort maximal pendant 45 secondes pour atteindre le plus rapidement possible leur vitesse de pointe, la maintenir aussi longtemps que possible, et s'arrêtaient après épuisement ou un maximum de trois minutes de poussée. À titre indicatif, une course de 800 mètres dure normalement 2 minutes. Nous avons choisi 3 minutes pour observer le changement éventuel de technique lors de la fatigue. Les enregistrements ont inclus l'intégralité de la course, du départ arrêté<sup>8</sup> jusqu'à la phase de fatigue finale. Les athlètes ne devaient plus toucher aux roues arrière jusqu'à leur arrêt complet, comme pour l'essai 66%.

#### 5.2.3.2. Instrumentation

L'instrumentation est identique à l'essai à 66% de l'effort maximal de l'athlète.

#### 5.2.3.3. Traitement des données

Le traitement des données est identique à l'essai à 66% de l'effort maximal de l'athlète.

### 5.3. L'analyse critique de la SmartWheel

#### (Objectif spécifique 4.3.1)

Afin d'évaluer les performances et la convivialité de la SmartWheel, un entretien libre a été effectué avec une doctorante du laboratoire de pathokinésiologie du CRIR ayant utilisé cet outil pendant plusieurs mois dans le cadre de travaux de recherche sur la capacité respiratoire des utilisateurs de FR conventionnels. Les principaux thèmes de

---

<sup>8</sup> Un départ "arrêté" fait opposition à un départ "lancé" où l'athlète a déjà atteint une vitesse lorsque des données sont enregistrées et prises en compte.

l'entrevue portaient sur les caractéristiques générales de la RI, ses composants techniques, la nature, la captation, la transmission et l'enregistrement des données, la rétroaction et les outils d'interface.

Une grille de questions a guidé la discussion et les verbalisations ont été recueillies avec une enregistreuse numérique. Les témoignages ont été consignés dans un document Word. L'information recueillie a été synthétisée et regroupée sous deux rubriques : les avantages reconnus; et les difficultés rencontrées avec la SmartWheel.



## CHAPITRE 6

### RÉSULTATS

#### 6.1. Introduction

Si traditionnellement dans une méthode expérimentale nous faisons le constat de chacune des manipulations de l'étude, dans notre cas, l'objectif étant une compréhension globale du geste et des modes opératoires, les éléments de résultats ont forcément été regroupés différemment des familles de méthodes. Nous avons de plus volontairement choisi de présenter et de discuter sommairement de certains points au fur et à mesure dans ce chapitre compte tenu de la quantité et de la variété des résultats, et de la nature de cette étude ergonomique.

La synthèse des résultats qui expriment la grande variabilité des modes opératoires est présentée au Tableau 6-1 et regroupée en six familles : l'interface, l'entraînement, la propulsion, les blessures, le FRC et la RI. Elle permet de visualiser l'ensemble des éléments retenus soit les observables, les conséquences sur la santé et les performances et les impacts sur les paramètres d'une RI. Ce chapitre expose donc les résultats que l'analyse de l'activité en situations effectives de compétition et d'entraînement, l'analyse biomécanique du geste et l'analyse critique de la SmartWheel ont permis de relever. Ils sont : (6.1) la motivation, les rôles et les besoins des entraîneurs, athlètes et intervenants; (6.2) les facteurs environnementaux qui influencent l'athlète et le FRC; (6.3) les techniques, les gestes et les postures variables selon les étapes d'un cycle de propulsion et les moments particuliers d'une course (départ, accélération, plateau); (6.4) l'importance d'une interface athlète/FRC optimale qui est personnalisée pour chaque athlète et les équipements et leur influence sur le geste de propulsion; (6.5) les

avantages et difficultés de la SmartWheel identifiés par une utilisatrice/chercheuse expérimentée.

Tableau 6-1 : Synthèse des résultats qui expriment la grande variabilité des modes opératoires

Éléments	Observables	Athlètes (n=3) récréatifs	Athlètes (n=3) élites	Conséquences Sur la santé	Conséquences Sur la performance	Impacts sur les paramètres de la RI
Interface athlète/FRC	Main n'atteint pas la MC (phase 5) Ajustement personnalisé (épousant) du FRC respectant la morphologie de chacun Adoption de la position en "1"	2 sur 3 1 sur 3	aucun 3 sur 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>Extension du coude trop élevée</li> <li>Bonne circulation sanguine</li> <li>Limitation blessures épaule/coude</li> <li>Limitation infortis, peau irritée</li> <li>Si genou élevé, flexion tronc limité</li> <li>↓ compression sous genou</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Angle de contact réduit;</li> <li>Augmentation de la force transférée ou traduite en propulsion</li> <li>Si tronc moins fléchi, ↑ résistance à l'air</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>respecter épaisseur maximale</li> </ul>
	MC frotte l'intérieur des bras Entrée dans le FRC téméraire Appui du pouce sur un rayon de la roue étonnée	1 sur 3 2 sur 3	1 sur 3 1 sur 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>ecchymoses</li> <li>torcion articulations, fracture, chute</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>freinage de la roue arrière</li> <li>Arrêt, pause de la compétition</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>respecter épaisseur maximale</li> </ul>
	Position de départ Phase d'impact (2) :	aucun	1 sur 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>torcion articulations, fracture, chute</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Risque de glissement éliminé</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Envisager 2 types de roues</li> </ul>
	a) Le pouce touche en premier lieu à la surface ext. de la roue ar. b) Le creux formé par le pouce et l'index guide la main sur la MC c) L'éminence thénar du pouce est la zone qui entre en contact en 1 <sup>re</sup>	1 sur 3	-			<ul style="list-style-type: none"> <li>Mesurer la force appliquée également sur la roue</li> </ul>
	Abduction épaule ↑ = Extension poignet ↑ Extension du poignet prononcée au début Mains en surface de la MC Doigts à l'intérieur de la MC Pronation du poignet à la fin de la phase Flexion du poignet à la fin de la phase Cadence maximale atteinte (p/min)	- aucun 3 sur 3 3 sur 3 aucun	1 sur 3 1 sur 3 2 sur 3 1 sur 2 1 sur 3 157 et 170	<ul style="list-style-type: none"> <li>Limites articulaires + impact ↑</li> <li>Extension contraignante</li> <li>Force axiale déployée + ↑</li> <li>Impact répétitif aux phalanges</li> <li>Blessures possibles – répétitivité</li> <li>Blessures possibles – répétitivité</li> <li>Blessures possibles – répétitivité et intensité</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ce mode = résultats (f) inférieurs</li> <li>Ce mode = meilleurs (f) résultats</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Force radiale élevée</li> </ul>
	Vitesse correspondante (m/s) 1 <sup>re</sup> poussée 6 <sup>e</sup> poussée Plateau atteint 1 <sup>re</sup> poussée (°) 6 <sup>e</sup> poussée (°) Plateau atteint (°) 1 <sup>re</sup> à la 6 <sup>e</sup> poussée Ondulation tronc/cou vers la fin d'un sprint	5; 7,9; 5,4 94; 107; 94° 102; 96; 99° 145; 133; 113; 125 42; 31; 41° 42; 25; 64; 57° 25 à 64°	6,7; 8,1 105 et 94° 107 et 83° 134; 93° 27 et 56° 32 et 77° 64 et 91° 2,85 à 4,74 (m/s) 2,85 à 7,82 (m/s)	<ul style="list-style-type: none"> <li>idem</li> <li>si angle + ↑ = extension contraignante</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>vitesse liée au classement</li> <li>diffère selon technique</li> <li>diffère selon technique</li> <li>diffère selon vitesse</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>robustesse des roulements</li> </ul>
	Tronc relevé Relever la tête en piste (e/ou en peloton) Douleurs verbalisées	1 sur 3 1 sur 3 3 sur 3	aucun 1 sur 3 3 sur 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>Extension du cou douloureuse</li> <li>Permet d'éviter collisions et chutes</li> <li>Ménager ses énergies (en peloton)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>si angle + ↑ = force impact + ↑</li> <li>si angle + ↑ = force impact + ↑</li> <li>Atteinte vitesse max + rapide</li> <li>Signe de fatigue</li> <li>Résistance + ↑ offerte à l'air</li> <li>Lecture stratégique de l'environnement (concurrents)</li> <li>Réduction friction air (peloton)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>robustesse des roulements</li> </ul>
Propulsion						



Éléments	Observables	Athlètes (n=3) récréatifs	Athlètes (n=3) élites	Conséquences Sur la santé	Conséquences Sur la performance	Impacts sur les paramètres de la RI	
Propulsion (suite)	Synchronisation	Synchronisation de la propulsion entre segments supérieurs gauche et droit	1 sur 3	1 sur 3	• Légère torsion cyclique de la colonne	• Friction latérale sur roue avant	• Données incomplètes si une seule RI sur FRC
	Symétrie	Asymétrie dans le plan frontal	2 sur 3	-	• Sollicitation musculaire inégale	• Friction latérale sur roue avant	• détermine la capacité de mesure des cellules de force
FRC	Force max/capteur de force sur FRC	Force propulsive de 2 roues arrière 187; 177; 179 N Force tangentielle estimée à la MC 179; 152; 162 N Énergie transférée : à la 1 <sup>re</sup> poussée 72; 50; 96 J Énergie transférée : atteinte vitesse max. 15; 26; 19 J	3 sur 3	199; 353 N 180; 308 N 130; 210 J 35; 45 J	• Évite les glissements, ecchymose	• Indicateurs de vitesse possible à atteindre	• Supporter des torsions
	Force appliquées à la MC	Deformation/déclamage de la roue arrière	1 sur 3	Deform. 1 sur 3	• Froid : blessure musculaire	• Indicateur de la force transmise	• Revêtement l'acceptant
Entraînement	Facteurs environnementaux	Pluie : ajout d'adhérent	3 sur 3	3 sur 3	• Minimaliste = transfert de l'impact à la main et force à la MC + grand	• Stabilité du geste	• Résister aux écarts, sceller
	Gants	Souffrir du froid, chaleur et humidité	2 sur 3	2 sur 3	• Motivation	• Temps augmentés	• Doit permettre l'utilisation de plusieurs types
Blessures	Types utilisés	Types utilisés	3 sur 3 mous	2 x minimaliste	• Blessure spécifique	• Variable	
	Le temps	Outil indicateur de performance	3 sur 3	3 sur 3	• Blessure au dos	• t = médaille et classement	
FRC	Préparation avant entraînement	Musculature inadéquates, muscles déséquilibrés	-	1 sur 3	• Trapezé dorsal g. compense microdéchirures	• Arrêt ou pause	• Prévoir coffre de transport
	Transport du FRC	Embarquer dans le véhicule	n/a	n/a	• Prévention de l'enflure des jambes	• empêcher forfait ou arrêt de compétition (longue distance)	• Être robuste
RI	Chutes et collisions	Expérimenter une chute ou une collision	3 sur 3	3 sur 3	• Blessure potentiellement grave	• Arrêt, réparation FRC	
	L'épaule	Souffrir de blessure ou douleur à l'épaule	aucun	1 sur 3	• Pincement coiffe des rotateurs	• Arrêt, pause de la compétition	
RI	Coude	Souffrir de blessure ou douleur au coude	aucun	aucun	• Tendinose	• Arrêt, pause de la compétition	
	Poignet	Souffrir de blessure ou douleur au poignet	aucun	aucun	• Micro fracture os du poignet, STC	• Arrêt, pause de la compétition	
RI	MC (extérieur)	Diamètre hors-tout	349 et 387 mm	aucun	• Force à déployer	• Lien avec la force à appliquer et la cadence à générer	• Offrir une variété
	Diamètre sectionnel	Dégagement de la surface de la roue arr.	14 à 16 mm	16 à 17 mm	• Inconnu	• Inconnu	• Négligeable
RI	Recouvrement personnalisé	Recouvrement personnalisé	3 sur 3	3 sur 3	• Évite glissement, ecchymose	• Favorise tech. doigts intérieur	• Offrir une variété
	Pression des pneumatiques	Application d'adhérent	Tous, dont 1 toute condition	tous		• Stabilité du geste	• Revêtir et offrir variété
RI	Types de roues	Types de roues	5 x pleine	1 x étoilée		• Pression différente selon chaussée et condition	• Respecter choix de l'athlète selon condition
	Ouverture/fermeture (10e-11 10e-01H)	Ouverture/fermeture (10e-11 10e-01H)	Nul-3-5 mm	3-5-12 mm		• Inconnu	• Variété souhaitée
RI	Carrossage	Carrossage	12°	12°	• + élevé = abduction de l'épaule +	• Perte vitesse appréciable si + de 2 mm (norme recherchée)	• S'assurer d'une ouverture optimale (installation RI)
	Difficultés rencontrées et avantages reconnus	Difficultés rencontrées et avantages reconnus	n/a	n/a	• Compréhension des impacts de l'activité et prévention	• Inconnu	• Nul selon angles observés
RI					• Compréhension des impacts de l'activité et améliorations	• Guider les paramètres de conception	



## 6.2. Athlètes et intervenants : motivation, formation, rôles et besoins

Les influences qu'exercent la motivation personnelle, la formation, les rôles et les besoins des athlètes et des intervenants sur les modes opératoires sont bien réelles. Les observations et verbalisations témoignent de ces liens avec la formation et les blessures liées à l'entraînement. Les techniciens que nous avons interviewés participent aux entraînements et aux compétitions, et leur apport, qui nous a principalement éclairé sur les athlètes, les techniques de poussée, la complexité de l'interface athlète/FRC et les équipements liés à la course en FRC, est intégré aux résultats sans qu'une section ne leur soit exclusivement réservée, pour alléger le document.

### 6.2.1. La motivation des athlètes

La motivation des athlètes est un facteur qui explique leur *manière* d'être, l'adoption de modes opératoires particuliers. La fatigue, la condition physique, l'atteinte, les blessures, les objectifs que l'athlète se fixe et les bourses sont des éléments de motivation de nature intra-individuelle, tandis que l'influence des coéquipiers du club et de la communauté des sportifs en FRC et la relation athlète/entraîneur et athlète/intervenant sont des éléments de nature interindividuelle. Les résultats aux compétitions, qui relèvent de la performance de l'athlète, sont aussi tributaires de la performance des concurrents (le Tableau 5-2 exprime les résultats officiels obtenus en compétition). Parmi tous ces éléments, nous avons observé que l'objectif pour lequel ils s'entraînent est celui qui a déterminé grandement les résultats et que les bourses<sup>9</sup> allouées aux athlètes dans le cadre d'un programme de soutien à l'excellence ont également un impact relevé (quatre des athlètes interviewés jouissaient de ce support l'an dernier). Pour trois athlètes (#101, 107 et 109) le but de la pratique du sport est

---

<sup>9</sup> Les entraîneurs des clubs québécois participent à une commission sportive qui évalue annuellement la pertinence d'allouer des bourses de Parasports QC financée par le ministère de l'éducation, du loisir et du sport du Québec, dans le cadre d'un programme de soutien à l'excellence des athlètes.

récréatif, et pour les autres (#100, 110 et 112) c'est la participation à des compétitions internationales et l'atteinte d'une médaille olympique qui les motivent. Ces différences s'expriment en matière de performance (Tableau 5-2) et d'assiduité. En termes d'assiduité, nous avons observé que les athlètes qui s'entraînent avec le plus de rigueur et de régularité offrent de meilleures performances. Nous avons remarqué lors des essais en laboratoire que la motivation de l'athlète #112 a un impact marqué sur le geste. Au départ, il se concentre, ferme les yeux, prend le temps de bien se positionner, prend une pause, et explose! Conséquemment, il applique deux fois plus de force que les autres participants (Tableau 6-5) et il performe mieux en compétition. À l'inverse, l'athlète #101 décolle rapidement et sans préparation.

#### 6.2.2. Les entraîneurs, leurs rôles et leurs besoins, et la formation des athlètes

Les entraîneurs de niveau provincial qui s'investissent bénévolement accompagnent ou dirigent les athlètes dans plusieurs tâches, principalement : les démarches administratives d'inscription aux différentes associations et compétitions; l'attribution de bourses; la planification et l'encadrement des entraînements hebdomadaires; et les compétitions nationales. Être membre en règle d'un club d'athlétisme facilite l'inscription aux compétitions comme le championnat canadien qui nécessite une performance minimale préalable, un temps *plancher*. S'inscrire à une compétition reconnue permet d'enregistrer officiellement ses résultats. Un camp d'entraînement à l'étranger est proposé aux athlètes canadiens (février) et une formation encadrée est offerte à ceux qui adhèrent à l'un des trois clubs du Québec. L'athlète #112 est exceptionnellement dirigé à distance par un entraîneur hors Québec. Ce type d'association est réservé pour les athlètes expérimentés. Le plan annuel de l'athlète incluant ses résultats et ses objectifs porte sur une série d'exercices personnalisés tout au long de l'automne et de l'hiver. Ils sont en prévision de la saison des compétitions printanières et estivales dont le choix d'y participer est défini selon les objectifs personnels de l'athlète et ses moyens financiers. Les entraînements portent sur le

perfectionnement des techniques, le développement de la puissance, de l'endurance, et la préparation aux compétitions. Les programmes sont basés sur des règles de conditionnement physique général et mis en place selon les capacités et objectifs de chacun.

#### 6.2.2.1. Les outils de monitoring

Afin d'évaluer in situ les performances de l'athlète en entraînement sur piste et à l'intérieur, l'entraîneur utilise un chronomètre. En dehors des compétitions, l'entraîneur et l'athlète utilisent un ordinateur de vélo installé sur les FRC. Il permet de moduler l'effort que l'athlète doit fournir en fonction des objectifs de performance. Un athlète du club (#110) utilise également un moniteur de fréquence cardiaque pour monitorer ses fréquences cardiaques en entraînement.

L'analyse montre que les entraîneurs ne sont pas toujours en mesure de préciser en quoi l'entraînement peut ou non rendre le mode opératoire plus performant en compétition. Les verbalisations mettent en évidence qu'ils manquent de ressources et d'outils pour mieux évaluer la performance et la sécurité des gestes accomplis par les athlètes, et qu'ils n'utilisent aucune technique de rétroaction basée sur des captations vidéo. De plus, les connaissances acquises par essai-erreur au fil des entraînements sont peu formalisées et lorsque l'entraîneur ou l'athlète quitte, le savoir n'est pas consigné et se perd. Un d'entre eux déplore une forme de compétition entre les entraîneurs de niveau provincial et national. « L'information et les connaissances techniques acquises sont peu partagées, on ne peut bénéficier mutuellement des apprentissages ».

#### 6.2.2.2. Blessures liées à l'entraînement

Le médecin sportif interviewé appuie ce témoignage : « compte tenu des conséquences que peut avoir un entraînement inadéquat sur la vie d'un athlète, il est impératif de capitaliser et partager les connaissances. Par exemple, renforcer les muscles stabilisateurs de l'épaule est particulièrement important pour éviter des blessures et il

est dommageable de faire trop d'exercices d'étirement ». Son expérience aurait prouvé que cela se soldait par des articulations trop laxes. Une observation semble corroborer ces dires : l'entraînement hors fauteuil laissé aux soins de l'athlète #110 a provoqué un changement de mode opératoire sans qu'il ne s'en rende compte et s'est traduit par une blessure au trapèze dorsal (constat d'un physiothérapeute). Le médecin poursuit : « la blessure d'un athlète de FRC est plus complexe à guérir et doublement contraignante, car cela se traduit par une perte d'autonomie de déplacement. S'il se blesse à l'épaule par exemple, il risque de perdre son autonomie parce qu'incapable de se déplacer en fauteuil roulant pour ses activités quotidiennes ». Il précise également : « les cycles de repos sont très importants dans les entraînements. Il doit s'écouler 48h entre deux séances de musculation. Un muscle doit se réparer, s'adapter au micro blessures dues à un entraînement. Les athlètes avec un déficit moteur central (paralysie cérébrale) ont plus de risques de se blesser et les entraîneurs doivent être prudents et ne pas donner autant de volume d'entraînement pour ce type d'athlète. » Il deviendrait donc important pour l'entraîneur d'avoir de meilleurs outils pour évaluer l'impact de ces entraînements sur la sollicitation musculaire.

### 6.2.3. Le médecin sportif : son rôle et ses besoins

Le médecin sportif nous a précisé le rôle de sa pratique en témoignant de son approche envers l'athlète blessé : « il faut comprendre que l'athlète risque de tomber malade s'il arrête son sport. Il ne faut pas le stopper, mais l'encadrer en lui donnant des exercices différents avec une progression graduelle pour ne pas se blesser, pour continuer à faire du sport ». S'il l'arrête, selon lui, lorsqu'inactif, l'athlète pourrait faire des mouvements nuisibles, aggraver sa blessure ou perdre rapidement ce qui est très long à bâtir, la masse musculaire et le *tempo* psychologique. « Il risque de se déconditionner physiquement et il faut comprendre que la pratique d'un sport est importante dans leur vie ». Suite à une blessure ou des douleurs, le médecin est limité quant aux médicaments qu'il peut prescrire à un athlète en raison des produits qui sont sur une liste noire du dopage. Il

doit favoriser un équilibre entre soutenir la performance et maintenir la santé à long terme.

Pour effectuer son métier sur le terrain (en compétition), le médecin sportif ne dispose pas d'équipement particulier si ce n'est que d'une trousse médicale de base. Dans ses activités quotidiennes, aucun instrument, comme une RI par exemple, n'est mis à sa disposition pour lui permettre de déceler une asymétrie, d'évaluer la force et l'axe dans lequel elle est appliquée ou d'évaluer la performance et la sécurité des athlètes dont il veut développer les compétences. Notre étude a conduit la première série de captures vidéo à haute fréquence investiguant finement le geste de propulsion du FRC au ralenti, outils jamais utilisés par l'équipe d'entraînement ou les médecins au Québec. Dans un monde idéal, le médecin sportif imagine un centre d'entraînement intégré (IST, *Integrated support team*) avec des installations de qualité regroupant spécialistes, intervenants et chercheurs. Cette idée est partagée par un des entraîneurs rencontrés. Il souhaite créer des vases communicant pour partager les savoirs. Dans le milieu observé, le travail multidisciplinaire ne semble pas s'effectuer de manière concertée.

En conclusion nous saisissons la complexité d'encadrer des athlètes, de surcroît ceux possédant des déficiences sensorimotrices et/ou des limitations fonctionnelles, et nous sommes conscients que la rencontre de plus d'un médecin spécialisé dans la pratique du sport en FRC permettrait de contre-vérifier ces dires, mais la rareté de la profession dans ce handisport et le contexte de la recherche ont limité le recrutement.

### 6.3. L'environnement et ses influences sur l'athlète et son FRC

L'environnement de course de l'athlète, notamment les conditions météorologiques et les différents parcours sur lesquels il s'exerce, module l'activité des athlètes. Cette influence s'opère sur l'athlète lui-même et sur son équipement principal, le FRC.

### 6.3.1. La nature des pistes et des parcours

À Montréal, les entraînements hebdomadaires se déroulent à l'extérieur sur piste ou sur route. L'entraînement sur rouleaux (intérieur) demeure l'option privilégiée de la mi-octobre à la mi-avril en raison de la température et parce que les pistes intérieures sont rarissimes. Il en existe deux de 200 m à Montréal (au Centre Claude-Robillard et à l'Université de Montréal) et une de 400 m à Ottawa (aux installations Terry-Fox du parc Mooney's Bay). Dès que les conditions météorologiques le permettent, les pistes extérieures, le circuit Gilles-Villeneuve de l'île Ste-Hélène et les pistes cyclables s'offrent de nouveau aux athlètes. Les parcours recouverts d'asphalte offrent une résistance au roulement plus faible que les surfaces de caoutchouc synthétique des pistes d'entraînement et de compétitions en raison de leur dureté plus élevée. Cela se traduit par un effort déployé légèrement plus faible sur route, comme l'illustre le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** avec un faible gain de vitesse de 1 km/h. Le parcours influence également la stratégie de course. Celui de Gilles-Villeneuve, de plus grande largeur, ne contraint pas les athlètes à un couloir déterminé, permet une dynamique en peloton plus *ouverte*, mais nécessite cependant une vigilance accrue en raison des obstacles (panneaux de signalisation) et du partage de la route avec les cyclistes lors d'entraînements où il n'est pas exclusif aux FRC. La piste d'athlétisme classique offre un cadre différent. Lors des courses de plus de 400 m, les athlètes ne sont pas restreints à leur couloir pendant toute la course. Ils convergent vers le couloir de gauche qui offre la plus courte distance à parcourir sur une piste oblongue d'athlétisme. Dans un 800 m par exemple, ils roulent dans un couloir exclusif qui leur est réservé seulement pour les premiers mètres et se regroupent naturellement par la suite en peloton. Il est toléré de toucher à la ligne extérieure de son couloir, mais il est interdit de toucher à la ligne intérieure. Les distances influencent également les modes opératoires. À l'instar des compétitions *debout* (athlètes sans incapacité fonctionnelle ou limitation sensorimotrice), un 100 m nécessite le déploiement rapide et explosif de toutes les forces de l'athlète, tandis qu'un 1500 m appelle un dosage des réserves

énergétiques : un départ en accélération avec cinq ou six courtes premières poussées à cadence élevée; un régime *plateau* s'installant graduellement; une composition avec la dynamique du peloton (retrait en attente, économie d'énergie, ou dépassement selon); un sprint final vers le fil d'arrivée. L'athlète développera approximativement de 30 à 50 poussées dans un 100 m comparativement à plus de 400 pour un 1500 m.

### 6.3.2. Les caractéristiques des rouleaux d'entraînement et l'activité

Les athlètes s'entraînent également sur des rouleaux (Figure 2-11) et 3 sur 6 en possède à maison. Certains rouleaux d'entraînement possèdent un mécanisme pour simuler la résistance, mais les athlètes interviewés pour l'étude ne l'utilisent pas, car sur les rouleaux du centre d'athlétisme, l'ajustement du boulon est imprécis et n'offre pas l'effet escompté. Cette résistance n'étant pas simulée, les vitesses de pointe sur rouleau augmentent de 30% pour les athlètes les plus performants selon leurs témoignages (Tableau 6-2 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Aucune analyse ne nous permet de préciser en quoi l'entraînement sur ces appareils peut ou non transformer le mode opératoire en compétition.

*Tableau 6-2 : Performances exprimées en vitesses par les athlètes selon différentes conditions*

	vitesse de pointe piste	vitesse de pointe rouleau	vitesse de pointe route (plat)	vitesse moyenne marathon
athlète	km/h	km/h	km/h	km/h
100	29	34	n/d	n/d
101	19	20	n/d	n/d
107	20	32	n/d	n/d
109	22	28	24	n/d
110	32	35	33	n/d
112	35	45	37	31

### 6.3.3. L'influence des facteurs météorologiques pour l'athlète

Les témoignages indiquent que le froid, la chaleur, l'humidité et la pluie sont des facteurs météorologiques qui jouent un rôle sur le confort de l'athlète et que ce déterminant a des conséquences très variables selon les athlètes. Pour les uns il a l'effet d'incommoder : « je déteste la chaleur et l'humidité lorsque je pousse », « je tolère mal l'humidité », « mes muscles travaillent mal quand il fait froid », pour d'autres de leur donner un avantage, « être mouillé ne me dérange pas en compétition, à la différence de la majorité de mes concurrents ». « J'aime quand c'est aux alentours de dix degrés Celsius pour m'entraîner et performer. » À l'automne, lorsque la température baisse sous les dix degrés Celsius, une pratique du Club St-Laurent Sélect veut que les entraînements se déplacent à l'intérieur au centre d'entraînement pour prévenir les blessures dues à des muscles mal réchauffés. Les rouleaux stationnaires prennent la relève.

### 6.3.4. L'influence des facteurs environnementaux pour le FRC

La pluie et la chaussée humide engendrent une perte d'adhérence à la MC et son recouvrement seul ne suffit pas. Une MC mouillée peut engendrer la perte d'une poussée et avoir une incidence sur l'issue d'une course lors des sprints. Pour contrer ce risque et cette conséquence, les athlètes ajoutent une résine sur leurs gants. Selon un athlète élite, il est impossible de pousser de manière différente lorsqu'il y a de la pluie. Tous les athlètes interrogés utilisent ce type d'adhérent à différents moments. La chaleur, le froid et l'humidité modifient sa viscosité et il s'apparente au *Klister* utilisé pour le ski de fond. Tous les athlètes du Club collent une bande de ruban sur la tige horizontale du FRC avec de l'adhérent déposé dessus, ce qui permet d'en ajouter au besoin avant et durant une longue course voire même en entraînement. L'athlète #109 en applique toujours un petit peu, quelles que soient les conditions météo. L'athlète

#101 décrit sa technique : « Je dépose de la gomme sur un gant et la travaille avec les deux gants jusqu'à ce que ça fasse des filaments. Là elle est prête à faire le travail. »

*(#1) Critère de conception de la RI :*

*Afin d'être opérationnelle dans des conditions météorologiques représentatives des conditions terrain, la RI doit résister à la pluie et des écarts de température variant entre cinq et 35 degrés Celsius.*

#### 6.4. Des techniques et des gestes variables

Cette section présente une série d'observations et de mesures quantifiées ayant une influence directe sur la performance et la santé des athlètes ainsi qu'une grande prépondérance sur le choix des critères de conception d'une RI. Elle montre la grande variabilité des modes opératoires. Les premiers résultats informent entre autres sur les positions adoptées selon les phases du cycle de poussée et les différentes techniques observées. La suite expose les informations de nature quantitatives relevées à l'aide des essais en laboratoire.

##### 6.4.1. La prise d'informations visuelles comme déterminant de la posture, de la performance du geste et de la prévention des blessures

Quitter son couloir, se maintenir en peloton ou dépasser implique de déplacer son regard du sol pour relever la tête et observer les athlètes qui les entourent et ainsi s'adapter régulièrement à la vitesse de l'autre. Les athlètes élite expliquent que se regrouper et user de stratégie en peloton permet de ménager ses réserves et d'accélérer et/ou dépasser un adversaire au bon moment. C'est une compétence qui s'acquiert plus tard dans la carrière. Il faut se concentrer simultanément sur la poussée et les concurrents pour diriger convenablement son FRC et éviter des collisions qui mettent systématiquement fin aux chances de gagner une compétition. Les FRC sont

généralement hors de fonction après une chute, car ils sont fragiles aux impacts. Tous les athlètes interviewés ont expérimenté une chute pendant leur carrière. L'athlète #112 précise que les collisions se produisent surtout lors des courses stratégiques (800, 1500, 5000 m et plus) où un peloton se forme. « Il m'arrive de chuter au moins une fois par année. Il n'y a pas plus de quelques centimètres entre ma roue avant et le FRC de l'athlète d'en avant. » Les pertes de contrôle lors des marathons avec dénivelés sont également à risque dans les descentes où un FRC peut atteindre 75 km/h. Le médecin sportif déclare : « Il est peu fréquent que les athlètes que je côtoie se blessent durant la pratique de leur sport en FRC, mais les collisions représentent les événements à plus grand risque. »

Bien que la majorité des athlètes perçoive un inconfort en redressant la tête, se positionner derrière un concurrent a comme autres avantages de se protéger de la force de résistance de l'air et de profiter de la succion du FRC devant soi. Les concurrents épargnent ainsi leur énergie alors que des pauses s'installent entre deux poussées. Les entraîneurs affirment que l'économie est d'environ 30 % de l'énergie dépensée par l'athlète, mais aucune mesure n'a pu corroborer cette estimation. Trois athlètes nous rapportent qu'en se déplaçant sur piste, la prise d'information visuelle la tête relevée retient leur attention au point où cela perturbe leur cadence (rythme de poussée) pour les uns et provoque une technique de poussée nonchalante et/ou des maux de cou pour les autres. Le corollaire est qu'ils se tiennent en retrait des pelotons, performant donc moins bien aux compétitions où les couloirs convergent. Nous avons été témoins d'une chute lors d'un entraînement sur route alors que le FRC d'un athlète a percuté un panneau de signalisation. La perte d'attention momentanée était en cause alors que l'athlète posait son regard sur le FRC à l'arrière. Un athlète se confie : « J'aime la réduction de la résistance au vent [se positionner derrière un concurrent], c'est moins fatigant, mais je garde la tête relevée plus longtemps pour conserver mes distances et ça me fait mal au cou à la longue. » Un autre nous dit que lorsqu'il regarde en avant, l'extension du cou

facilite la fermeture du thorax qui participe à la force déployée à la phase de contact (#2). La prise d'information visuelle est donc un élément majeur qui module la posture.

#### 6.4.2. Les conséquences d'une extension marquée du cou

Nous savons maintenant qu'il est impossible de concourir sans relever la tête. Le faire durant la propulsion demande beaucoup d'énergie et procure des douleurs au cou qualifiées de fréquentes par tous les athlètes interviewés. La posture en FRC, qui impose une extension du cou, posera des problèmes d'arthrose prématurément selon le médecin sportif. La Figure 6-1 montre une extension prononcée du cou que nous avons régulièrement observée lorsque les athlètes portent leur regard vers l'avant. En raison de leur handicap, la perte ou le peu contrôle de leur tronc, les athlètes #100, 101 et 109 adoptent une position du tronc très penchée en raison de leur atteinte (paraplégie), ce qui augmente le degré d'extension du cou. Ils ne relèvent la tête que rarement ou lorsque c'est indispensable entre autres pour déceler la ligne qui marque le début et la fin des courbes et négocier en peloton comme constaté précédemment.

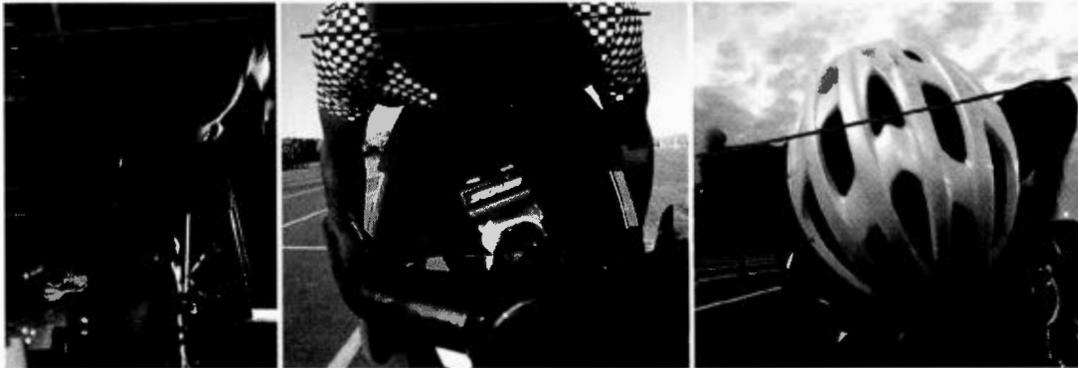


*Figure 6-1 : extension prononcée et contraignante du cou de l'athlète #100*

#### 6.4.3. Asymétrie dans le plan frontal

Chez les athlètes #101 et 107 nous observons une asymétrie dans le plan frontal en situation d'entraînement sur piste et à l'intérieur (Figure 6-2). Elle se manifeste par une

inclinaison marquée du corps variant de 8 à 15 degrés vers leur droite. Nous ne savons pas si ce phénomène provoque une baisse de performance, mais les captures montrent clairement des amplitudes articulaires différentes entre la gauche et la droite, notamment quant à l'angle d'abduction du bras en rapport au tronc. Les bras attaquent la MC dans un plan différent. La pronation et flexion des poignets et l'abduction des épaules ne sont plus équilibrées. Un autre effet s'observe, le corps de l'athlète bascule latéralement lors des poussées. La nature de l'atteinte de l'athlète #107 (poliomyélite) et la mauvaise compensation de l'assise avec des mousses correctrices pourraient expliquer cette asymétrie, mais cette raison n'est pas en cause pour l'autre l'athlète.



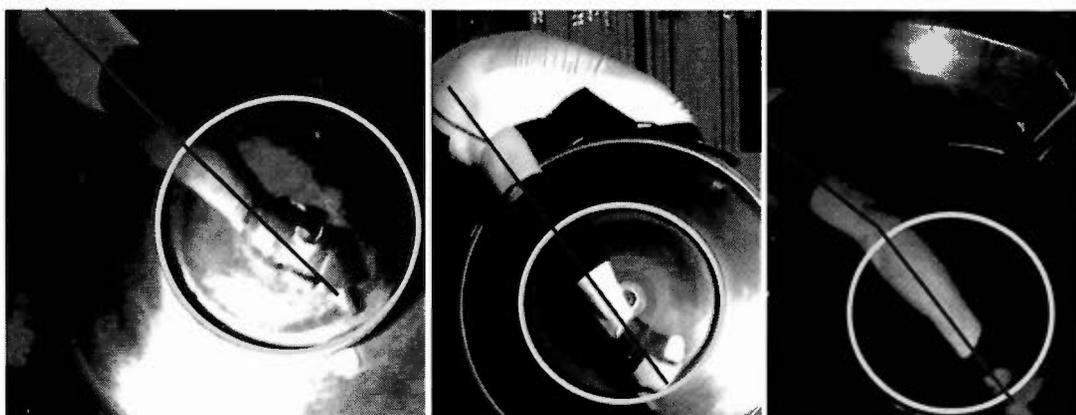
*Figure 6-2 : asymétrie gauche/droite dans le plan frontal.*

*Cette asymétrie entraîne une amplitude des bras différente entre la phase de relâchement et d'accélération (photo de gauche). Remarquer la distance entre les bras et les ailerons qui est différente entre la droite et la gauche (photo du centre).*

#### 6.4.4. La flexibilité du tronc, du dos et la taille des bras affectent le positionnement et l'atteinte de la MC

Nous avons observé que la capacité à fléchir le tronc pour atteindre la MC tout au long du cycle de poussée, et maintenir le dos droit pour éviter des douleurs sont des facteurs qui modulent le geste et la performance. Trois athlètes ne réussissent pas à atteindre la MC correctement pour appliquer efficacement la force à la MC. La main doit normalement la rejoindre jusqu'à la phase de relâchement (#5). Si elle ne peut se rendre

aussi loin que le mouvement optimal le dicte (environ 7 :30 h), deux phénomènes s'observent : (i) les phases de propulsion (#3) et de rotation (#4) sont raccourcies, affectant les performances; (ii) et le coude montre une extension marquée avant le relâchement de la MC, amplitude articulaire hors confort. L'atteinte partielle de la MC pourrait effectivement causer des blessures au coude comme la photographie de l'athlète #101 montre une extension complète pendant une phase de mouvement concentrique (Figure 6-3). L'athlète de droite (#112) atteint bien la MC, car il a la capacité à bien fléchir le tronc.



*Figure 6-3 : Angle articulaire du coude à la phase de relâchement*

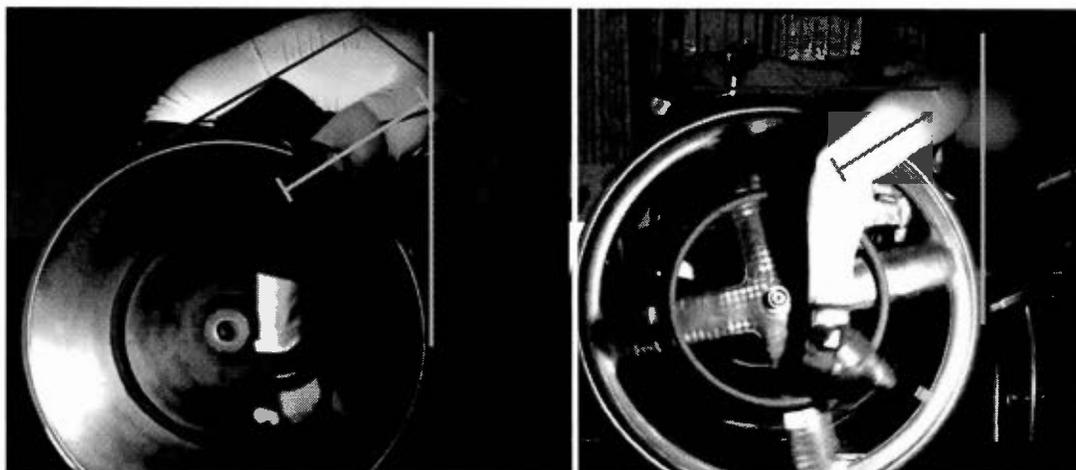
*En jaune, la MC mise en évidence.*

*À gauche, athlète #101: extension marquée, la main n'atteint plus du tout la MC;  
 Au centre, athlète #110 : extension marquée, la main n'atteint pas totalement la MC;  
 À droite, athlète #112 : extension moins pénible, la main atteint parfaitement la MC.*

*\*Notez la flexion du bassin plus marquée de l'athlète de droite couplée à une interface athlète/FRC mieux ajustée, favorisant l'atteinte complète de la MC sans l'hyperextension*

La hauteur du siège, le diamètre de la MC, la capacité à fléchir le tronc et la longueur des bras forment une combinaison de variables qui exigent des efforts plus ou moins douloureux et qui influencent la performance. La variabilité des atteintes et des handicaps (certains ont des vertèbres soudées ou des tiges correctrices), l'anthropométrie et la souplesse corporelle sont des facteurs prépondérants.

L'athlète de gauche (#110, Figure 6-4) adopte une posture contraignante pour atteindre la MC en fléchissant le dos, et son tronc plus relevé augmente la résistance à l'air. L'athlète de droite (#100) compense sa longueur de bras plus courte (lignes bleu) par sa capacité plus grande à fléchir le bassin vers l'avant et l'adoption d'une position horizontale plus reculée vers l'arrière (axe antéro-postérieur).



*Figure 6-4 : Variabilité de postures influencée par la souplesse, la flexion du bassin, du dos et la taille des bras*

*(gauche athlète #110, droite athlète #100)*

*\*Remarquer l'épaule de l'athlète 100 qui est plus reculée en rapport avec la ligne verticale jaune qui représente le devant de la roue arrière.*

Bien qu'une gamme de diamètres de MC soit offerte aux athlètes, augmenter ce diamètre pourrait favoriser une meilleure atteinte de la main sur la MC, mais aurait d'autres répercussions sur la force à déployer au départ et la vitesse que la main devrait avoir pour *suivre* la MC lorsque cette dernière tourne vite. Des changements de MC en cours de pratique doivent être judicieusement planifiés.

*(#2) Critère de conception de la RI :*

*Pour représenter la taille variable des MC que les athlètes utilisent, la RI devra accepter une variété de diamètres hors-tout de MC d'au moins 346 à 384mm, et le diamètre hors-tout de la RI devra respecter la norme qui est de 635mm sans les pneumatiques.*

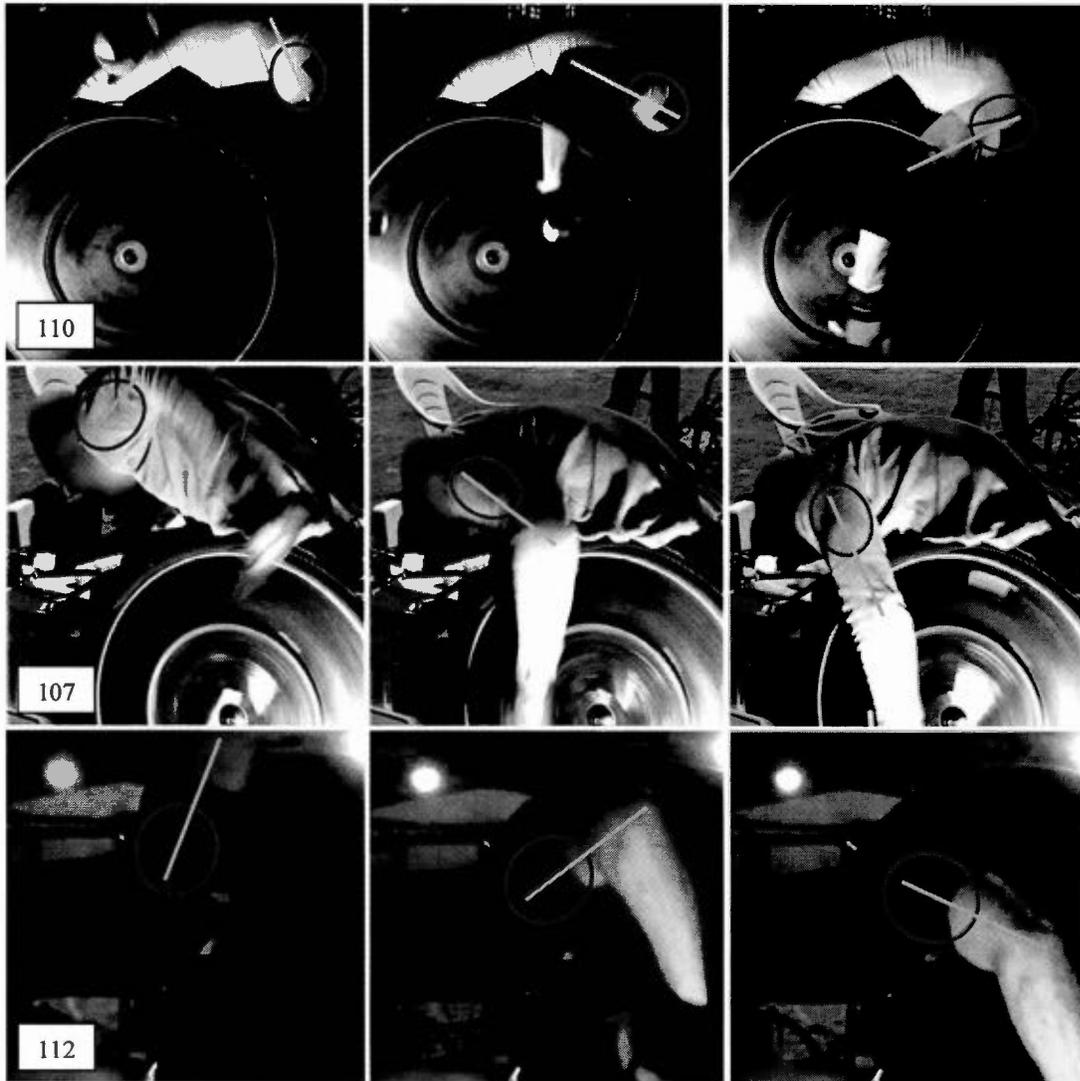
#### 6.4.5. Balancer le tronc pour gagner en performance?

Le balancement du haut du corps s'observe durant les courses, entraînements et essais en effort maximal. L'athlète #112, qui possède un plein contrôle de son tronc, se redresse périodiquement à chaque poussée lors de la phase de récupération. Ce mouvement est induit en partie par le balancement des bras qui quittent la MC à la phase de relâchement pour remonter vers l'arrière en préparation à la phase d'attaque (#5 à 1). La descente qui s'en suit permet de transmettre de la force à la MC avec les triceps. Les athlètes avec un contrôle partiel de leur tronc (#100, 101, 109) démontrent un balancement nettement inférieur, presque inexistant. Ils ondulent le cou (alternance flexion/extension) un peu à la manière des nageurs de style papillon pour compenser la perte d'amplitude limitée par leur atteinte à la récupération (#5). On remarque que l'athlète #110 (T34) ondule le cou également lorsque la fatigue s'installe après un sprint à vitesse maximale. Les athlètes élités nous indiquent que cette ondulation traduit une technique énergivore à éviter (solllicitation des muscles du cou) pour ceux qui possèdent un contrôle du tronc et confirment qu'elle représente un signe de fatigue.

#### 6.4.6. L'apport des muscles de l'épaule au transfert de force à la MC

Nous observons pour tous les athlètes performants qu'entre le début de la phase d'attaque (#1) et le début de la phase de propulsion (#3) il y a une combinaison entre l'accélération de la main et la *fermeture* graduelle de l'épaule. Cette fermeture de

l'épaule se décrit par le passage d'une position où elle est en extension et en rotation externe vers une position en flexion, rotation interne et adduction. La Figure 6-5 montre cette fermeture progressive pour trois athlètes (#110, 107 et 112).



*Figure 6-5 : fermeture de l'épaule entre les phases de propulsion 1 et 3*

*Séquence d'extraits photo imageant cette fermeture débutant avant la phase de contact (images de gauche) et se terminant à la fin de la phase de propulsion (images de droite).  
L'épaule se « referme » graduellement, augmentant la force appliquée à la MC.*

Ce mouvement descend l'épaule le plus bas possible, ce qui permet d'obtenir une plus grande flexion du coude et laisse au triceps la possibilité de transmettre de la puissance par extension du coude (#3). L'athlète #110 précise que les douleurs au dos peuvent nuire à cette fermeture. Le médecin sportif mentionne que la pratique du sport en FRC sur plusieurs années provoque des problèmes d'épaules chez les athlètes qu'il rencontre. La qualité de l'entraînement en musculation des muscles de la coiffe des rotateurs, particulièrement le sous-épineux et le petit rond qui sont les deux principaux rotateurs externes, est donc cruciale pour bien effectuer cet enchaînement sans se blesser. Ces muscles de la coiffe des rotateurs sont responsables en grande partie de la stabilisation de l'épaule, et s'ils sont fatigués ou lésés, il y a risque d'une instabilité progressive de l'épaule qui pourrait générer entre autres un syndrome d'accrochage.

#### 6.4.7. L'angle articulaire du poignet lors de la phase d'impact

Les observations en situation d'entraînement ont permis de remarquer que l'angle de l'inclinaison radiale du poignet varie selon les athlètes lors de l'impact avec la MC et dans un cas selon le côté gauche ou droit. Tout au long du contact avec la MC (phases #2, 3 et 4) le poignet ne conserve pas un alignement neutre et constant avec l'avant-bras. Il varie constamment selon l'étape du cycle. Les prises de vue variables des captations vidéo ne nous permettent pas de quantifier cet angle. Nous avons tout de même observé une extension marquée du poignet pour l'athlète #112 (photo de gauche Figure 6-6). Le participant justifie cette ouverture par une blessure à l'épaule. Il précise : « Normalement on veut avoir les coudes le plus proche du corps durant la poussée. » Une extension importante du poignet combinée à un effort de flexion du poignet est un facteur de développement du STC. Une asymétrie dans le plan frontal influence également l'angle articulaire du poignet.



*Figure 6-6: Variabilité de l'angle formé par le poignet et l'avant-bras à la phase d'impact*

Un mouvement souple et fluide, à l'inverse d'une raideur musculaire dans les mouvements, diminue les secousses de l'impact aux articulations selon un athlète élite d'expérience (#112) : « Mes bras ne sont pas rigides lors du mouvement, j'essaie d'être relaxe. Puissance et force, oui, mais rigidité, non ». Il confie tenter d'épouser la MC plutôt que de la frapper.

*(#3) Critère de conception de la RI :*

*Afin de respecter l'angle d'abduction des bras de l'athlète tout au long du contact avec la MC durant un cycle de poussée, et afin de ne pas modifier le patron du cycle de poussée, la RI doit avoir une épaisseur identique aux roues arrières standard de FRC, soit 70 mm au niveau de l'essieu.*

#### 6.4.8. Une propulsion asynchrone

Nous avons vu que deux athlètes adoptent une posture asymétrique dans le plan frontal au point 6.4.3., mais dans ce cas-ci nous observons une propulsion asynchrone chez l'athlète #100 qui entraîne un léger balancement latéral du tronc et se traduit par une rotation cyclique du tronc à chaque poussée (Figure 6-7).



*Figure 6-7: propulsion non synchronisée dans les plans frontaux (vues postérieures)*

Cette non-synchronisation des forces entraîne une friction latérale en alternance sur le pneu avant (gauche droite). L'athlète observé a affirmé en autoconfrontation que la fatigue était un facteur y contribuant.

*(#4) Critère de conception de la RI :*

*Pour permettre l'analyse de l'impact d'une poussée asymétrique, la RI doit être en mesure de se synchroniser avec une autre RI dans le cas où deux RI équiperaient le FRC.*

#### 6.4.9. La position des doigts à l'impact

Les captations vidéo confirment les verbalisations en autoconfrontation : on remarque principalement trois différentes positions du pouce et des autres doigts avec la MC à la phase d'impact (#2).

##### 6.4.9.1. Position des doigts #1 à la phase d'impact

Chez l'athlète #101, le pouce seul touche en premier la surface extérieure de la roue arrière pleine à la phase d'impact (#2) (Figure 6-8). Les quatre autres doigts qui sont regroupés dans le gant (attachés par la sangle) entrent en contact avec la MC par la

suite. Une fois sur trois, le pouce rebondit sur la surface de la roue avant d'atteindre la MC. En rebondissant, le contact est irrégulier et sa durée est réduite.

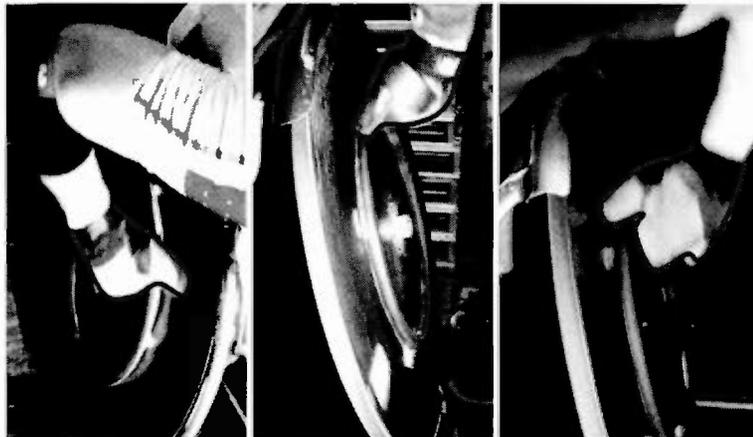


*Figure 6-8 : position #1 de la main au contact de la MC à la phase d'impact (2)*

*Le pouce touche en premier la surface de la roue.*

#### 6.4.9.2. Position des doigts #2 à la phase d'impact

À l'impact (#2), quatre athlètes (#100, 109, 110, 112) adoptent une position où le premier contact avec la MC s'effectue avec le creux formé par le pouce et l'index replié. Cela guide efficacement la main sur la MC (Figure 6-9). Les doigts touchant partiellement à la surface de la roue, cette dernière endosse une partie de la force appliquée.



*Figure 6-9 : position #2 de la main au contact de la MC à la phase d'impact (2)  
(Figure 41 précédente) \*C'est le creux formé par le pouce et l'index replié qui entre en contact avec la MC.*

*L'angle d'extension du poignet varie dans ce groupe d'athlète, indication que l'épaule effectue une rotation externe plus ou moins prononcée selon la technique et la variabilité des athlètes.*

#### 6.4.9.3. Position des doigts #3 à la phase d'impact

Pour un seul des six athlètes (#107), c'est l'éminence thénar du pouce, vis-à-vis la jointure proximale, qui entre en contact en premier lors de la phase d'impact (Figure 6-10). Ce mode est associé à une technique de poussée où la main demeure sur la surface extérieure de la MC.



*Figure 6-10 : position #3 de la main au contact de la MC à la phase d'impact (2)  
C'est la surface intérieure de la base du pouce, l'éminence thénar, qui entre en contact.*

(#5) Critère de conception de la RI :

*En raison des observations qui indiquent que la propulsion ne s'exerce pas exclusivement sur la MC alors qu'il y a contact avec la surface de la roue arrière à l'impact, la RI doit mesurer les forces appliquées sur la surface de la roue et la MC dont une grande composante est médio-latérale, et non seulement sur la main courante.*

#### 6.4.10. Deux variantes de techniques de poussée observées

Les observations fines nous ont permis de classer les techniques de poussées en deux variantes que nous avons nommées (i) doigts *entrant* à l'intérieur de la MC et (ii) doigts *n'entrant pas* à l'intérieur de la MC. Leur description diffère de celles retrouvées dans la littérature (section 2.11) et l'ensemble des utilisateurs et entraîneurs précisent qu'en dehors des cercles de chercheurs personne n'utilise les termes CVT (*conventional technique*), PBT (*para-backhand technique*) ou T51 (*technique pour les T51*), d'où nos appellations *personnalisées*.

##### 6.4.10.1. Technique avec les doigts entrant à l'intérieur de la MC

Deux athlètes (#110 et 112) utilisent une technique de poussée où les doigts de la main *entrent* à l'intérieur de la MC (Figure 6-11). La technique doigts à l'intérieur se décrit comme suit : (i) entrer en contact avec la MC avec le creux formé par le pouce et l'index replié comme guide (vers 1 :30 h<sup>10</sup>); (ii) tourner graduellement le poignet à l'intérieur de la MC alors qu'il se relève légèrement et que le coude se rapproche du corps (vers 2 :30 h); (iii) descendre la main à l'intérieur de la MC (vers 3 :30 h); (iv) enchaîner cette suite vers une sortie de la MC (vers 6 h) alors que le poignet subit une pronation ou une combinaison pronation/flexion pour l'athlète #112. Aux traces laissées par la friction avec la MC (Figure 6-12), seuls les deux premiers doigts de la main sont

<sup>10</sup> Les heures font référence au cadran d'une horloge et sont liés à l'étape plateau où les cycles de poussée se stabilisent.

sollicités. Selon les athlètes paralympiques, c'est une technique difficile à maîtriser et moins intuitive que la technique décrite où les doigts *n'entrent pas* à l'intérieur de la MC. Un entraîneur témoigne : « C'est un geste complexe et très rapide qui se développe sur plusieurs années ». Il affirme que c'est la meilleure en termes de performance pour les athlètes interviewés de classe T34, T53 et T54. Les vitesses maximales observées le confirment : 34 et 44 km/h pour ces deux athlètes qui entrent les doigts à l'intérieur de la MC comparativement à 19, 24 et 28 km/h pour les autres (#101, 107 et 109).



Figure 6-11 : séquence illustrant nettement les doigts de la main qui « entrent » à l'intérieur de la MC

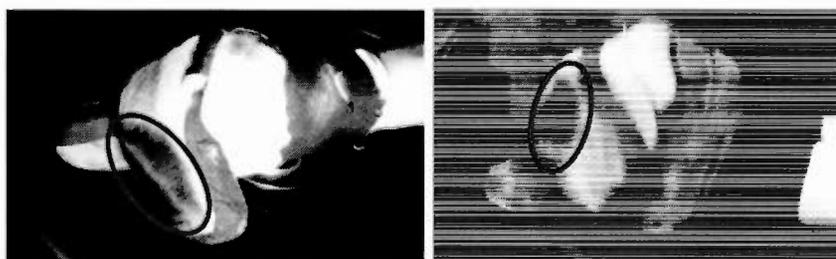
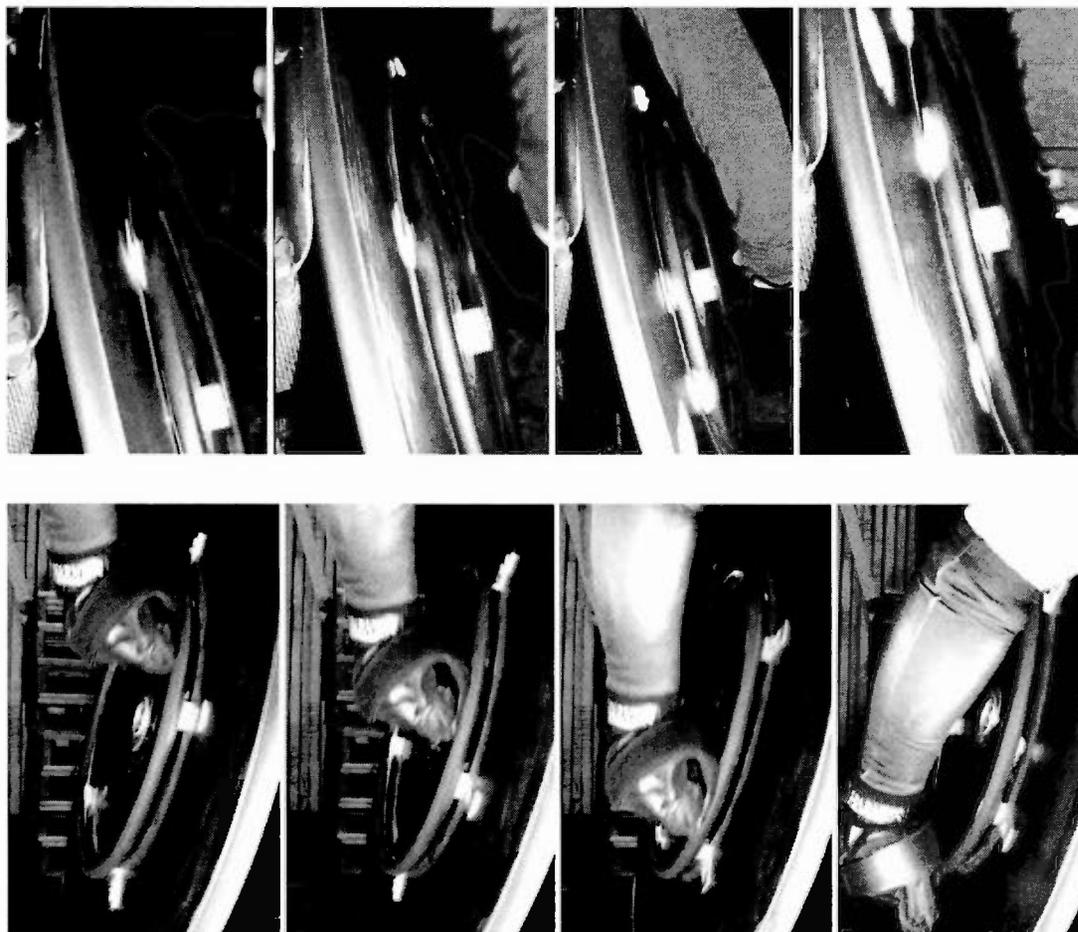


Figure 6-12 : traces sur les gants minimalistes de deux athlètes utilisant une technique de poussée où les doigts entrent à l'intérieur de la MC.

#### 6.4.10.2. Technique avec les mains en surface de la MC

Les bandes vidéo ralenties ont permis de voir que quatre athlètes (#100, 101, 107 et 109) utilisent une technique de poussée où les doigts *n'entrent pas* à l'intérieur de la

MC, la main demeurant sur la surface extérieure tout au long des phases de propulsion (Figure 6-13), indépendamment de la manière dont les doigts et la main entrent en contact à la phase #2. L'athlète #100 était très surpris de l'apprendre à la lumière de l'autoconfrontation, croyant que ses doigts *entraient* à l'intérieur de la MC.



*Figure 6-13 : technique avec les mains en surface de la MC*

*Montage du haut : noter que la MC est toujours visible aux points de contact (en rouge).  
Les courbes (en rouge) délimitent la forme du gant. (Vue du côté droit, photos prises de l'arrière)  
Montage du bas : À aucun moment la main n'est entrée dans la MC.  
(Vue du côté droit, photos prises du devant)*

La technique *mains en surface de la MC* se décrit comme suit : (i) entrer en contact avec la MC avec la surface extérieure de l'index et du majeur replié, le creux formé par le

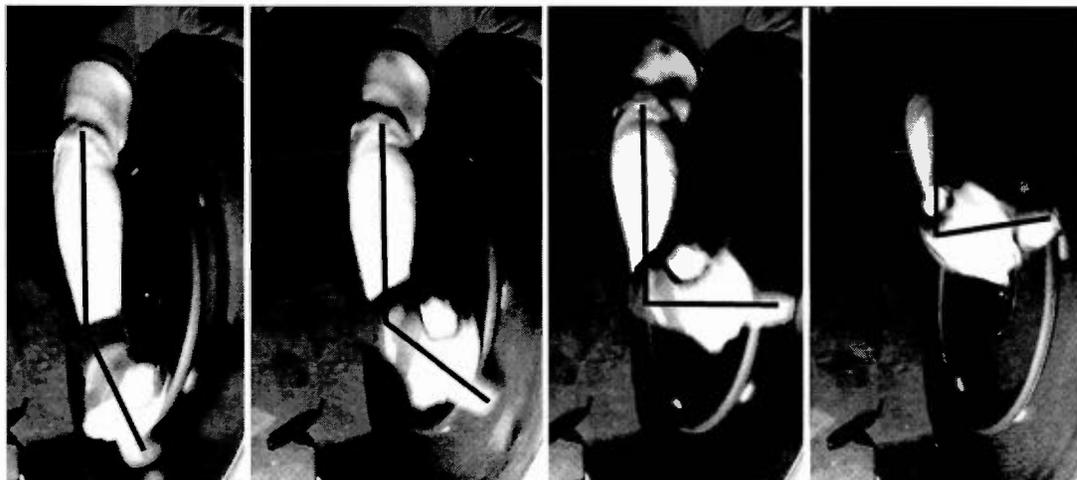
pouce et l'index replié ou l'éminence thénar (tous trois comme guide) (vers 1 :30 h); (ii) poursuivre la descente sur la surface extérieure de la MC alors que la main est parallèle au plan de la MC et que le coude se rapproche du corps (vers 2 :30 h); (iii) enchaîner cette suite vers une sortie de la MC alors que le poignet subit une pronation (vers 6 h). Selon l'ancien athlète devenu entraîneur, cette technique est moins difficile à développer, mais elle sollicite grandement les muscles de la ceinture scapulaire, car pour maintenir la friction entre la MC et le gant, l'athlète doit exercer une force appréciable dans l'axe de l'essieu. S'il est convenu que la technique des *doigts entrant à l'intérieur de la MC* est plus efficace et que c'est celle que les entraîneurs privilégient, les observations montrent qu'une majorité a du mal à le faire.

6.4.11. Enchaînement entre les phases de poussée (3) et de relâchement (5) : un geste qui se démarque

À la fin de la phase de propulsion (#3) la main de l'athlète se prépare à quitter la MC (phase de rotation #4) avant de la relâcher (#5). À ce moment, cinq des six athlètes exercent un mouvement de pronation du poignet qui induit une force rotationnelle supplémentaire à la MC. Toutefois, un athlète expérimenté (#112) adopte un mode différent : il combine la pronation à un mouvement de flexion du poignet (Figure 6-14).

Il précise cependant que lors d'un marathon, il va pratiquer rarement cette flexion du poignet et faire des poussées plus courtes, plus économiques en termes de réserve énergétique. Nous avons remarqué qu'il exerce tout de même une légère pronation à la toute fin lors de la transition vers les phases de récupération (#5 à 1), mais de façon nettement moins marquée que dans l'autre groupe. Chez un des cinq athlètes pratiquant une technique avec la main en surface de la MC (#100), cette transition apparaît saccadée comme si une micro pause s'opérait le temps de commander le geste. Les séquences vidéo démontrent clairement cet enchaînement non fluide. « Ça devrait être

naturel [cet enchaînement], mais je le fais en pensant trop, trop intellectuel, trop réfléchi, pas assez intégré... cette fraction de seconde peut ralentir ma roue. »



*Figure 6-14 : flexion suivie d'une pronation du poignet à la phase de relâchement (#5)*

*Remarquez la progression et l'enchaînement entre la pronation et la flexion du poignet. C'est le seul athlète observé qui effectue une flexion à ce stade du cycle de poussée.*

#### 6.4.12. L'angle des segments supérieur à la phase de récupération

En divisant l'essai maximal représentatif d'une course sprint en trois étapes : le départ, l'accélération et le maintien de la vitesse maximale (le plateau), nous remarquons que l'angle articulaire du coude et l'amplitude d'extension de l'épaule sont très variables entre les six athlètes (Tableau 6-3 et Figure 6-15). Ils sont respectivement :

- à la première poussée      de 94 à 107° -  $\Delta 13^\circ$  et 27 à 56° -  $\Delta 29^\circ$ ;
- à la sixième poussée      de 85 à 107° -  $\Delta 22^\circ$  et 32 à 77° -  $\Delta 45^\circ$ ;
- à l'étape *plateau*      de 93 à 145° -  $\Delta 52^\circ$  et 25 à 91° -  $\Delta 66^\circ$ .

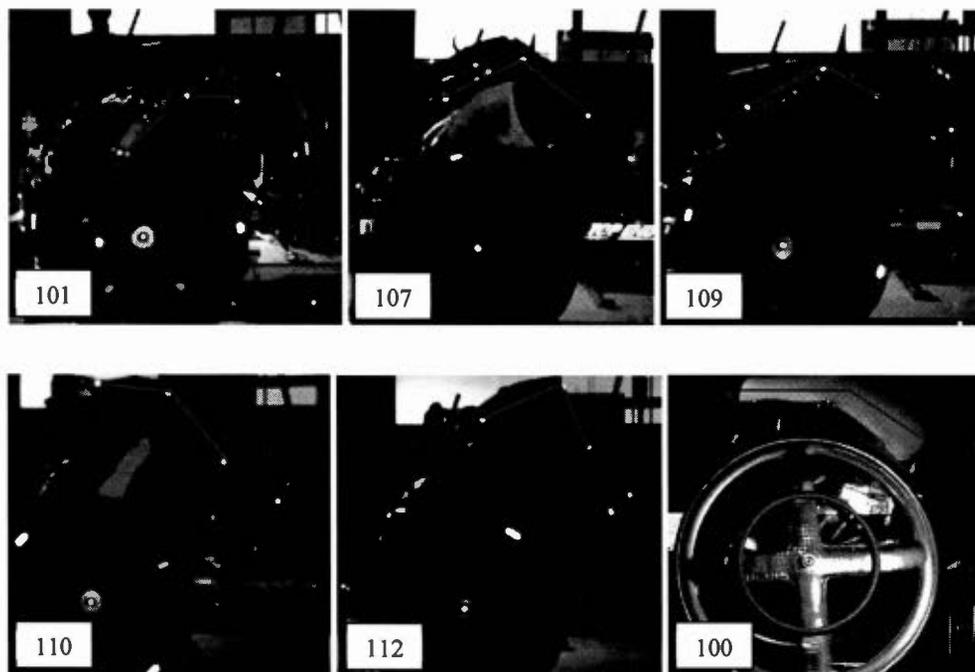
L'athlète #112 est celui qui a le plus faible angle articulaire du coude et la plus grande amplitude d'extension de l'épaule, toutes étapes confondues. Ces modes opératoires se

traduisent par une flexion du coude plus saine et une force que l'on anticipe plus grande à l'impact.

*Tableau 6-3 : Angles approximatifs des segments supérieurs au sommet de la phase de récupération.*

	Angle articulaire du coude (°) (ou angle formé par le bras et l'avant-bras)			Amplitude d'extension de l'épaule (°) (ou angle formé par le bras et le tronc)		
	1re poussée	6e poussée	plateau	1re poussée	6e poussée	plateau
100	n/d	n/d	145	n/d	n/d	42
101	94	102	133	42	47	25
107	107	96	113	31	60	64
109	94	99	125	41	51	57
110	105	107	134	27	32	64
112	94	85	93	56	77	91

La flexibilité des membres supérieurs est une cause de cette variabilité et l'athlète #112 l'exprime en mentionnant que c'est un aspect important à développer et à maintenir pour favoriser une récupération suffisamment ample (hauteur des bras à la phase #1) avant le déclenchement d'une attaque puissante. La force appliquée à la MC est grandement augmentée si la main atteint une plus grande vitesse avant l'impact.



*Figure 6-15 : variété d'hauteurs maximales des bras et des mains lors de la phase d'attaque*

*Les photos ont été extraites en situation d'entraînement à l'étape du maintien de la vitesse maximale (plateau) au centre pour le participant #100 et en laboratoire pour les autres.*

*Les droites (en rouge) relient les capteurs passifs du processus styloïde ulnaire (cubital), de l'épicondyle latéral de l'humérus et de l'acromion.*

#### 6.4.13. Comparaisons entre les patrons du cycle de poussée : synthèse d'une grande variabilité

De riches schématisations générées par le traitement des données de laboratoire sur les patrons de cycle de poussée, et représentées avec le logiciel *Mokka*, prouvent la grande variabilité des techniques de poussée entre les athlètes. La Figure 6-16 montre la trajectoire des jointures proximales de l'index et de l'annulaire (courbes noires en forme de lasso) dans le plan frontal antérieur (vue de face) lors de la propulsion à vitesse maximale en laboratoire. La position des membres supérieurs correspond au sommet de la phase de récupération (#1 - coudes les plus hauts).

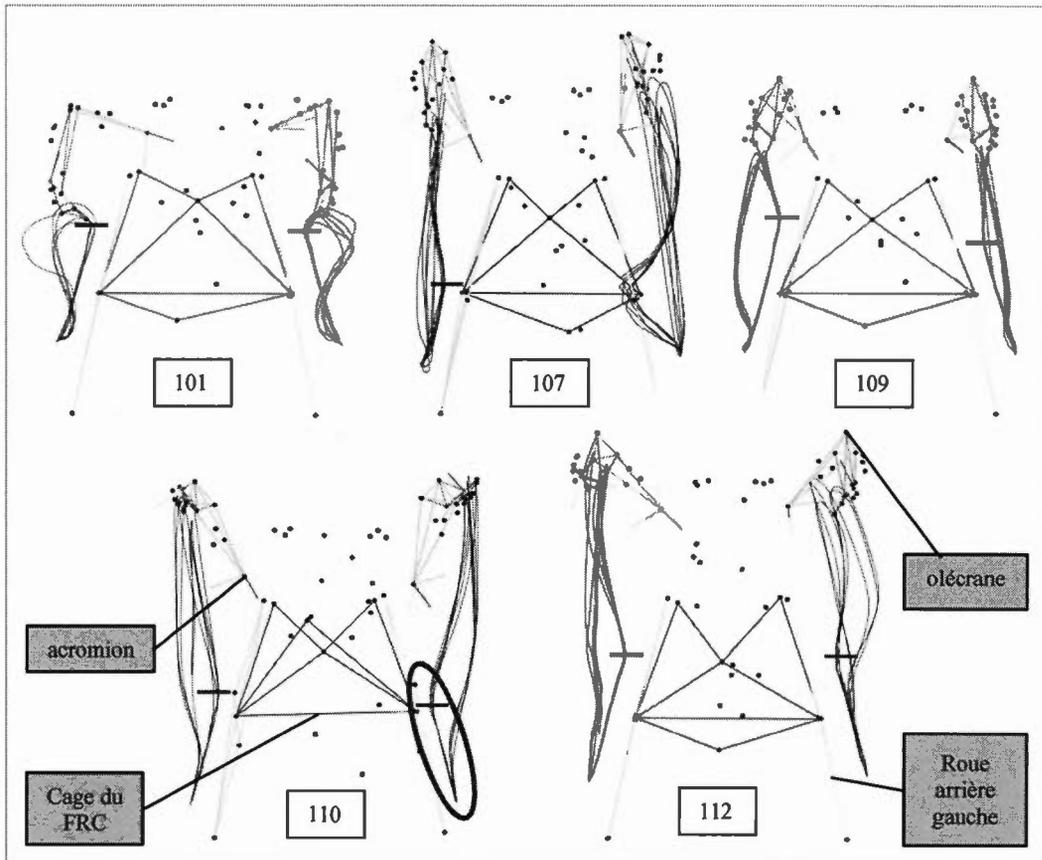


Figure 6-16 : schématisations filaires 3D formées par les capteurs actifs (vue de face) lors de l'essai effort maximal, période « plateau » d'une course sprint simulée, 15 s. après le départ.

L'ellipse rouge cerne la portion linéaire de la trajectoire de la main alors qu'elle est en contact avec la MC.

Les traits horizontaux rouges indiquent le moment de l'impact à la phase #2.

Avant même de pouvoir traiter et analyser la somme d'informations que les collectes en laboratoire ont enregistrées, ces représentations 3D des athlètes nous permettaient déjà de reconnaître qu'il y a une nette adéquation avec les verbalisations des athlètes. Cet assemblage de captures d'écran permet de comparer les athlètes entre eux sur plusieurs aspects. Le Tableau 6-4 en regroupe quelques-uns en un coup d'œil.

Tableau 6-4 : Classement des certaines observations que démontrent les représentations filaires 3D de la figure 6-16.

Athlètes	Hauteur des épaules par rapport au FRC	Hauteur des coudes par rapport aux épaules	Ouverture des épaules	Symétrie du patron entre la g. et la dr.	Présence de mouvements irréguliers (homogénéité sur environ 5 cycles)	Moment de l'impact avec la MC
101	Moyenne	Basse	Abduction prononcée	Oui	Légère déviation (dr)	Plus tôt 1 :30 h
107	élevée	Très élevée	Faible	*Représentation gauche erronée	Relativement homogène	Plus bas 3 :00 h
109	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Récupération non symétrique	Très homogène	inégal 1 :00 et 2 :00 h
110	Basse	Très élevée	Moyenne	Oui	Homogène	Plus bas 3 :00 h
112	Très élevée	Élevée	Abduction prononcée	Récupération non symétrique	Légère déviation (g)	Plus tôt 1 :30 h

On remarque que la hauteur des épaules par rapport au FRC est plus élevée pour l'athlète #112, la hauteur des coudes par rapport aux épaules est très peu élevée pour l'athlète #101, l'abduction des épaules est très prononcée pour les athlètes #101 et 112, le patron est très symétrique pour les athlètes #101 et 110, le patron est très homogène pour l'athlète #109, la phase d'impact se produit entre 1 :30 et 3 :00 h pour tous les athlètes. Les schématisations illustrent que cet impact est particulièrement inégal entre les mains gauche et droite pour l'athlète #109 et très égal pour le 112 (traits horizontaux rouges sur la Figure 6-16).

6.4.14. La force propulsive appliquée à la MC déterminée par la jauge de force et exprimée par des déformations de la roue arrière

#### 6.4.14.1. Force propulsive

La jauge de force sur laquelle la barre arrière des FRC était retenue lors des essais en laboratoire nous a indiqué une force propulsive maximale pour les deux roues arrière de 353 newtons (N). C'est la force la plus grande parmi les forces de démarrage

habituellement à la première ou la deuxième poussée. Le Tableau 6-5 nous présente une force tangentielle maximale déployée de 152 à 308 N en assumant que la force est appliquée également sur chacune des deux roues arrière. Nous n'avons présentement pas les moyens de mesurer la force radiale ou latérale, mais une éventuelle RI devrait le permettre, en plus de mesurer une force tangentielle d'au moins 310 N.

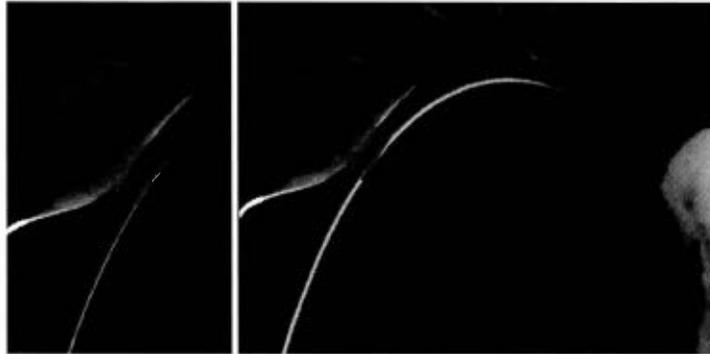
*Tableau 6-5 : Force propulsive des deux roues arrière et force tangentielle maximale à la MC générées par les athlètes (athlète #100 absent des collectes en laboratoire)*

		Rapport de rayon : force propulsive préalablement divisée par 2 roues multipliée par le Rayon de la roue arrière puis divisée par le Rayon de la MC					
	Force propulsive max des 2 roues arr.	Force propulsive divisée par 2	Diamètre roue arr.	Rayon roue arr.	Diamètre MC	Rayon MC	Force tangentielle maximale
	N	N	mm	mm	mm	mm	N
100	n/d	n/d	n/d	n/d	346,1	173	n/d
101	187	93,5	668	334	349,3	174,6	179
107	177	88,5	667	333,5	387,4	193,7	152
109	169	84,5	668	334	349	174,5	162
110	199	99,5	668	334	368,3	184,2	180
112	353	176,5	671	335,5	384	192	308

#### 6.4.14.2. Déformation de la roue arrière

Alors que la distance entre la MC et la surface extérieure des roues arrière est nulle pour un des fauteuils relevés, un athlète de niveau intermédiaire qui utilise des gants rembourrés frappe avec une telle force dans l'axe médio-latéral que les plis extérieurs des deux roues arrière de carbone (roues pleines) se sont délamés sur toute la zone entourant la MC (minimum de 10 cm). C'est l'inspection du FRC avant essai en laboratoire qui a permis à l'athlète d'en prendre conscience. Une autre observation captée par la vidéo en situation d'entraînement a montré une déformation importante

des roues arrière estimée à environ 3 mm dans l'axe médio-latéral (Figure 6-17). C'est une conséquence de l'intensité du geste qui est difficile à contrer, car la légèreté des FRC est souhaitée par les athlètes et les matériaux composites des roues modernes offrent un compromis entre solidité et légèreté.



*Figure 6-17 : déformation des roues arrière durant la phase de poussée  
Observer la distance appréciable séparant la rive de la roue et l'aile  
entre la phase #1 (à gauche) et #4 (à droite).*

Ces deux indices confirment la nécessité de bien considérer les forces que les cellules de force devront supporter et mesurer sur une éventuelle RI. Ils démontrent également le compromis à faire pour la composition des matériaux de cette RI qui devront résister aux impacts sans se rompre ou s'affaiblir. Un athlète élite mentionne qu'il a « déjà brisé un roulement de roue. Une roue c'est flexible, mais pas l'essieu et le roulement. »

*(#6) Critère de conception de la RI :*

*Afin de ne pas ralentir le FRC par des contacts entre la roue et la cage durant la propulsion, en raison des observations qui indiquent que la force de propulsion appliquée déforme les roues arrière, la RI doit avoir une épaisseur identique aux roues arrières standard de FRC, soit 70 mm au niveau de l'essieu.*

*(#7) Critère de conception de la RI :*

*En raison des observations qui indiquent que la force de propulsion appliquée déforme et délamine les roues arrière, une RI doit résister à cette force par une structure suffisamment rigide pour ne pas se déformer et se briser.*

*(#8) Critère de conception de la RI :*

*Afin de fournir une lecture des forces appliquées les plus fidèles possible, une attention particulière doit être portée sur les composantes de la RI qui sont assumées rigides : la simple supposition que chaque composante de la roue forme un corps rigide n'est peut-être pas valide et les calculs de conversion des cellules de force vers la cinétique doivent en tenir compte.*

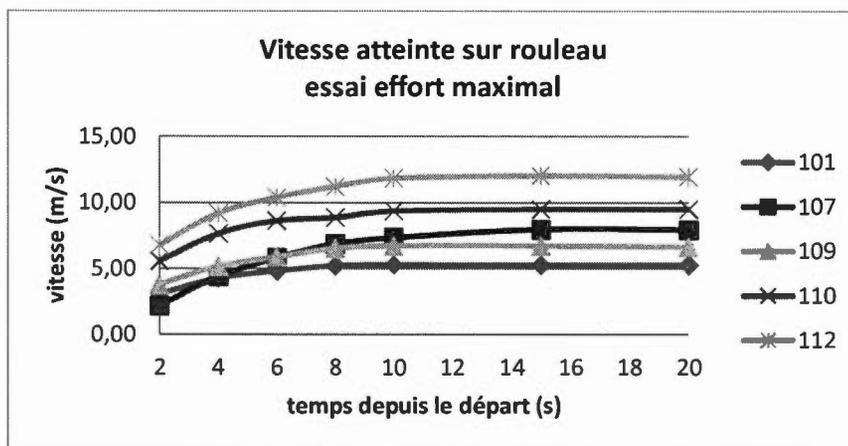
*(#9) Critère de conception de la RI :*

*Afin de soutenir la force appliquée à la MC par les athlètes, une RI doit capter et mesurer une force tangentielle minimale de 310 N.*

#### 6.4.15. Le temps comme indicateur de performance et l'accélération comme indice de performance

Le temps est le principal indicateur de la performance de l'athlète. C'est la référence pour les entraîneurs qui fixent des objectifs annuels. Il diffère selon la classe et le sexe de l'athlète, les T54 masculins possédant les meilleurs résultats. À vitesses maximales semblables, l'accélération est un indice qui peut déterminer l'issue d'une course. En laboratoire, nous avons observé que quatre des cinq athlètes développent une vitesse qui se stabilise vers la dixième seconde, de 6,72 à 11,84 m/s. La vitesse de l'athlète #101 se stabilise vers la huitième seconde à 5,22 m/s (Tableau 6-6).

Tableau 6-6 : Progression de la vitesse atteinte sur rouleau lors de l'essai effort maximal par plage de deux secondes.



En définissant la plage de vitesse maximale comme étant la plage où les athlètes roulent à plus de 98% de leur vitesse maximale, ils ont accéléré à partir du départ arrêté, puis maintenu cette vitesse maximale (plateau) avant d'entamer une décélération constante. Les moments exacts où les athlètes ont atteint ces étapes figurent au Tableau 6-7.

Tableau 6-7 : Profil de la vitesse selon les plages d'accélération, de maintien à plus de 98%, et de décélération lors de l'essai effort maximal.

	durée de l'accélération avant la plage de vitesse maximale		maintien de la vitesse maximale à + de 98%		vitesse maximale atteinte	
	secondes	poussées	secondes	poussées	m/s	km/h
101	9,03	17	9,78	18	5,29	19,04
107	12,89	23	12,00	23	7,89	28,42
109	9,49	20	9,73	19	6,63	23,85
110	15,92	31	26,45	44	9,49	34,18
112	11,19	24	14,59	26	12,17	43,82

En fonction de la vitesse maximale enregistrée (12.17 m/s), l'athlète élite le plus performant (#112) atteint la plage de 98% plus rapidement en 11.19 s. et maintien cette

vitesse maximale pendant 14.59 s. Le deuxième athlète élite (#110) maintient une vitesse maximale plus longtemps pendant 26,45 s., mais au détriment d'une accélération plus lente soit pendant 15.92 s., 4,73 s. de plus que l'athlète #112. Selon les entraîneurs et les athlètes, la capacité à accélérer rapidement est un des facteurs importants favorisant la performance. La capacité à maintenir une vitesse *plateau* est une qualité recherchée pour les compétitions de plus longues distances, 1500 m et plus. Suite à la question *quel est le point à améliorer qui vous permettrait de mieux performer et ravir les quelques centièmes de secondes qui vous séparent de la médaille d'or aux compétitions de courte durée (100, 200 et 400 m)* les athlètes répondent qu'ils désirent : baisser leur temps pour se qualifier aux championnats canadiens, apprendre à doser leur tempo entre le début et la fin d'une course, augmenter la force qu'ils appliquent aux premières poussées pour accélérer plus rapidement au début des courses. « J'atteins (#112) une vitesse semblable à mes concurrents, mais dans un 100 ou un 200 m<sup>11</sup>, tout se joue au départ pendant les premières poussées. »

Le suivi des performances en situation de compétition et d'entraînement permet de cibler des objectifs à court et moyen terme, les temps obtenus lors des compétitions étant un critère très important.

*(#10) Critère de conception de la RI :*

*Afin d'obtenir une donnée importante sur la propulsion en FRC, la RI doit mesurer la vitesse angulaire en radians par seconde ou en rotation par minute (rpm).*

---

<sup>11</sup> Le record mondial du 100 m T54 est de 13.63 s, et le 100 m T53 14.17 s.

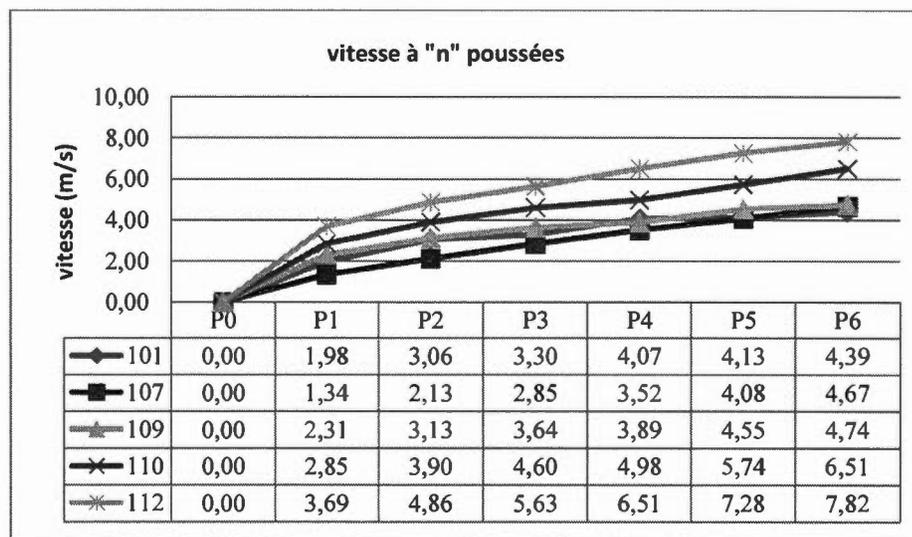
*(#11) Critère de conception de la RI :*

*En fonction de la performance souhaitée et de la vitesse maximale enregistrée de 12.17 m/s (43.82 km/h), les roulements de l'essieu de la RI doivent offrir le moins de friction possible tout en résistant aux impacts et aux vitesses de rotation appliquées, soit un minimum de 350 rotations par minute.*

#### 6.4.16. Poussées de départ et vitesse atteinte

Alors que la vitesse augmente de façon presque linéaire durant les six premières poussées pour tous les athlètes, le plus rapide se démarque nettement de ses collègues avec un gain de vitesse entre la première et la sixième poussée presque deux fois plus élevée que le plus lent, de 3,7 à 7,8 m/s (#112) comparativement à 1,3 à 4,7 m/s (#107) (Tableau 6-8). Les cadences maximales ont été enregistrées entre la 6<sup>e</sup> et la 8<sup>e</sup> poussée à l'exception de l'athlète #107 qui a offert un essai plus irrégulier. L'athlète #112 a atteint la vitesse la plus élevée après six poussées, ce qui traduit une force appliquée plus grande ou plus efficace. Nous ne disposons toutefois pas de données sur l'angle et la durée de contact avec la MC pour nous permettre d'évaluer un rapport possible entre cette force, sa direction et la durée pendant laquelle elle était appliquée, ce qui nous donnerait davantage d'éléments pour expliquer cette performance.

Tableau 6-8 : Vitesse selon les six premières poussées de l'essai « propulsion en effort maximal ».



\*En abscisse : P0 = départ arrêté, P1 = première poussée 1, P2 = deuxième poussée, etc.

#### 6.4.17. Cadence des poussées et vitesse atteinte

Comme nous l'avons vu précédemment, une course sprint en FRC n'est pas une activité linéaire et nous devons la diviser en étapes. Pour l'essai de propulsion en effort maximal, la cadence a atteint un sommet de 2,62 Hz pour un athlète élite (#110) comparée à 2 Hz pour un athlète récréatif (#101). L'athlète #112 est le seul à présenter une constance avec 1,9 à 1,8 Hz pour les vingt premières secondes et il atteint une vitesse maximale plus élevée et plus rapidement (12,2 m/s à 17,88 s) que l'athlète #110 (9,5 m/s à 26,8 s) et ce pour des cadences respectives de 1,78 et 1,66 Hz. Ceci démontre que la cadence n'explique pas à elle seule la performance, car au seuil maximal de la cadence l'athlète #110 obtient une vitesse de 6,74 m/s à 2,83 Hz comparativement à 8,11 m/s à 2,62 Hz pour l'athlète le plus performant (#112) (Tableau 6-9 et Tableau 6-10).

Tableau 6-9 : Cadence moyenne selon des plages de temps pendant l'essai « propulsion en effort maximal »

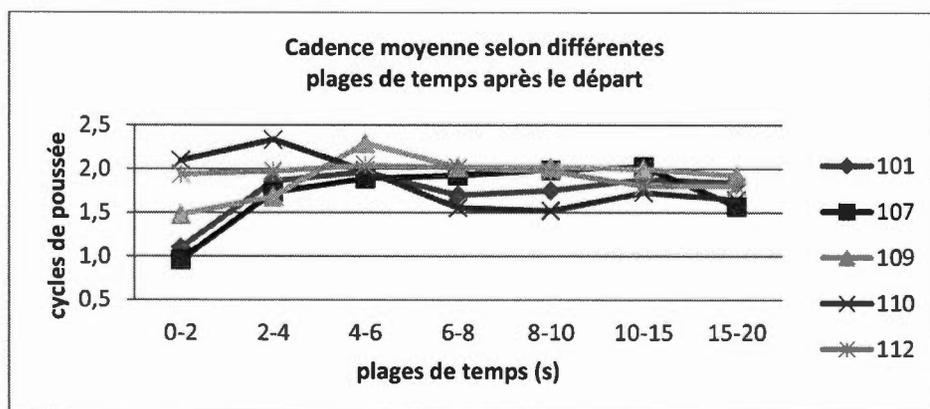


Tableau 6-10 : cadences et vitesses maximales pendant l'essai « propulsion en effort maximal »

	Cadence maximale				Vitesse maximale			
	Hz	atteinte à "n" sec	vitesse (m/s)	atteinte à "n" poussée	Hz	atteinte à "n" sec	vitesse (m/s)	atteinte à "n" poussée
101	2	4,83	4.57	8	1,78	11,17	5,3	20
107	2,18	14,80	7.9	26	2,18	14,80	7,9	26
109	2,25	4,32	5.37	8	1,95	15,00	6,6	30
110	2,83	3,00	6.74	7	1,66	26,8	9,5	48
112	2,62	2,89	8.11	6	1,66	27,4		49
					1,78	17,88	12,2	35
					1,83	18,42		36
					1,78	19,98		37

*(#12) Critère de conception de la RI :*

*Afin de reproduire fidèlement la propulsion en FRC, entre autres vaincre l'inertie au départ, le poids total de la RI doit tendre vers celui des roues classiques pleines en carbone soit 1,1 kg.*

#### 6.4.18. Courbes d'énergie

Les Tableaux 6-11 et 6-12 montrent une estimation de l'énergie (en joules) que deux athlètes ont transférée à leur FRC à chaque poussée (en magenta), ainsi que l'énergie consommée par la friction à chaque poussée (en jaune). Généralement, plus le fauteuil va vite, plus il est difficile de générer de l'énergie cinétique, et plus la friction consomme d'énergie par poussée. L'énergie transférée est une excellente mesure de l'efficacité d'une poussée. Si l'athlète transfère davantage d'énergie que la friction n'en consomme, le fauteuil accélère, sinon il décélère. L'énergie consommée par la friction est presque trois fois plus grande pour l'athlète #112 en raison de sa vitesse plus élevée. Il atteint 12,17 m/s en 17,9 s. contre 5,3 m/s en 11,2 s. pour l'athlète #101, signe de l'efficacité de ses poussées.

Tableau 6-11 : Estimation de l'énergie transférée (joules) à chaque poussée lors de l'essai maximal d'un athlète élite (#112).

Estimation de l'énergie (joules) transférée vers le FRC à chaque poussée (en magenta)  
Énergie consommée par la friction à chaque poussée (en jaune) selon le temps

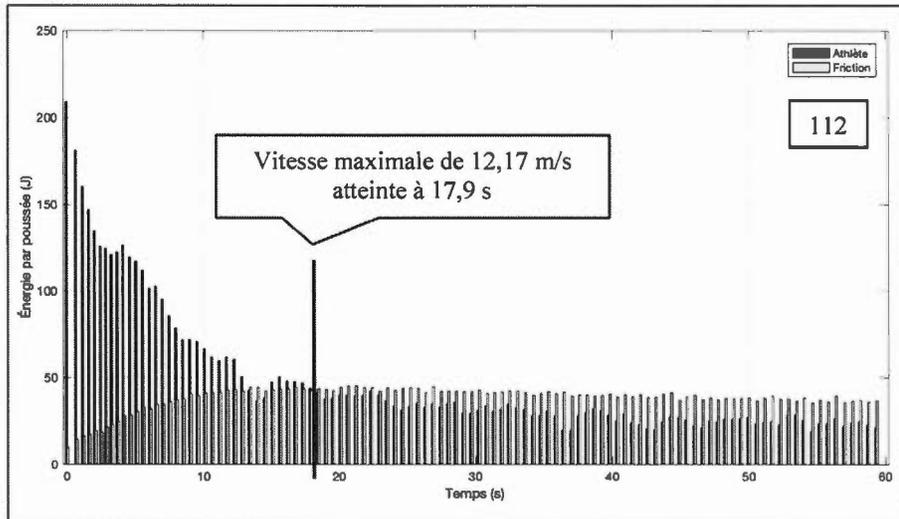
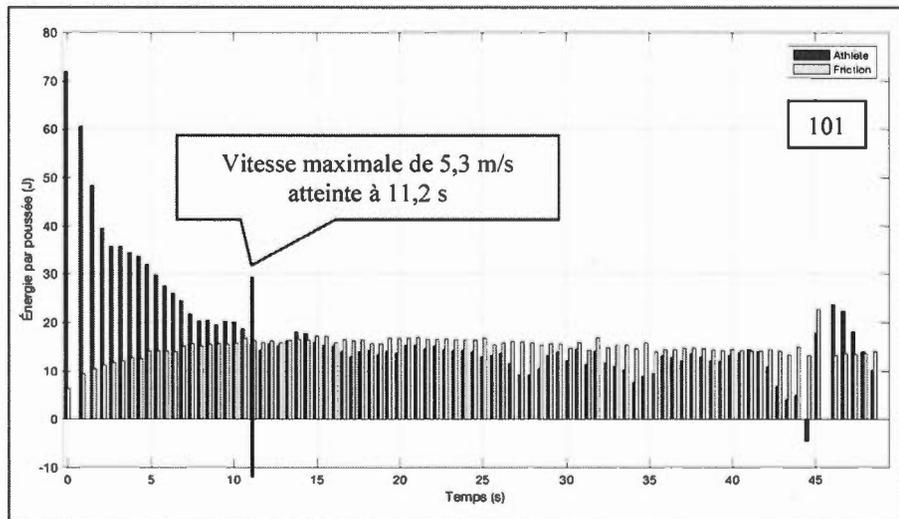


Tableau 6-12 : Estimation de l'énergie transférée et consommée (joules) à chaque poussée lors de l'essai maximal d'un athlète "récréatif" (#101).

En magenta, l'estimation de l'énergie (joules) transférée vers le FRC à chaque poussée  
En jaune, l'énergie consommée par la friction à chaque poussée selon le temps



#### 6.4.19. Conclusion sur la variabilité des gestes et techniques

Bien qu'une multitude de facteurs influencent le succès des athlètes avec, entre autres, leur motivation, leur morphologie, leurs déficiences sensorimotrices et/ou incapacités fonctionnelles et les techniques de poussée employées, l'analyse ergonomique terrain et l'analyse biomécanique en laboratoire du geste de propulsion nous ont montré une variabilité des modes opératoires frappante entre les athlètes. La prochaine section présente les résultats qui concernent les caractéristiques des équipements et leur influence sur l'activité.

*(#13) Critère de conception de la RI :*

*Afin de monitorer la performance et la variabilité des gestes de propulsion en FRC, la RI doit mesurer : la force et les moments appliqués en 3D, la vitesse et la cadence des poussées.*

#### 6.5. Les caractéristiques des équipements et leur influence sur l'activité

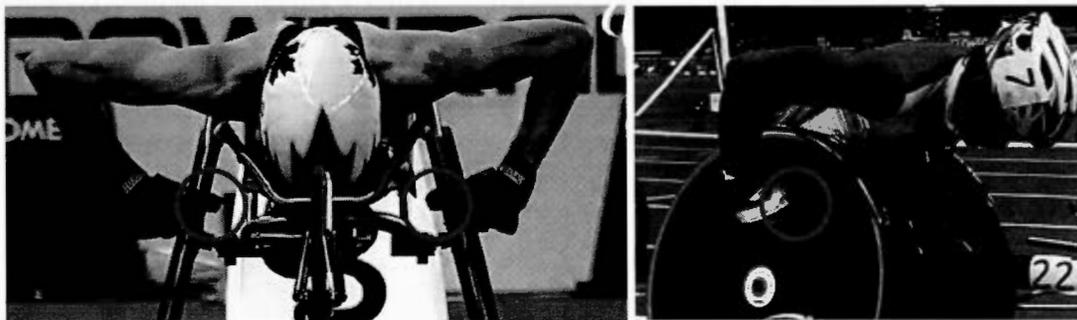
L'ajustement optimal de l'interface athlète/FRC joue un rôle essentiel quant au positionnement de l'athlète et a des effets sur la santé et les performances. Il y a cependant d'autres facteurs en lien avec les équipements qui y contribuent, notamment les caractéristiques des gants, de la MC et de son espacement, des roues arrière et des pneumatiques, et de l'ajustement du pincement. Le rouleau d'entraînement est également un équipement essentiel à la pratique du sport en FRC.

##### 6.5.1. Les caractéristiques des FRC et l'activité

L'entretien du fauteuil, la MC, les caractéristiques des roues arrière et la position de l'assise ont une incidence marquée sur l'activité.

### 6.5.1.1. Les caractéristiques des roues arrière

La forme étoilée ou la roue pleine - Au cours de l'étude, deux types de roues arrière en composites de résine et fibres de carbone ont été utilisées par les athlètes, soit des roues pleines et étoilées (Figure 2-7). Aucune roue classique à rayons multiples n'a été observée. Un athlète (#112) rapporte que certains coureurs préfèrent la roue étoilée pour les grandes distances sur route, car elle offre moins de résistance au vent s'il souffle perpendiculairement au FRC. Au départ d'une course, nous avons observé que les athlètes se positionnent de telle manière qu'au signal, la main est prête à déployer une force initiale, et que cette position diffère selon le type de roue arrière et selon la technique de poussée employée. Un seul des six athlètes (#100) a opté pour des roues arrière étoilées à quatre traverses et il témoigne qu'elles permettent un mode opératoire alternatif pour éviter le glissement, le pouce pouvant entrer littéralement à l'intérieur, s'appuyer solidement sur un des bras étoilés, et offrir une seule et première poussée plus forte (image de gauche, Figure 6-18).



*Figure 6-18 : Positions des pouces adoptées avant la première poussée du départ*

*g : roue étoilée, pouces appuyés sur une étoile  
(départ à la finale du 100 m, Jeux de Rio 2016, Brent Lakatos T53);*

*dr : roue pleine, pouce appuyé sur la MC et contre la surface de la roue  
(départ à la 1<sup>re</sup> ronde du 800 m, Jeux de Rio 2016, Saichon Konjen T54)*

La rotation interne de l'épaule est plus prononcée cependant. La configuration de cette roue étoilée influence aussi la technique pour les poussées subséquentes, car il n'y a pas

de surface pleine qui permette de guider les doigts et la main. Parmi les cinq athlètes avec des roues pleines, le pouce entre toujours en jeu lors de la première poussée, tantôt en extension et parallèle à l'axe de l'essieu (z), tantôt sur la MC, avec un angle qui dépend de la distance entre la MC et la surface de la roue arrière.

*(#14) Critère de conception de la RI :*

*Afin de reproduire le même type de roue arrière que celui que les athlètes utilisent (une avec une surface extérieure pleine, l'autre ouverte avec quatre rayons) et qui influence la position des doigts et de la main à la première poussée et les poussées subséquentes, la RI devra offrir deux configurations différentes, sinon deux RI devront être réalisées.*

Le carrossage des roues arrière - Le carrossage de 12 degrés est identique pour l'ensemble des FRC relevés (Tableau 6-16) et aucun entraîneur, athlète ou intervenant n'a mentionné la raison de ces choix. Un carrossage plus élevé engendre une résistance plus grande en raison de la friction au sol et exige un transfert d'énergie au FRC plus élevé pour compenser cette augmentation (Mason *et al.*, 2011). Bien que cela favorise un dégagement plus grand entre la MC et l'avant-bras à la fin de la phase de propulsion (#3) en prévenant la friction, plus l'angle de carrossage diminue, plus cela influence le patron que les bras effectuent durant un cycle de poussée. Modifier cet angle modifie nécessairement l'angle d'abduction de l'épaule.

Le pincement des roues arrière a un effet marqué sur la performance de l'athlète - Un pincement (ouverture ou fermeture) déficient impose une force de friction importante comme mentionnée au bilan des connaissances. À l'aide de notre instrument de mesure (Figure 5-2), nos observations ont montré qu'il y avait une ouverture des roues arrière de plus de 12 mm sur le FRC d'un athlète et de nul à 5 mm pour les cinq autres

(Tableau 6-13). Les athlètes expriment savoir que le pincement s'ajuste, mais seulement un (#112) le vérifie régulièrement.

*Tableau 6-13 : Paramètres des roues arrière et de la MC des FRC relevés.*

	Carrossage roues arrière	Pincement roues arrière ( <i>toe-in</i> )	Diamètre extérieur de la MC	Diamètre sectionnel du tube formant la MC	Dégagement de MC de la surface des roues arrière
athlète	Degrés (°)	mm	mm (po)	mm	mm
100	12	5	346 (13,6)	16	8
101	12	3	349 (13,8)	14	10
107	12	5	387 (15,3)	16	2
109	12	* nul	349 (13,8)	15	* nul
110	12	12	368 (14,5)	17	5
112	12	3	384 (15,1)	16	10

Pour exprimer l'importance de la friction, après une correction du pincement de 12 à 2 mm, ouverture cible (2 à 3 mm) émise par les techniciens, le sujet #110 a enregistré un gain de vitesse sur rouleau d'entraînement remarquable d'environ 5 à 6 km/h et exprimé ressentir une résistance à la poussée beaucoup plus faible. Dans ce cas précis, un mauvais entretien du FRC était en cause et les observations montrent des chocs encaissés par les FRC lors de leur transport en véhicule automobile. Nous attestons que ces chocs peuvent être responsables de tels désajustements. Le transport du FRC use, brise, et dérègle les composants. Les athlètes paralympien utilisent des caisses rigides ou des enveloppes flexibles pour les transports en avion, ce qui est apprécié.

*(#15) Critère de conception de la RI :*

*Afin de protéger la RI des collisions durant son transport, la conception d'une RI doit prévoir un coffre de transport rigide.*

Les pneumatiques - Les relevés sur FRC ont démontré que les roues arrière utilisées par les cinq athlètes ont un diamètre hors-tout identique de 635 mm sans pneu (Tableau 6-14), que les pneus ont une hauteur de 19mm à l'exception de l'athlète #112 (21 mm), et qu'ils sont enchâssés de 3mm à l'intérieur de la roue. Ce dernier mentionne qu'une nouvelle génération de concurrents utilise des pneumatiques pouvant aller jusqu'à 23 mm de hauteur pour augmenter la circonférence des roues et espérer gagner en vitesse. Comparativement à un pneu de 19 mm, le gain en circonférence est de 25 mm. Sur une distance de 100m, pour un même nombre de tours de roue, cela représente plus d'un mètre d'avance.

*Tableau 6-14 : Diamètre des roues arrière avec et sans pneumatique et hauteur des pneus.*

athlète	Diamètre hors-tout roues arrière AVEC pneu	Diamètre hors-tout roues arrière SANS pneu	Hauteur des pneus
	mm	mm	mm
100	n/d	n/d	n/d
101	668	635	19
107	668	635	19
109	668	635	19
110	668	635	19
112	671	635	21

Le gonflage - La pression des pneus avant est commune à tous à 120 lb et les athlètes y portent moins d'attention qu'aux roues arrière. La pression de ces dernières varie grandement selon les athlètes, les conditions et les surfaces de roulement (Tableau 6-15). Ils gonflent et ajustent la pression de leurs pneus avant chaque compétition et entraînement. Un athlète (#109) conserve la même pression à 170 lb, quelles que soient les conditions alors que pour les autres, la pression varie de 125 à 180 lb.

Tableau 6-15 : Variation de la pression des pneus arrière des FRC relevés selon différentes conditions.

\*Les chiffres en rouge expriment les extrêmes et la série de pression identique.

athlète	PISTE lb / po <sup>2</sup>		ROULEAU lb / po <sup>2</sup>	ROUTE lb / po <sup>2</sup>	
	entraînement	compétition	entraînement	entraînement	compétition
100	160	180	160	160	180
101	160	160	160	160	160
107	160	160	160	160	160
109	170	170	170	170	170
110	160	160	160	160	160
112	125	125	180	160	160

Un pneu mou offre une surface de contact accrue par l'affaissement et la déformation et engendre une plus grande résistance au sol. La résistance des pneumatiques au sol est partie de l'équation qui calcule l'ensemble des forces opposant l'avancée du FRC. Ces forces sont (i) la friction au sol, (ii) la résistance à l'air, (iii) les effets de la gravité (selon si l'on gravit ou descend une pente), (iv) et la friction interne des roulements<sup>12</sup> (Vanlandewijck, 2016). L'athlète #112 nous informe d'une nouvelle tendance chez les professionnels qui est de réduire la pression jusqu'à 125 lb sur des pistes synthétiques d'athlétisme en raison de la surface plus tendre qui permettrait aux pneus *durs* d'entrer plus profondément dans la matière. Cette pratique n'est supportée par aucune étude et contredit le comportement décrit plus haut (affaissement, déformation et résistance).

Selon nos observations de l'épaisseur ou de la pression des pneumatiques, il n'est pas possible de faire des liens avec un quelconque impact de la pneumatique sur le geste de se propulser en FRC.

<sup>12</sup> Le produit de la somme de ces forces, avec la vitesse de l'athlète, égale la puissance en watts qui doit être générée pour maintenir cette vitesse.

(#16) Critère de conception de la RI :

*Afin de respecter les dimensions et la pneumatique des roues arrière, la RI doit avoir un diamètre de 635mm hors-tout (sans pneu) et être équipée d'un pneu gonflable de 19mm de hauteur enchâssé de 3mm à l'intérieur de la roue et résistant à des pressions d'au moins 180 lb pour un diamètre total de 668mm.*

### 6.5.1.2. La main courante (MC)

Le diamètre et l'espacement de la surface des roues arrière - Les athlètes utilisent différents diamètres hors-tout de MC sur leur FRC, de 346 à 384mm (13 ½ à 15 po.), et cela influence la qualité de l'atteinte. L'espacement entre la MC et la surface des roues arrière varie de nulle à 10 mm et influence la technique de poussée (Tableau 6-16).

Tableau 6-16 : Relevés dimensionnels des FRC des athlètes participants

*\*roue en fibre de carbone étoilée à quatre traverses*

Athlète	Long. FRC	Larg. FRC	Larg. ouverture de la cage	Ø roue arrière sans pneu	Ø roue arrière avec pneu	Carrossage	Pincement	Ø de la MC	Ø Sectionnel de la MC	Espacement des MC de la surface des roues arrière
	mm	mm	mm	mm	mm	degrés	mm	mm	mm	mm
100	1797	591	233	635*	667	12	5	346	16	8
101	1892	670	333	635	668	12	3	349	14	10
107	1880	603	235	635	667	12	5	387	16	5
109	1778	651	279	635	668	12	nul	349	15	nul
110	1886	619	276	635	668	12	2	368	17	5
112	1880	651	271	635	671	12	3	384	16	10

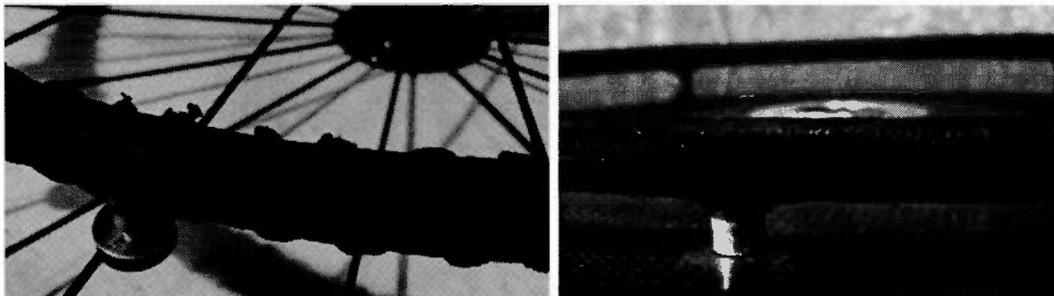
Cette variation influence l'angle d'abduction de l'épaule (élévation latérale du bras) principalement pour ceux qui pratiquent une technique de poussée *mains en surface*. Si l'athlète utilise une technique où la main *entre* à l'intérieur de la MC, un espacement plus élevé de la MC permet de diriger plus efficacement les doigts sur la surface

intérieure de la MC. Les athlètes qui *frappent* avec la main sur la surface de la roue verront l'angle d'extension du poignet réduite. Aucun athlète n'a pu justifier la distance qui sépare la MC de ses roues arrière et nous n'avons trouvé aucune information dans la littérature à ce sujet. La technique de poussée étant un apprentissage de longue haleine, il apparaît impératif qu'une RI puisse s'adapter à ces variations en permettant l'ajustement de cette distance séparant la MC de la surface de la roue arrière.

(#17) *Critère de conception de la RI :*

*Afin de reproduire les différentes configurations de MC que les athlètes utilisent, la RI doit permettre l'ajustement de la distance qui sépare la surface de la roue de la MC de nulle à au moins 10mm.*

Le revêtement et l'adhérence de la MC - Le recouvrement des MC offre une surface adhérente essentielle au transfert efficace de la force pour la propulsion. Perdre une poussée à cause d'une main qui glisse peut s'avérer catastrophique en termes de médaille sur une courte distance. L'enveloppe d'environ 1 à 2 mm d'épaisseur qui recouvre le cerceau en aluminium de la MC (l'âme) est faite de pneus classiques de FRC ou de vélo. Elle s'use très rapidement en raison de la fréquence et de la répétitivité du geste (Figure 6-19). Une cadence de poussée arrondie à 2 Hz représente plus de 400 poussées sur une distance de 1500 m pour un athlète de niveau paralympique.



*Figure 6-19 : Recouvrements de la MC*

*À gauche : roue de série à rayons avec bandelettes de cuir retenant le recouvrement en place le temps du séchage de la colle;*

*À droite, gros plan sur le recouvrement "maison" d'un athlète (pneu de vélo de course découpé et collé sur la MC en aluminium). Le dégagement de la MC de la surface de la roue arrière est de 10 mm sur cette roue.*

*\*Remarquer que la surface de la roue de droite est propre, sans trace d'adhérent, ce qui signifie que le gant ne frappe pas la surface.*

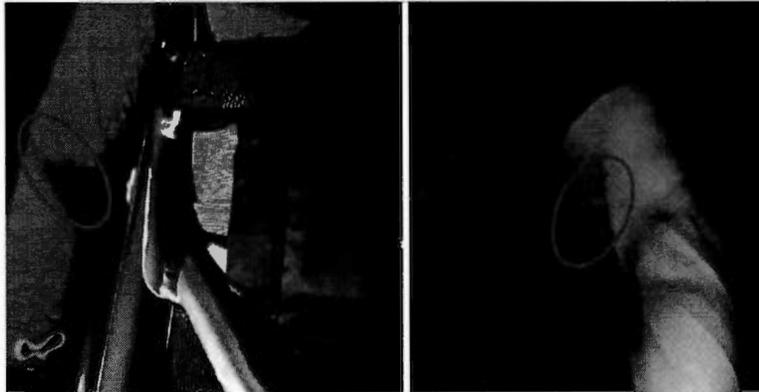
*\*\*Observer également les deux différents types de fixation de la MC selon le type de roue : à gauche, une tige et deux rondelles qui se fixent sur un rayon par pincement; à droite, une tige cylindrique plus costaute, ancrée par une fixation intégrée à la roue pleine en matériaux composites.*

Les techniciens interviewés rapportent que ce recouvrement doit être changé régulièrement. Pour un athlète élite plus d'une fois par année. Certains athlètes poncent (sablent) la surface pour ajuster l'adhérence qui serait trop agressive lorsque le recouvrement est neuf. L'athlète #110 précise qu'il utilise de vieux pneus pour couvrir ses MC. Il les découpe et les fixe avec une colle de contact classique. Un entraîneur exprime que certains athlètes élités utilisent un recouvrement de MC plus agressif (plus adhérent) s'il pleut.

*(#18) Critère de conception de la RI :*

*À défaut de pouvoir permuter la MC du FRC des athlètes avec celle de la RI, et afin de reproduire le plus fidèlement possible l'adhérence de la surface de la MC que les athlètes utilisent, la RI doit offrir un revêtement de MC représentatif de celui qui recouvre la MC des athlètes.*

Frottement des bras sur la MC - L'interface athlète/FRC et la variété morphologique des athlètes modulent la distance qui sépare les bras de la MC. Les observations montrent qu'il y a contact occasionnel entre ces deux derniers et que les conséquences varient de simples taches sur les vêtements à des ecchymoses sur les avant-bras (Figure 6-20). À haute vitesse, la main qui glisse de la MC peut provoquer de sérieuses blessures par friction, le recouvrement rugueux et adhérent étant responsable. Par prévention, les athlètes #101, 109 et 110 portent des manches enveloppantes pour protéger leur peau alors qu'ils ont tous mentionné avoir déjà souffert d'un glissement provoquant des saignements.



*Figure 6-20 : Taches sur les bras démontrant un contact répété avec la MC  
(Droite) Remarquer la faible distance qui sépare la surface de la roue arrière des bras*

*(#19) Critère de conception de la RI :*

*Pour éviter le contact avec la MC et des blessures aux bras, le volume et les dimensions de la RI en termes d'épaisseur de son âme et d'angle de sa surface extérieure devront respecter celui des roues arrière pleines de série pour conserver une distance sécuritaire entre la MC et les bras des athlètes, soit 70 mm au niveau de l'essieu.*

### 6.5.2. Les caractéristiques des gants et l'activité

L'étude a révélé l'utilisation de deux types (illustrés à la Figure 2-10) : (i) quatre athlètes (#100, 101, 107, 109) adoptent le type flexible avec bourrure; et (ii) deux athlètes (#110, 112) le type minimaliste fabriqué sur mesure<sup>13</sup>. Le premier groupe ne nous a pas confié d'information particulière sur la raison justifiant leur choix si ce n'est que c'est le type qu'on leur a fourni au début de leur pratique sans autre essai. Les deux autres athlètes ont précisé que les gants minimalistes leur procurent une sensation accrue, mais qu'ils protègent moins les doigts des impacts répétés. Selon eux un gant mieux rembourré protège mieux les doigts, mais transfère moins de force à la MC en plus de diminuer les sensations. Les utilisateurs de gants minimalistes disent ne pas avoir besoin d'attacher ou de recouvrir les deux doigts non sollicités pour la propulsion (l'annulaire et l'auriculaire).

Une tendance contemporaine fait la promotion des gants durs thermoformés avec des pastilles plastiques de type Rolyan<sup>mc</sup>, mais aucun athlète ne les utilise présentement, bien que deux d'entre eux ait l'intention de les expérimenter dans un avenir proche. Ce type de gants est fabriqué par les athlètes eux-mêmes. Un athlète élite d'un autre club affirme sans équivoque que ses performances ont augmenté depuis l'utilisation de ce type de gant. L'observation de compétitions des Jeux paralympiques de Rio a démontré l'engouement pour cet équipement auprès des athlètes paralympiens, mais pas son

<sup>13</sup> Gants fabriqués en Asie par un ancien athlète paralympique.

utilisation exclusive. L'athlète #112 est *retourné* aux gants minimalistes après avoir utilisé des gants durs pendant deux ans « ...pour faire comme tout le monde à l'époque ». Il insiste sur le fait qu'il faille bien développer sa technique de poussée avec des gants mous avant l'essai de gants durs. Le médecin sportif interviewé prévient que tout changement brusque et non graduel peut entraîner des blessures, changement de technique, de fréquence et de volume d'entraînement et d'équipements. Changer ses gants mous pour des gants durs sans s'y préparer adéquatement pourrait augmenter le risque de blessure au poignet.

Pour fabriquer des gants durs, les athlètes moulent une pâte plastique épousant d'un côté la morphologie des doigts qui entrent en contact avec la MC et de l'autre côté la contre-forme de la MC. On comprend que cette dernière forme est très difficile à obtenir alors que la configuration que crée la zone de contact entre la main et la MC évolue tout au long de la poussée et n'est pas constante. Par sa nature rigide, ce type de gant transfère mieux la force à la MC, mais en contrepartie les articulations des membres supérieurs absorbent un plus grand choc. Un entraîneur nous mentionne que les plus petits os du poignet, scaphoïde et semi-lunaire, sont particulièrement à risque de subir de micro fractures de stress en raison de leur nature poreuse et peu vascularisée.

(#20) *Critère de conception de la RI :*

*En raison de l'application d'une très grande force d'impact au tout début de la poussée, les cellules de force doivent supporter et mesurer cette force d'impact supposée.*

### 6.5.3. Conclusion sur les caractéristiques des équipements et leur influence sur l'activité

Un dégagement de la MC de la surface des roues arrière, le recouvrement de la MC et l'adhérent qui y est appliqué, le bon entretien des pneus et l'alignement des roues arrière sont tous des facteurs qui ont démontré une influence marquée sur la performance et sur le geste de propulsion en termes d'efficacité de transfert de force, de friction de

roulement, perte de poussée, ecchymoses sérieuses et TMS à l'épaule. Des équipements bien entretenus et bien ajustés favorisent la performance tout en minimisant les risques de blessures<sup>14</sup>.

#### 6.6. La SmartWheel : témoignage d'une utilisatrice doctorante

La SmartWheel est la seule RI disponible sur le marché et comme nous l'avons appris, elle est conçue pour la recherche sur les FR conventionnels (Figure 6-21). Son fonctionnement et ses capacités sont décrits à la section 2.14. La doctorante interviewée a utilisé la SmartWheel en laboratoire pendant plusieurs mois pour ses travaux et elle nous a livré son expérience. L'analyse critique permet de lister ses avantages et ce qui est en contrepartie perfectible pour guider les paramètres de conception d'une éventuelle RI de FRC comme le sous-objectif 4.3.1 le mentionne.

##### 6.6.1. Avantages reconnus

(1) Calculer la force et les vecteurs de résultante des forces appliquées sur les MC est un réel avantage - « Les données sont intéressantes. On peut calculer les *peaks* de force. » La rétroaction est en temps réel, l'enrichissant de même. Ajoutons que ce sont des données nécessaires pour toute estimation des forces et des moments articulaires.

(2) Un outil autonome - La SW est un outil qui peut être utilisé sur le terrain. Pas besoin de connexion internet, tout est embarqué.

(3) L'alimentation par pile fonctionne bien et la SW n'est pas énergivore.

---

<sup>14</sup> Afin d'alléger le texte, de plus amples observations sur la position générale et l'assise sont détaillées en annexe : les contraintes de l'assise, le risque de blessures lors des transferts, les techniques pour mieux épouser le FRC.

(4) La version 2017 permet d'interchanger la MC bien que cette particularité n'ait pas été expérimentée.

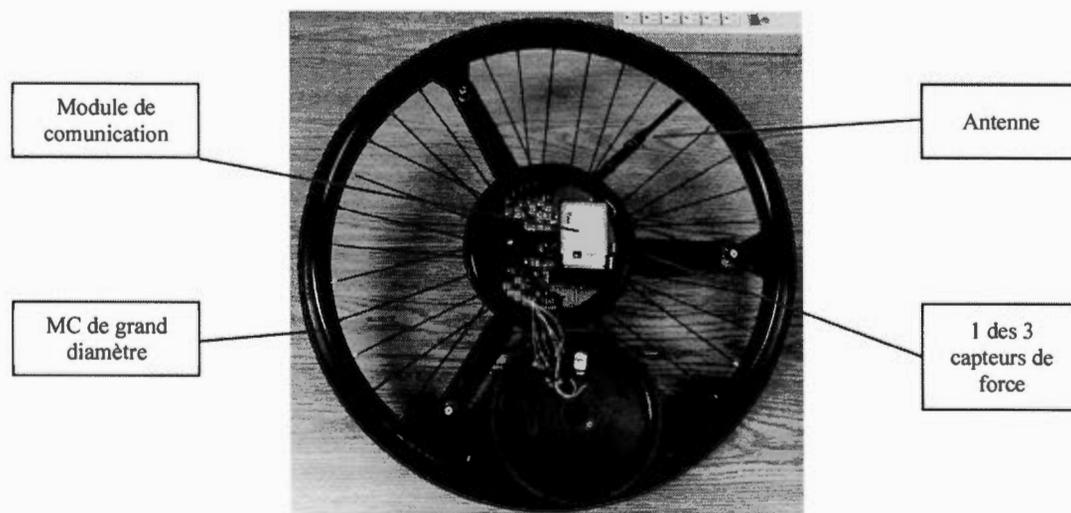


Figure 6-21 : La SmartWheel utilisée par la doctorante interviewée.  
Couvercle retiré pour révéler ses composants électroniques.

*(#21) Critère de conception de la RI :*

*Afin de monitorer les athlètes se propulsant en temps réel, sur le terrain, dans un contexte écologique, une interface de communication avec la RI et d'affichage des résultats doit être adaptée à un téléphone cellulaire, une tablette électronique et un ordinateur portable.*

#### 6.6.2. Difficultés rencontrées

(1) Problèmes de transmission entre la SW et l'application - La communication entre la RI et l'ordinateur coupait régulièrement, sans aucune raison connue. Croyant qu'il y avait des interférences dans le laboratoire, des ingénieurs ont tenté de découvrir la cause et développé un petit protocole d'utilisation, mais sans succès.

(2) Problèmes d'enregistrements - Il y a eu des problèmes d'enregistrement de données sur la carte mémoire SD qui est intégrée à la roue. Les données étaient corrompues une fois sur quatre. « Il faut filtrer les données (enlever le bruit) pour obtenir des résultats. [...] on ne sait jamais si l'enregistrement s'effectue correctement. Il n'y a pas de mécanisme ou de message sur l'interface du logiciel qui puisse affirmer que l'enregistrement des données s'effectue bien. [...] Éteindre la RI, la réinitialiser, recommencer les collectes, on a fait ça très souvent. » La fente d'accès à la carte mémoire est sous-optimale et des pinces sont nécessaires pour la retirer ou la replacer en raison de la difficulté d'insertion, de la mauvaise visibilité et du coincement fréquent.

(3) La MC n'est pas assez rigidement liée à la roue. Pour le type d'acquisitions effectuées par la doctorante (déplacements à vitesse standard avec un FR conventionnel) la MC était fixée correctement à la roue, sans plus, mais la force que les athlètes déploient sur un FRC est beaucoup plus élevée et permet de douter de ce type de fixation.

(4) Le poids de la SW n'est pas représentatif des roues classiques utilisées, et les sujets le remarquaient. Il est trop grand.

(5) Seules les nouvelles versions utilisent des pneus gonflables, les anciennes utilisent du caoutchouc rigide. Ces derniers modifient un peu la propulsion, mais procure l'avantage de standardiser les conditions pour chaque sujet : pas de pneu plus ou moins dur, même friction, même adhérence.

(6) Épaisseur de la SmartWheel - La MC est plus éloignée du FR dans l'axe médio-latéral en raison de l'épaisseur requise des mécanismes. L'adduction des épaules est amplifiée et le risque de frottement avec la peau des bras est augmenté.

(7) Le prix de la SmartWheel 2017 - À environ 39K USD l'unité, le prix peut être un obstacle alors qu'il est requis d'en installer deux par FRC.

*(#22) Critère de conception de la RI :*

*Afin de contrer la perte ou la corruption de données, et faciliter sa manipulation, la carte mémoire de la RI doit être judicieusement localisée et permettre l'enregistrement de données directement sur la RI.*

## 6.7. Conclusion des résultats

Les résultats ont permis de découvrir et de confirmer la grande variabilité des modes opératoires que les athlètes adoptent. Le but qu'ils se fixent semble être un élément majeur qui les différencie entre eux. Les athlètes paralympiques et élites, sans être les seuls à le faire, attachent de l'importance au bon entretien de leur FRC, s'investissent sérieusement dans l'entraînement et sont à la recherche constante d'affinements pouvant améliorer leur technique.

(i) Les incapacités fonctionnelles, (ii) les facteurs environnementaux, (iii) les équipements, (iv) l'interface athlète/fauteuil, (v) les techniques de poussée et les phases qui les structurent, (vi) les parcours, (vii) la particularité des différentes compétitions et (viii) les entraînements ont une influence marquée sur la performance et la santé.

Finalement, les besoins exprimés de tous les athlètes et intervenants ont légitimé l'apport qu'une RI aurait sur leur pratique. Elle doit tenir compte de ces besoins pour aider le plus grand nombre à bonifier leur performance et maintenir leur santé.

## CHAPITRE 7

### DISCUSSION

#### 7.1. Introduction

Nous avons l'objectif d'identifier les principaux déterminants de l'activité qui modulent la variabilité des gestes en FRC, d'investiguer le geste et caractériser les efforts de l'athlète/utilisateur de FRC, de déterminer des repères de conception d'une roue de FRC instrumentée et de formuler des recommandations pour le milieu sportif en FRC et celui de la recherche. Dans ce chapitre, nous discuterons de ce que nous avons principalement découvert, des apports marquants, des principaux repères de conception, des limites de l'étude, du dilemme de l'ergonome face aux sports, et des recommandations pour les athlètes, intervenants et chercheurs. Comme plusieurs éléments ont déjà été discutés au fur et à mesure dans les résultats, la discussion aborde un point de vue plus général sur l'ensemble des analyses.

#### 7.2. Apports de l'étude

Les apports de cette étude sont de deux natures. L'analyse ergonomique aidera les athlètes, intervenants et chercheurs à mieux connaître l'activité, donc à mieux situer et comprendre les modes opératoires adoptés et améliorer la formation et l'entraînement; les repères de conception énoncés serviront au design d'une RI à développer.

Un rapport expérimental individuel et confidentiel a été produit pour chaque athlète ayant participé aux collectes en laboratoire. Il comprend un résumé de la méthodologie et des résultats personnalisés sur la vitesse, la cadence et les courbes d'énergie.

Un athlète ou un intervenant débutant pourrait très bien s'introduire au sport en FRC en consultant cette étude pour connaître son histoire et pour découvrir la complexité des facteurs qui déterminent cette activité.

#### 7.2.1. Les principaux déterminants qui influencent l'activité de l'athlète

Parmi les déterminants, certains jouent un rôle mineur, par contre d'autres s'avèrent très importants. Le schéma de la page suivante (Figure 7-1) reprend la Figure 3-1, mais met en lumière les principaux facteurs ayant des conséquences sur la santé et la performance de l'athlète (texte rose-fuchsia).

Les déterminants prépondérants le sont pour les raisons suivantes :

- (i) L'état psychologique, l'expérience et l'ambition - Ce sont les athlètes qui ont réuni une expérience, une motivation accrue et une préparation psychologique avant les performances et les entraînements qui ont performé le mieux et démontré une intégration marquée du geste.
- (ii) Les entraîneurs et les techniciens - L'encadrement, la formation et les ajustements techniques nécessitant l'aide du personnel spécialisé sont cruciaux pour exploiter au maximum les capacités physiques des athlètes et développer leurs compétences.
- (iii) La technique de poussée - En supposant que des concurrents aient tous la même capacité physique à appliquer de la force avec une interface optimale, la technique de transmission de cette force à la MC serait cruciale pour se traduire en vitesse de propulsion efficace. En plus, une technique de poussée non intégrée et aléatoire peut mener à des blessures à long terme.

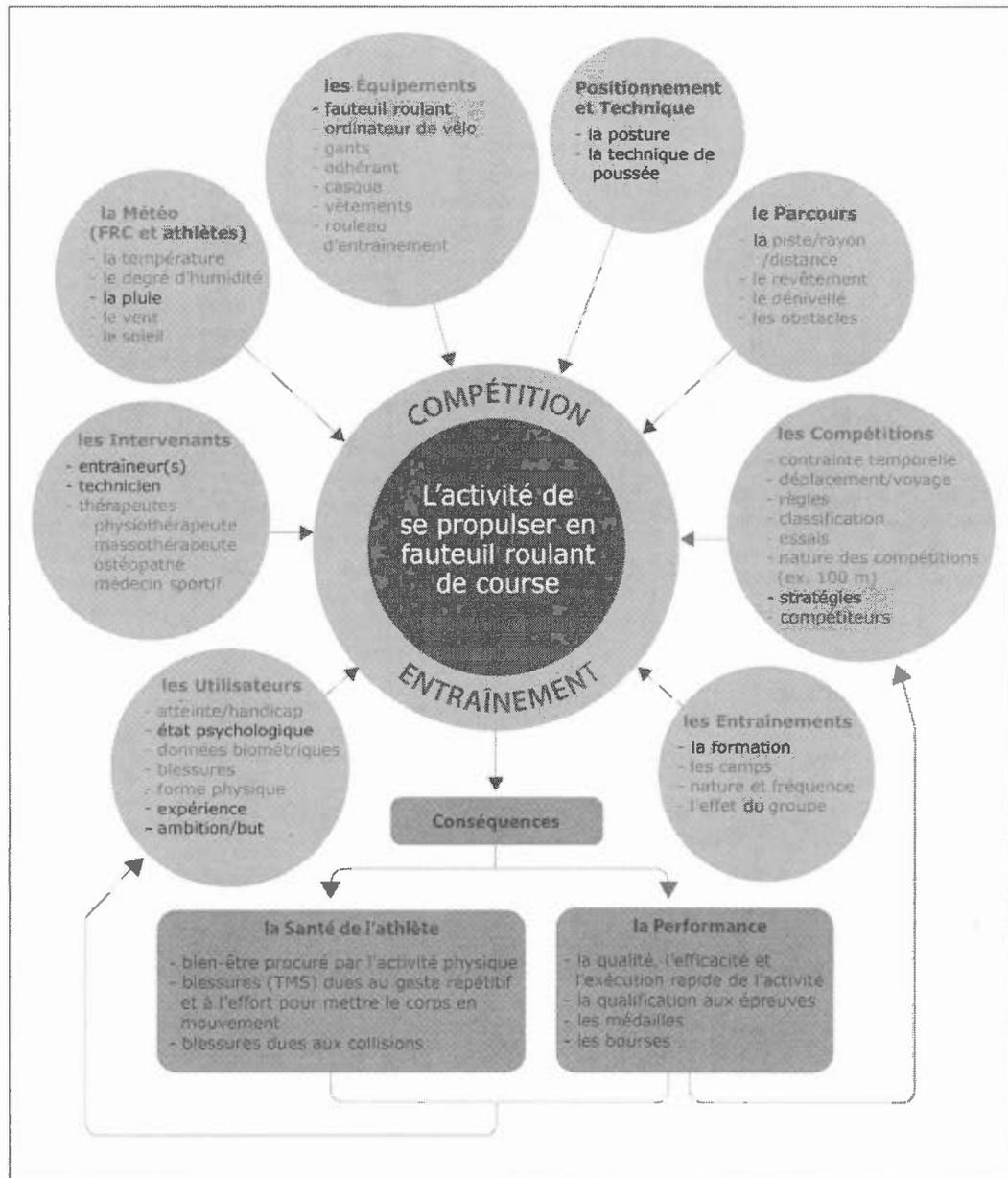


Figure 7-1 : Les déterminants qui se sont avérés majeurs (magenta) dans l'activité de se propulser en FRC

- (iv) Le FRC et l'interface athlète/FRC - Une interface inadéquate menant à des postures contraignantes (mauvaise atteinte de la MC, maux de dos, maux de cou, extension marquée du coude, mauvaise circulation sanguine, etc.) peut

provoquer des blessures et réduire les performances. Un FRC mal ajusté, tel le pincement des roues arrière déficient, peut affecter les performances de vitesse jusqu'à plusieurs km/h.

- (v) Les stratégies en peloton - Les athlètes qui ne possèdent pas encore les compétences pour naviguer en peloton (combinaison du regard et la conduite en levant la tête, contrôler sa vitesse, connaître et savoir doser ses réserves énergétiques) sont privés des chances d'une médaille, car les compétitions de fond ou de demi-fond exigent de composer avec des concurrents dans le même couloir et tout autour de soi.
- (vi) La pluie - Tous les athlètes redoutent les effets de la pluie, car une seule poussée manquée par glissement sur la MC peut entraîner un mauvais classement et/ou provoquer des blessures sur les bras en raison du contact avec une MC tournant à grande vitesse.

### 7.2.2. La motivation des athlètes

Parmi les athlètes de l'étude, le but de l'action est différent. Certains pratiquent ce sport pour se surpasser et espérer participer aux Jeux Paralympiques, mais cela ne représente pas toutes les ambitions verbalisées. Les autres s'exercent pour accéder à des compétitions régionales ou simplement pour garder la forme. Ces intérêts, tous aussi louables, influencent directement les modes opératoires observés alors que les buts recherchés diffèrent. À titre d'exemple, les départs avec la meilleure combinaison angles de contact et cadence qui favorise une accélération rapide, la constance, cycle après cycle, dans le geste fin d'application de la force à la MC (la position de toute la chaîne de segments des bras, de l'épaule aux doigts), etc., ont reflété cette motivation. Pour l'intérêt de la RI à développer, cela montre que bien qu'un seul athlète dépasse 300 N, mais que la majorité développe une force tangentielle maximale inférieure à 180 N, la capacité des capteurs de force ne doit pas mesurer seulement la lecture supérieure.

La RI doit tenir compte de ces variations et permettre de répondre aux besoins de chacun pour pouvoir affirmer qu'elle reproduit l'activité le plus fidèlement possible dans son contexte écologique, la motivation y participant.

### 7.2.3. Les intervenants sont mal outillés

Nous avons réalisé que le savoir n'est pas capitalisé et qu'il y a des savoir-faire qui se perdent. Les entraîneurs et les intervenants sont mal outillés. Les installations d'entraînement et les budgets disponibles ne favorisent pas l'intégration d'une équipe multidisciplinaire comme souhaité par plusieurs.

La méthodologie utilisée dans cette étude pourrait contribuer au développement d'une méthode standardisée d'analyse du geste dont tous les intervenants et les athlètes pourraient bénéficier et qu'il leur serait possible de reconduire avec des équipements accessibles à peu de frais : (1) une méthode pour capter le mouvement lors des séances d'entraînement et étudier la particularité d'un geste ou d'une phase de propulsion avec un simple téléphone/caméra et (2) une méthode avec des outils accessibles (logiciel répandu ou libre de droits) pour colliger les captations et observations, les analyser et en tirer profit lors de séances d'autoconfrontation, en duo ou en groupe. Elle aura également permis aux athlètes, tant pour leur santé que pour leurs performances, de se sensibiliser à la grande importance du bon ajustement de leur interface FRC/athlète, rapidement au début de la pratique du sport, et de l'entretien rigoureux de leur FRC avec entre autres de simples outils de calibrage du pincement des roues (Figure 5-2).

### 7.2.4. Des techniques de poussée qui diffèrent?

Les entrevues d'autoconfrontation ont révélé avec surprise que pour la majorité des athlètes interviewés (quatre sur six), la technique de poussée observée était différente de

la représentation qu'ils en avaient. Ceci atteste le choix éclairé de la méthode d'analyse de l'activité qui met en lumière des gestes non conscients.

Le bilan des connaissances nous informe des techniques de poussée que la littérature répertorie, les PBT, CVT et T51 (section 2.11). Nos résultats terrain montrent pourtant que personne dans le milieu n'utilise ces termes. Aucune appellation particulière n'a été recensée. La T51 décrite pour les athlètes ne possédant pas le plein contrôle de leur triceps n'a pu être observé en raison de notre échantillonnage.

Les résultats montrent qu'il existe une variété de combinaisons de positions des doigts, du bras et de l'épaule à toutes les phases, de l'accélération au relâchement (#1 à 5). Chow (1999) décrit une PBT où les mains demeurent à l'extérieur de la MC à la phase #3 et Goosey T. (2010) décrit cela pour la T51, mais Goosey T. ne fait pas mention de la CVT. Les descriptions faites dans les études à l'égard de la PBT, la main qui demeure sur la surface extérieure de la MC ou non, sont contradictoires (Tableau 7-1). La T51 est décrite en partie comme ayant la particularité de conserver les doigts à la surface extérieure de la MC, mais nous avons pourtant observé ce mode pour des athlètes T53 et T54. Le propos de Chow voulant que les athlètes d'endurance et moins explosifs aient avantage à préférer la technique PBT n'est pas supporté par le style explosif de l'athlète #112 qui utilise pourtant une technique *main à l'intérieur* de la MC comme la PBT le décrit. L'année d'écriture de ces études pourrait en partie expliquer ces différences alors que le sport a évolué rapidement durant cette période.

Tableau 7-1 : Comparaison des observations terrains et de la littérature en termes de description et d'appellation des techniques de poussée

Technique année	T51	CVT ou technique du pouce	PBT
Littérature Chow 1999	Pas de mention	Main perpendiculaire à l'extérieur de la MC tout au long des phases #1, 2, 3 et 4 (nuances dans le contact avec les doigts)	Main perpendiculaire à l'extérieur de la MC tout au long des phases #1, 2, 3 et 4 (nuances dans le contact avec les doigts)
Littérature Goosey-Tolfrey 2010	T51 et T52 Doigts à l'extérieur de la MC, Poussée à la descente et à la remontée	Pas de mention	Main à l'intérieur de la MC à la phase de propulsion #3
Méthode ergonomique Observations 2017	Pas observé (échantillonnage)	<u>Pas d'appellation CVT ou PBT</u> A. Main en surface et à l'extérieur de la MC tout au long des phases #1, 2, 3 et 4 B. Doigts et main à l'intérieur de la MC à la phase de propulsion #3	

Les observations qui montrent que certains athlètes font contact également avec la surface de la roue arrière durant la poussée, allant même jusqu'à délaminer la première couche qui compose les roues pleines pour l'un d'entre eux, prouvent la nécessité de tenir compte de ce mode en termes de captation des forces. Les RI précédemment conçus relèvent seulement les forces appliquées à la MC.

#### 7.2.5. Le diamètre de la MC et son impact sur la cadence, l'angle de poussée et la force appliquée

Cette rubrique discute du lien entre la cadence, l'angle de contact, la vitesse du FRC et le diamètre de la MC, la vitesse obtenue n'étant pas unifactorielle et la cadence n'expliquant pas à elle seule l'atteinte de la performance.

En comparant les deux meilleurs athlètes au seuil maximal de leur cadence, l'athlète avec la fréquence la plus faible (2,62 Hz) générait une vitesse plus élevée (8,11 m/s) (Tableau 6-10). La force était soit plus grande, soit appliquée plus longtemps. L'angle de contact (l'angle durant lequel le contact s'est effectué entre la MC et le gant), quelle que soit la position initiale de l'impact, peut fournir des pistes d'explication.

La première poussée est très importante en termes de performance lors des compétitions de courte distance et elle doit permettre de vaincre sans délai l'inertie pour se propulser vers l'avant, et un angle de contact plus court permet une meilleure accélération au départ durant les quatre ou cinq premières poussées. Lorsque la vitesse de pointe est atteinte, un angle plus grand transfère plus de force pour la propulsion. Cela s'explique, car ce que l'athlète veut transférer c'est de la *quantité de mouvement*, de *l'impulsion* (une force multipliée par du temps), ce qui détermine le mouvement. Il doit maximiser cette impulsion (1) en appliquant une force élevée avec plusieurs temps de contact courts au départ pour vaincre l'inertie et (2) allonger la période de contact alors que la MC tourne plus vite et que le temps de contact est réduit à vitesse élevée. L'amplitude du mouvement des bras (#5) est plus facile à atteindre, la poussée s'allongeant, ce qui permet d'atteindre une plus grande vitesse à l'impact (Moss *et al.*, 2005). Il n'y aura aucun freinage ou ralentissement de la roue si la main de l'athlète réussit à atteindre une vitesse qui correspond minimalement à la vitesse de la MC au contact, à la phase d'impact (#2).

Tableau 7-2 : Données sur le temps et les angles des six premières poussées d'un départ de type "sprint".

Données sur le cycle de propulsion : six premières poussées, départ de type "sprint", calculés sur huit essais

Poussée	Phases de propulsion (s)	Phase de récupération (s)	Durée des poussées (s)	*Angle au contact (°)	*Angle au relâchement (°)	Angle (plage) de contact (°)
P1	0.62 ± 0.02	0.20 ± 0.01	0.82 ± 0.02	65 ± 5	-5 ± 14	70 ± 11
% du cycle	76 ± 1	24 ± 1				
P2	0.33 ± 0.01	0.19 ± 0.01	0.52 ± 0.01	72 ± 12	-27 ± 9	99 ± 19
% du cycle	63 ± 1	37 ± 1				
P3	0.28 ± 0.01	0.21 ± 0.01	0.49 ± 0.01	75 ± 13	-42 ± 5	117 ± 15
% du cycle	57 ± 1	43 ± 1				
P4	0.24 ± 0.01	0.23 ± 0.01	0.47 ± 0.02	81 ± 8	-43 ± 15	124 ± 15
% du cycle	52 ± 2	48 ± 2				
P5	0.21 ± 0.01	0.24 ± 0.01	0.45 ± 0.01	80 ± 11	-46 ± 29	125 ± 27
% du cycle	47 ± 2	53 ± 2				
P6	0.21 ± 0.01	0.24 ± 0.02	0.45 ± 0.01	83 ± 12	-50 ± 21	133 ± 27
% du cycle	47 ± 3	53 ± 3				

Crédits : Moss et al., 2005. Extrait et traduit avec la permission d'Elsevier via RightsLink.

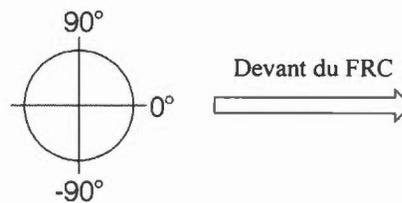


Figure 7-2 : Référence utilisée par Moss pour représenter les données d'angles au contact et au relâchement.

Selon les données de Moss (Tableau 7-2), lorsque la durée des poussées diminue après les six premières poussées (près de deux fois), l'augmentation de l'angle de contact (près de deux fois également) s'explique par la vitesse qui augmente. La longueur de l'angle de poussée se stabilise normalement vers la 5e ou 6e poussée après un départ arrêté (cf. Moss).

L'athlète et l'entraîneur sont en droit de se poser la question suivante : une MC au grand diamètre est-elle préférable à une MC plus petite? Le diamètre de la MC joue un grand rôle envers la puissance nécessaire à développer au départ et la vitesse de pointe que l'athlète peut atteindre et maintenir. Plus la force générée par l'athlète est grande, plus il peut se permettre une MC de petit diamètre. À l'inverse plus la MC est grande plus il est facile de démarrer (moins de force à développer), mais dès que la vitesse augmente, la MC tournant très vite, il est plus difficile de *rattraper* la MC pour conserver le contact. La taille ou le ratio des plateaux arrière d'un vélo permet d'imager cela. On démarre facilement avec un grand plateau (1<sup>re</sup> vitesse – petit ratio de transmission) et on réussit à garder une vitesse élevée avec un petit plateau (18<sup>e</sup> vitesse - ratio élevé).

Alors, comment expliquer que les athlètes masculins puissants de notre étude utilisent une MC de plus grand diamètre que les athlètes féminins (Tableau 6-16)? Cette question est sans réponse, mais le choix du diamètre de la MC doit être fait en premier pour optimiser la force et la puissance à développer selon les capacités et les parcours que l'athlète pratique, et s'il n'est pas en mesure d'atteindre la MC à la fin des phases de propulsion (#3 et 4) il doit par la suite adapter son interface pour prévenir l'extension marquée du coude.

#### 7.2.6. La méthode de calcul de la capacité des capteurs de force d'une RI

En installant un capteur de force à l'arrière du FRC (sur la barre horizontale de structure de la cage) nous avons mesuré la somme de la force propulsive et de l'effet du positionnement du corps. Elle est de 310 N, ce qui est proportionnel à la *force tangentielle* appliquée sur les MC (Tableau 6-5).

L'étude que Rice (2015) a menée sur l'influence des types de gants lors de simulations de course en FRC auprès de onze athlètes élités américains montre une lecture du maximum de la *force totale* de 262 N sur un cycle de poussée, durant des essais sprint avec des gants mous, et un moment de propulsion de 23 Nm. La force totale représente

la somme vectorielle des composantes de force ( $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_z$ ) appliquées sur la MC. Nous ne pouvons donc pas comparer nos données avec les siennes. Pour ce faire, il faut plutôt traduire notre lecture de la force tangentielle en moment de propulsion (*peak torque*), ce qui s'obtient en multipliant cette force par le rayon de la MC. Nous avons donc une lecture du moment de propulsion maximal de 59 Nm comparés à 23 pour l'équipe de Rice.

$$\begin{aligned} \text{Moment de propulsion (peak force) Nm} &= \text{force tangentielle (N)} \times \text{Rayon de la MC (m)} \\ 59 \text{ Nm} &= 308 \text{ N} \times (0,384/2) \text{ m} \end{aligned}$$

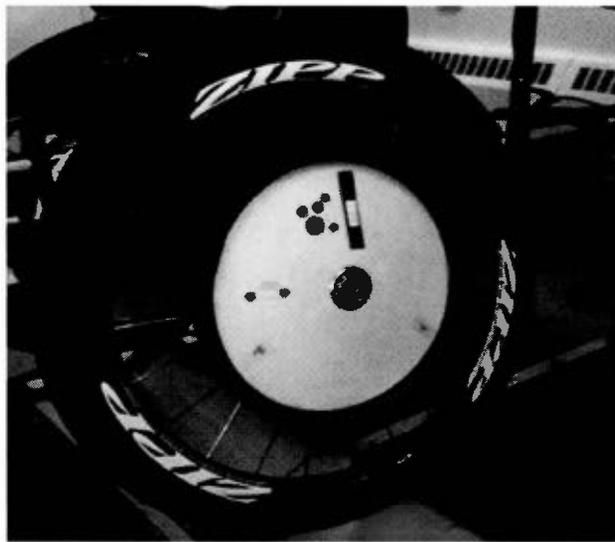
Les conditions de mesure différentes entre la RI expérimentale en développement de l'équipe de Rice (*Racing SmartWheel*, Figure 7-3) et le protocole de nos essais peut expliquer cette différence de données :

- (1) La *Racing SmartWheel* possède des capteurs installés seulement sur la MC. Si une force était appliquée ne serait-ce qu'en partie sur les rayons de la roue, cette force ne serait jamais mesurée;
- (2) Bien qu'à la première poussée, le corps bouge moins que durant la course, notre donnée inclut également une composante de force propulsive due au mouvement du haut du corps, contrairement à une mesure effectuée directement sur la roue;
- (3) La MC de la *Racing SmartWheel* avait un diamètre fixe de 364 mm comparativement à 384 mm pour l'athlète masculin #112 de notre étude et on ne fait aucune mention de son dégagement par rapport aux rayons de la roue, deux facteurs qui ont une influence marquée sur la propulsion. D'ailleurs la *Racing SmartWheel* possède une seule configuration à vingt-quatre rayons métalliques, car l'électronique est embarquée sur une roue de vélo de course standard;
- (4) Rice a installé deux *Racing SmartWheel* sur les FRC des athlètes dans le but d'équilibrer le poids, mais une seule, la droite, a enregistré les données alors que

le bras dominant des athlètes n'est pas nécessairement le droit. Il se pourrait que le bras gauche ait généré une force plus grande que le bras droit.

Pour ces raisons, nous statuerons qu'une force tangentielle de 310 N sera la lecture à considérer pour les repères de conception d'une éventuelle RI.

*Figure 7-3 : La RI en développement qui est non disponible sur le marché, la Racing SmartWheel de l'équipe de Ian Rice (Department of Kinesiology and Community Health, College of Applied Health Sciences, University of Illinois at Urbana-Champaign, USA)*



*Crédits : Rice I. (2016), avec la permission de Springer via RightsLink*

#### 7.2.7. Une interface athlète/FRC singulière

Goosey-Tolfrey (2010) nous a montré qu'il existait deux positions assises en FRC, une avec les jambes plus à la verticale, les pieds déposés sur un support, et l'autre avec les jambes repliées sous les cuisses et passant par-dessus l'essieu arrière (Figure 2-6). L'étude ergonomique nous a permis d'en observer une troisième non consignée dans la littérature où les jambes passent sous l'essieu. Elle est adoptée par un athlète qui possède une circonférence de cuisse de taille appréciable en raison de sa capacité à marcher debout sans aide technique. Elle découle de la transformation d'un fauteuil

pour l'adapter à la condition spécifique de cet athlète. Cette personnalisation montre également l'importance de bénéficier d'un technicien de FRC expérimenté dans le cercle des intervenants. Une enquête plus approfondie durant des compétitions internationales permettrait de voir si une telle modification a également été réalisée par d'autres athlètes.

#### 7.2.8. La résistance au roulement

De toutes les conditions qui modulent l'activité, nous avons souligné l'importance du bon entretien des équipements. Vanlandewijck (2016) présente le modèle (Équation 1) qui décrit les forces résistives que l'athlète doit contrer pour propulser son FRC, la friction de roulement avec le sol ( $F_{roul}$ ), la résistance à l'air ( $F_{air}$ ), l'effet gravitationnel qui agit soit en montant ou en descendant une pente ( $g$ ) et la friction interne de la mécanique de roulement ( $F_{int}$ ). Le produit de la somme de ces forces avec la vitesse de l'athlète ( $v$ ) égale la puissance à déployer en Watt ( $P_w$ ).

*Équation 1 : formule des forces résistives que l'athlète doit contrer pour propulser son FRC*

$$P(w) = (F_{roul} + F_{air} + F_{int} + m \cdot g \cdot \sin \alpha + m \cdot a) \cdot v$$

*$m$  = la masse de l'athlète et du FRC,  $\alpha$  = l'angle de la pente,  $a$  = l'accélération du système*

Vanlandewijck réunit les conclusions de van Der Woude (2001) dans un tableau (Tableau 7-3) qui confirme nos observations : le pincement est le facteur prépondérant pour limiter la résistance au roulement et avec de simples outils, il peut être facilement ajusté.

Tableau 7-3: Les caractéristiques qui influencent la résistance au roulement d'un FRC.

Caractéristiques	Effet sur la résistance au roulement
Masse de l'athlète	+
Masse du FRC	+
Pression des pneus	+
Diamètre des roues	+
Dureté de la surface de roulement	+
Angle de carrossage	+
Pincement	++
Auto-oscillation ou frémissement ou des roues ( <i>caster shimmy</i> )	+
Centre de masse en rapport avec des roues arrière large	-
Entretien mécanique du FRC	+

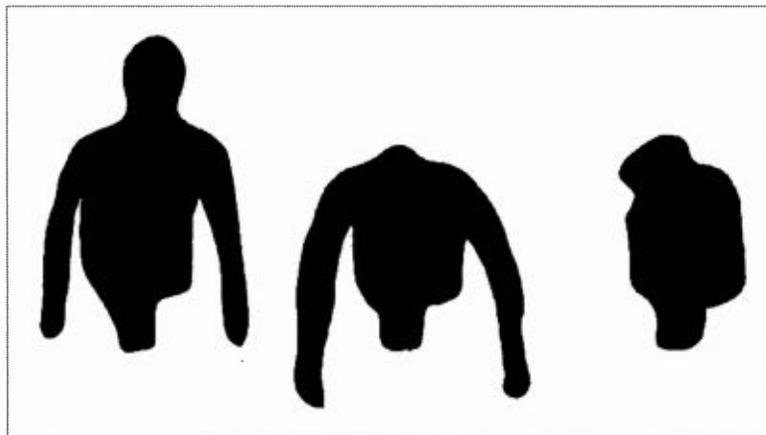
*Crédits : extraits et traduit avec la permission d'Elsevier via RightsLink.*

### 7.2.9. L'aérodynamisme

Les athlètes nous ont rapporté les raisons pour lesquelles ils inclinent le tronc durant le cycle de propulsion et les observations ont démontré des flexions du bassin et des courbures de dos différentes selon la morphologie des athlètes et l'interface athlète/FRC (section 6.4.4). Ils le font pour atteindre convenablement la MC et réduire leur résistance à l'air. Pour souligner l'importance de l'aérodynamisme en FRC, l'étude de Hedrick (1990) a comparé trois sujets avec différentes postures pour déterminer la surface frontale qu'ils offrent (Tableau 7-4 et Figure 7-4).

Tableau 7-4 : Surfaces sectionnelles dans le plan frontal selon trois positions du tronc en FRC d'après Hedrick (1990)

Position 1 relevée	0.767 m <sup>2</sup>
Position 2 fléchie	0,668 m <sup>2</sup>
Position 3 en torsion	0.427 m <sup>2</sup>



*Figure 7-4 : Trois positions du tronc étudiées pour connaître la surface frontale offerte à l'air en FRC, relevée (g), fléchie (c), en torsion (dr). Crédits Hedrick B. (1990)*

Entre les deux premières positions, la position fléchie favorise la réduction de la résistance à l'air et donc l'atteinte d'une vitesse plus élevée. La troisième en torsion réduit encore plus la résistance, mais n'est pas compatible avec la mécanique de la propulsion. L'athlète peut se permettre d'adopter cette position seulement lors des descentes pendant des compétitions de longues distances alors qu'il n'a pas à pousser constamment. Rappelons le témoignage de l'athlète #112 (section 6.4.1) qui mentionne que pendant ces compétitions « le FRC peut atteindre 75 km/h dans les descentes ». Un gain de 36% est non négligeable à ces vitesses. La position en torsion est contraignante pour le dos, mais c'est un mode qui favorise la performance.

#### 7.2.10. Le type de gants pour atteindre de meilleures performances

Les deux types de gants utilisés par les athlètes participants, rembourrés (GR) et minimalistes, permettent d'atteindre des vitesses différentes (Tableau 6-10 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**), mais bien que l'utilisation de gants minimalistes se traduise par de meilleures performances, notre recherche ne peut en fournir de preuve.

Une récente étude (Rice, I. *et al.*, 2016) s'est penchée sur l'influence des types de gants sur la propulsion en FRC et des gants durs en faisaient partie. Sur les prémices que la force appliquée à la MC est en lien avec la vitesse atteinte, ils ont comparé deux types de gants, commercial en cuir rembourré (GR) (comme quatre de nos participants) et thermoformé dur (GD) (Figure 2-10). Le but recherché était de déterminer leur influence sur des paramètres cinétiques comme la force totale et les moments de propulsion. Après l'analyse de deux séries (GR et GD) de quatre essais représentant un régime de poussée moyen et trois sprints, ils concluent que la force totale a augmenté de 1 à 8% et les moments à l'épaule baissés de 2 à 4% (selon les essais) avec des gants durs. Ces conclusions doivent cependant être interprétées avec prudence, comme le soulignent les auteurs. Elles passent néanmoins sous silence le fait que (i) les participants à cette étude (onze athlètes élite de trois à quinze ans d'expérience) avaient tous une nette préférence pour les GD bien qu'ils aient de l'expérience avec les deux types, (ii) qu'une majorité s'entraîne et compétitionne avec des GD, (iii) et que le changement de type de gants a certainement une influence sur l'adaptation à la technique de poussée. (iv) À cela il faut ajouter que la RI utilisée pour ces tests en laboratoire est une *Racing SmartWheel* en développement faite de rayons en acier (surface ajourée) et qu'elle possède une MC au diamètre et au dégagement fixe, ce qui influence les résultats, les MC des FRC des athlètes ayant forcément des paramètres différents de la configuration uniforme de l'expérience. À ce jour, la possibilité de gagner des centièmes de secondes avec des GD semble générer de l'intérêt et croître en popularité dans la communauté. Aucune étude ne confirme que l'utilisation de GD permet d'atteindre de meilleures performances. Celle de Rice a toutefois permis l'observation de moments à l'épaule plus faible dans les conditions que nous avons citées.

### 7.2.11. Repères de conception pour une RI en meilleure adéquation avec l'activité de se propulser en FRC

L'étude exploratoire de la propulsion en FRC avait entre autres pour objectif de formuler des repères de conception pour le développement d'une RI en bonne adéquation avec les athlètes/utilisateurs, les entraîneurs, les professionnels et les chercheurs. Cette section reprend, résume et discute les principales spécifications (textes encadrés) présentées tout au long des résultats, soit les liens faits entre les constats de l'analyse et les caractéristiques d'une éventuelle RI. L'annexe E regroupe dans un tableau plus détaillé l'ensemble des indications encadrées de la section des résultats sous forme de contraintes et repères de conception.

Les données recueillies et comparées entre athlètes (ces variabilités démontrées) ont permis d'attribuer une plus grande importance à certaines spécifications. À titre d'exemple, si un seul des athlètes parmi les débutants agrippe la roue par les rayons et que cette technique lui donne une piètre performance, alors la future roue n'aura probablement pas besoin d'être validée pour cette technique. Inversement, si le meilleur athlète (i.e. meilleure vitesse maximale) opère un relâchement à la cinquième phase qui se démarque de tous les autres, alors la RI devra absolument être validée pour ce mode même si celui-ci n'est apparu que chez un seul athlète.

Dans le but de reproduire le plus fidèlement possible les conditions que l'athlète rencontre en situation d'entraînement et de compétition, la RI doit minimalement répondre aux attributs suivants :

#### (1) Caractéristiques physiques de la RI :

- Deux types de roues, une à la surface extérieure pleine et l'autre reproduisant l'étoile qui permet d'appuyer le pouce à la première poussée de départ;
- Des dimensions identiques en termes de diamètre et d'épaisseur de roue;

- Des MC interchangeables avec des diamètres sectionnel et hors-tout variés, des recouvrements similaires à ceux utilisés par les athlètes, ainsi que la possibilité d'ajustement de l'espace entre la MC et la surface de la roue;
- Une structure et des matériaux assez rigides pour ne pas se rompre et pour transmettre sans pertes (dissipation) les forces appliquées.

(2) Caractéristiques des composants électroniques :

- Une communication sans fil avec l'interface de suivi;
- Une configuration des capteurs de force qui permet de mesurer la force appliquée sur la MC et la surface de la roue.
- Des capteurs de force capables de mesurer une force tangentielle d'une plage minimum allant de 150 à 310 N.

Finalement, il est important de mentionner qu'il est souhaitable d'impliquer également les intervenants (physio, entraîneurs, médecin) dans le développement et le design de la RI pour s'assurer que leurs besoins spécifiques soient pris en compte pour une RI performante sur le plan du design.

### 7.3. Limites de l'étude

La principale limite méthodologique de cette étude réside dans le nombre peu élevé de participants qui ont pu être recrutés, peu d'athlètes québécois pratiquant le para-athlétisme. Pour une telle étude exploratoire, le principal risque d'un tel bassin réduit de sujets réside dans la sous-représentation de certaines conditions dans notre analyse de la tâche. Par exemple, bien qu'il existe plusieurs classes en para-athlétisme (T32 à T34, T51 à T54), aucun athlète tétraplégique (T51, T52) n'a pu être recruté pour notre étude puisqu'aucun athlète de cette catégorie n'a été répertorié aux alentours de Montréal. La

nature exploratoire nous empêche également de généraliser l'influence des différents handicaps et limites des athlètes sur la variabilité des modes opératoires. Un échantillonnage élargi aurait permis de comparer des athlètes avec des atteintes semblables.

Parmi l'ensemble des modes opératoires analysés, le geste de pronation du poignet mal enchaîné, hésitant et saccadé lors de la phase de rotation (#4), notamment chez l'athlète #100, a particulièrement retenu notre attention, car il semble freiner la MC, constats similaires pour les poussées asynchrones qui, par friction, semblent générer de la perte d'énergie. Ainsi, certains modes opératoires semblent donc non seulement inefficaces, mais aussi contre-performants. Malheureusement, faute de temps pour le traitement et les analyses, ce type d'investigation fine n'a pu être faite et dépasse le cadre de cette étude. Il serait néanmoins pertinent de vérifier cette hypothèse en analysant finement la vitesse de la roue arrière et les instants précis de contact et de relâchement lors de ces rapides micros mouvements. Le logiciel Kinovea n'a pas une résolution assez élevée pour le faire. Sur la base des données recueillies, un traitement mathématique des captations cinématiques 3D serait utile pour connaître ces vitesses avec précision.

Finalement, dans le but de ne pas interférer avec les séances d'entraînement, nous n'avons pas eu de contrôle, à part en laboratoire, sur la nature et l'intensité des séquences d'entraînements, qui n'ont donc pas été identiques pour chaque athlète. La conséquence est qu'il nous a été impossible de comparer systématiquement les athlètes pour chacun des modes opératoires, les relevés s'effectuant un athlète à la fois et sur plusieurs semaines. En bénéficiant de plus de temps et de moyens, une planification systématique aurait permis cette comparaison.

#### 7.4. Dilemme de l'ergonome par rapport à la performance athlétique

Favoriser la performance ou prévenir les blessures? Une contradiction est apparue lors de l'analyse de l'activité de se propulser en FRC. L'ergonome, qui normalement dans sa

discipline cherche la position neutre et non contraignante que l'utilisateur devrait adopter pour éviter toute blessure comme un TMS, est confronté au fait que dans le domaine du sport, le souci de la performance prendra nécessairement le dessus sur l'intégrité physique et la réduction de la charge articulaire. Dans un milieu industriel, la cadence de production s'apparente certes à la performance sportive, mais dans notre société et à notre époque, la santé du travailleur demeure un facteur à préserver et à protéger. L'ergonome peut alors identifier les déterminants à améliorer pour atteindre les objectifs d'efficacité tout en préservant la santé. Or, dans les sports d'élite, chaque gain est réintroduit pour accroître la performance et tenter d'avoir le meilleur résultat (*score*). Il est souhaité par l'athlète lui-même. Quoiqu'il en soit, si elle ne peut freiner la volonté d'accroître cette performance, l'étude montre que l'analyse de l'activité permet de mettre en évidence des connaissances sur des modes opératoires contraignants, d'autres, plus efficaces, d'autres, contre-performants, ainsi que des stratégies de régulation et d'économie déployées par certains qui, lorsque communiquées, ne peuvent qu'être bénéfiques à l'ensemble des athlètes.

#### 7.5. Recommandations

Nos recommandations s'adressent à deux groupes d'individus : 1) les entraîneurs, athlètes et intervenants pour la bonne pratique des entraînements et l'augmentation des performances tout en protégeant la santé ; 2) la communauté scientifique, pour offrir des pistes de recherches ultérieures non résolues par cette étude.

### 7.5.1. Recommandations pratiques pour les athlètes, intervenants et membres du milieu sportif

Pour investiguer finement le geste à perfectionner et mieux encadrer les athlètes :

- Filmer les entraînements<sup>15</sup> à l'aide d'une caméra grand-angle HR à fréquence élevée fixée sur la potence du FRC de l'athlète à étudier ou sur un FRC en parallèle (parcours sur piste - ou avec l'option vélo en parallèle - parcours sur route) et/ou à l'aide d'une caméra/téléphone HR à fréquence élevée pour les autres situations d'entraînement;
- Visualiser et analyser (mesurer, colliger) les modes opératoires des athlètes relevés avec les caméras à l'aide de logiciels libres de droit comme Kinovea;
- Organiser des séances d'autoconfrontation collectives ou individuelles à l'aide d'outils de présentation (grilles de relevés et logiciel vidéo) pour partager et discuter des observations obtenues sur ces vidéos;
- Monitorer l'état des équipements comme l'entretien général des FRC et l'ajustement du pincement des roues arrière.

En complément, nous suggérons (i) la création d'un centre d'expertise réunissant tous les services et professionnels de la communauté des sports adaptés, les services étant dispersés, et (ii) deux ouvrages, dont un très récent, qui fourniront de précieuses informations aux entraîneurs, intervenants et athlètes : *Training and coaching the Paralympic athlete*, (coll.), éd. Wiley, É.-U., 2016; *A complete guide for athletes, coaches and teachers*, Goosey-Tolfrey. V., éd. Human Kinetics 2010.

---

<sup>15</sup> Filmer en compétition est souhaitable si l'appareil est solidement fixé pour ne pas mettre en cause l'issue d'une course.

### 7.5.2. Recommandations et perspectives pour la recherche

Pour permettre de répondre à des questions qui n'ont pu être résolues par cette étude, nous recommandons : (i) d'étudier davantage les effets de l'observation de la flexibilité du dos en lien avec l'atteinte de la MC, pour entre autres analyser le risque de blessure au coude parce que l'interface athlète/fauteuil est un sujet effleuré et complexe qui nécessite plus d'analyse; (ii) de quantifier l'apport de la pronation du poignet à la phase de rotation (#4) en termes de force supplémentaire appliquée en comparant les deux techniques observées (pronation simple et pronation combinée à une flexion); et (iii) de formaliser et structurer la formation et l'accueil des nouveaux athlètes en rédigeant un guide d'initiation au sport en FRC consignnant des connaissances dont cette étude pourrait fournir certains éléments.

## CONCLUSION

La pratique du sport en FRC est très exigeante en raison de la fréquence et de la répétitivité du geste et de la complexité de l'interface athlète/FRC. Elle comporte des conséquences sur la santé et les performances de l'athlète. Nous avons vu que la littérature scientifique s'intéresse pour une grande part au volet biomécanique du FR et qu'une majorité d'études se penche sur l'application des forces à la MC de FR conventionnels. Nous avons formulé l'hypothèse que l'analyse ergonomique doublée de collectes en laboratoire de nature biomécanique nous permettrait d'identifier les principaux déterminants de l'activité, d'investiguer et caractériser les efforts de l'athlète/utilisateur, de formuler des recommandations pour le milieu sportif et de déterminer des repères de conception pour une roue instrumentée adaptée aux FRC.

Les résultats nous ont appris de nouvelles informations en nous renseignant sur le point de vue de l'utilisateur et ont dévoilé des aspects non consignés : les rôles, besoins et ambitions du milieu, les modes opératoires très variables et insoupçonnés des athlètes et des entraîneurs comme l'entrée dans le FRC, les variations des techniques de poussée par rapport à celles citées dans la littérature, l'application de force sur la surface des roues arrière, l'importance de la prise d'informations visuelles malgré les douleurs engendrées, la grande influence de certains facteurs d'ajustement et d'entretien des FRC comme la personnalisation des fauteuils et le pincement des roues arrière, etc.

Cette démarche ergonomique aura permis d'émettre des recommandations pour le milieu sportif comme des méthodes, techniques et outils d'investigation du geste, et de bonifier les outils disponibles à la communauté scientifique en réunissant des repères de conception pour le développement d'une RI en juste adéquation avec l'activité de se propulser en FRC.



## ANNEXE A

### CLASSES D'ATHLÈTES DE FRC

#### PROFILS DE CLASSIFICATION DE LA COURSE EN FRC :

T32 - Athlètes ayant une déficience de coordination jugée modérée à sévère, affectant les quatre membres et le tronc. Possèdent généralement plus de contrôle sur un des côtés du corps. La propulsion en fauteuil roulant est difficile. Le contrôle du tronc est faible.

T33 - Athlètes ayant une déficience de coordination jugée modérée à sévère, affectant trois ou quatre membres. Contrôle fonctionnel presque complet du bras le moins atteint. La propulsion du fauteuil roulant est affectée par une asymétrie significative, une faible préhension de la MC et un contrôle du tronc limité.

T34 - Athlètes ayant une affection aux quatre membres, mais plus marquée aux membres inférieurs. Bon contrôle des bras et du tronc, avec une capacité de préhension presque normale. La propulsion est presque totalement symétrique.

T51 - Athlètes ayant une force musculaire à l'épaule réduite et de la difficulté à tendre les coudes, ce qui est nécessaire pour une propulsion classique et efficace en FRC. Ils ne possèdent aucun contrôle musculaire du tronc, ce qui les force à "tirer" sur la MC avec les fléchisseurs du coude et les extenseurs du poignet.

T52 - Athlètes utilisant tous les muscles de l'épaule, du coude et du poignet pour la propulsion. Ils possèdent un contrôle des doigts jugé de faible à total. Il n'y a généralement aucun contrôle du tronc.

T53 - Athlètes avec un contrôle total des épaules et des bras, sans le plein contrôle du tronc et des membres inférieurs.

T54 - Athlètes avec un contrôle total des épaules et des bras, et un contrôle total ou presque total du tronc. Ils peuvent avoir la maîtrise de leurs membres inférieurs.

\*T = "Track" (piste). Tel que consulté sur le site WEB du comité paralympique le 2017-04-18.

## ANNEXE B

### DÉFINIR L'ERGONOMIE

L'association internationale de l'ergonomie (IEA) qui réunit des associations de la discipline dans le monde donne la définition officielle suivante : l'ergonomie (ou *Human Factors* en anglais) est la discipline scientifique qui vise la compréhension fondamentale des interactions entre les humains et les autres composantes d'un système. C'est également la profession qui applique principes théoriques, données et méthodes en vue d'optimiser le bien-être des personnes et la performance globale des systèmes (CNAM). S'appliquant à tous les aspects de l'activité humaine, l'IEA cible trois grands champs de spécialisation : l'ergonomie physique, l'ergonomie cognitive et l'ergonomie organisationnelle. L'ergonomie physique s'intéresse aux caractéristiques anatomique, anthropométrique et biomécanique humaines; l'ergonomie cognitive s'applique à analyser les processus mentaux comme la mémoire, la perception et la prise d'information sensori-motrice; l'ergonomie organisationnelle vise à optimiser des systèmes sociotechnologiques – le travail doit s'adapter à l'homme.

En dépit de cette définition fédératrice, des ergonomes francophones tiennent à distinguer la discipline issue de l'après-guerre en France, où chercheurs et praticiens veulent mieux comprendre l'homme en activité (l'ergonomie), des *Human factors* ou *ergonomics*, terme largement utilisé aux États-Unis. Le terme *Human factors* s'attache davantage aux interfaces Homme-machine (Vézina, 2011). L'ergonomie « accorderait une place plus importante à l'analyse des activités réelles plutôt que normatives » (Drouin 2013). L'IEA ne fait cependant pas de distinction entre les deux appellations ou courants. Au Québec, la pratique de l'ergonomie se distingue en particulier par son

intérêt pour la formalisation des pratiques et le développement de la démarche d'intervention en ergonomie (Vézina, 2003).

Nous devons préciser que ce domaine d'étude est hybride par l'apport de plusieurs disciplines scientifiques. Antoine Laville, médecin français, qui est considéré comme contributeur à la naissance de l'ergonomie dans le milieu francophone, cible la physiologie et la psychologie comme les principales sciences « ...sur lesquelles l'ergonomie avait pris racine, mais que ses bases scientifiques se sont élargies ». Vézina (2003) illustre cet élargissement « qui produit ses propres connaissances et qui agit sur le travail en interaction avec plusieurs champs d'études » (Figure 0-3 : Une illustration de certaines interactions).

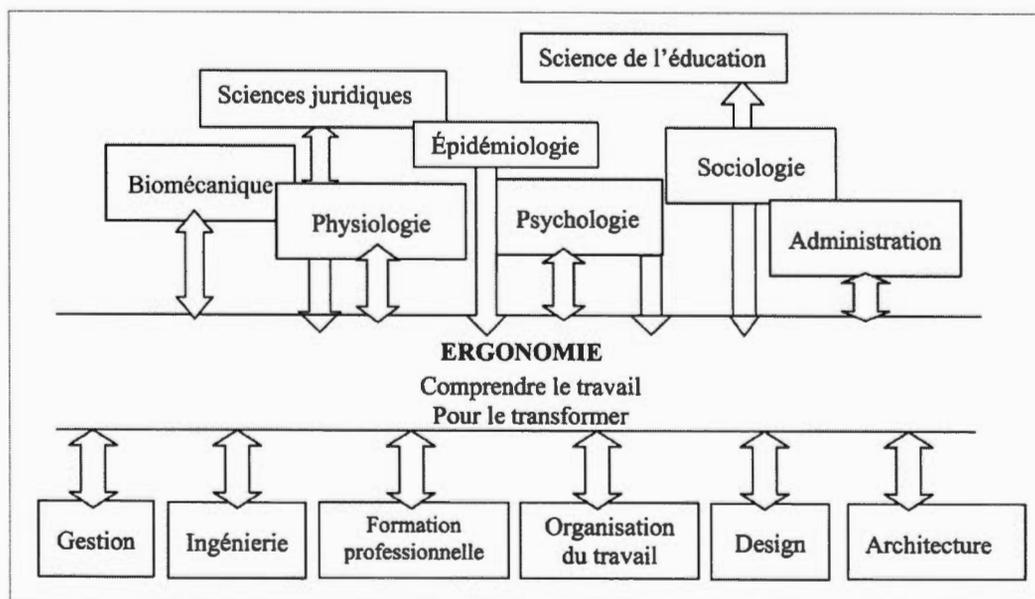


Figure 0-3 : Une illustration de certaines interactions de l'ergonomie avec d'autres disciplines selon Vézina (2003).

Les ergonomes estimeraient leur discipline comme propice aux échanges sur le plan des méthodes et des connaissances selon une étude de Lortie (2005). Dans notre étude, nous voyons ici l'occasion d'appliquer cette démarche ergonomique dont l'élément central à documenter est l'activité, tout en investiguant la littérature et des données normatives.

## ANNEXE C

### PLANS D'ENTREVUES

#### PLAN D'ENTREVUE DIRIGÉE – ENTRAÎNEURS :

##### Questions de nature générale

1. Depuis quand pratiquez-vous ce métier
2. C'est une occupation à temps plein/ partiel
3. C'est un travail rémunéré
4. Lieux de travail
5. En quoi consiste votre travail, qu'attend-on de vous (le club)
6. Un organisme encadre-t-il votre travail
7. Possédez-vous un budget
8. Nombre d'heures que vous consacrez à ce travail
9. L'horaire (heures/semaine, saison, etc.)
10. Vos responsabilités
11. Vous partagez le travail avec un assistant Si oui, quel partage
12. Faites-vous appel à de l'aide extérieure de manière occasionnelle (spécialistes, autres entraîneurs,...)
13. Si oui, de quelle nature est cette aide
14. Y a-t-il de la relève
15. Combien êtes-vous au Québec, au Canada
16. On a besoin d'une formation particulière pour effectuer ce travail
17. Y a-t-il des formations pour ce travail Formation continue
18. Si oui, laquelle
19. Quelle est la vôtre
20. Volet relationnel : Quels sont les outils nécessaires à ce travail Ceux que vous possédez Ceux qui vous manquent
21. Volet technique : Quels sont les outils nécessaires à ce travail Ceux que vous possédez Ceux qui vous manquent

##### Questions athlètes et entraînement

22. Combien d'athlètes vous encadrez
23. Combien en avez-vous encadré durant votre carrière
24. Qu'est-ce qu'un athlète doit posséder pour bien performer
25. Qu'est-ce qu'un bon athlète
26. Quels sont les différents types d'athlètes que vous encadrez (objectifs, buts et ambitions des athlètes)
27. Comment communiquez-vous avec les athlètes : courriel, téléphone, autre
28. Existe-t-il une classification des athlètes au Québec, au Canada
29. Quelle est la relation idéale entre l'athlète et son entraîneur
30. Qu'attendent-ils de vous (les athlètes)
31. Les difficultés que vous rencontrez dans vos relations avec les athlètes
32. Avez-vous à traiter avec l'entourage de l'athlète
33. Suivez-vous des programmes d'entraînement : quelles informations avez-vous besoin d'avoir pour aider à bien évaluer et encadrer l'athlète. Uniquement son temps de course?
34. Aurait-il besoin d'autres informations ?
35. Si oui de quelle nature
36. Comment se divise une année en termes d'événements et de stratégie d'entraînement
37. Où et dans quelle condition se déroulent les entraînements
38. De quels outils vous vous servez en entraînement
39. De quels outils vous vous servez en compétition
40. Qu'est-ce qu'une bonne séance d'entraînement
41. Qu'est-ce au juste qu'un entraînement en "puissance" VS "(j'ai oublié le nom)"?
  - a. Pourquoi ne pas faire de puissance avant les compétitions?
  - b. Les raisons au niveau du cerveau?
42. Qu'est-ce qu'une bonne course : ce serait quoi la séquence de gestes (modes opératoires) qui mène à une belle performance (en terme de rythme, vitesse d'exécution, effort (force), etc.) ?
43. Quelles difficultés rencontrez-vous avec les athlètes (niveau technique)
44. Les défis
45. Qu'est-ce qu'une mauvaise performance
46. Quelles sont les évolutions marquantes que vous avez observées durant vos années d'expérience

Questions quant aux compétitions

47. Quels sont les types de compétitions rencontrées durant une année
48. Quelle est la hiérarchie de ces compétitions : ordre, niveau, importance, etc.

#### Questions quant aux FRC

49. Qui possède les FRC
50. Combien le club en possède
51. Leur prix
52. Qui personnalise, et comment les FRC sont personnalisés
53. Qu'est-ce qui justifie un modèle ou un autre par rapport aux différents athlètes ? Qu'est-ce qui guide le choix d'un modèle plutôt qu'un autre ?
54. Qui répare et entretient les FRC
55. Qu'est-ce qu'un bon FRC
56. L'usure et les bris : Qu'est-ce qui brise ou s'use, à quelle fréquence? L'usure a un impact sur la performance?
57. L'efficacité de la technologie et des matériaux actuels ?
58. Selon vous : les critères d'une bonne main courante?

#### Se projeter dans l'avenir...

59. Ce que vous n'avez pas le temps et/ou les moyens de faire
  60. Vos ambitions, buts et objectifs fixés
  61. Vos projets, les défis à relever pour l'avenir
  62. Dans un monde idéal, ce que vous rêvez de...
- 
63. Avez-vous des questions quant au projet
  64. Avez-vous des attentes face à ce projet de recherche
-

## PLAN D'ENTREVUE DIRIGÉE – MÉDECIN SPORTIF

## Questions de nature générale

1. En quoi consiste votre travail
2. Nombre d'heures que vous consacrez à ce travail
3. Depuis quand pratiquez-vous ce métier
4. On a besoin d'une formation particulière pour effectuer ce travail
5. Quelle(s) compétence(s) estimez-vous nécessaire(s) à la bonne pratique de ce métier
6. Lieux de travail :
7. Quel lien avec l'université
8. Vous avez des assistants, collègues (si oui, taille de l'équipe)
9. Vous participez à des compétitions
10. Vous suivez des athlètes en compétition, à l'extérieur
11. Vous voyagez beaucoup pour votre travail (suivre athlètes et/ou compétition)
12. Vous pratiquez vous-même un sport
13. Vos responsabilités à la clinique (dans vos fonctions)
14. Faites-vous appel à de l'aide extérieure de manière occasionnelle (collègues, spécialistes...)
15. Si oui, de quelle nature est cette aide
16. Volet technique, équipements et autres : quels sont les outils nécessaires à ce travail, ceux que vous possédez, ceux qui vous manquent (labo Université, extérieur)
17. Y a-t-il de la relève
18. Combien êtes-vous au Québec, au Canada

## Questions athlètes

19. Quelle est votre clientèle : qui vous consulte, fréquence des consultations
20. Quel est le délai pour une consultation
21. Sont-ce des consultations couvertes par la RAMQ
22. Communiquez-vous exclusivement par RV avec les athlètes
23. Quels sont les différents types d'athlètes que vous encadrez (objectifs, buts et ambitions des athlètes)
24. Vous avez une spécialité (discipline, type d'athlète)

25. Vous recevez/suivez des athlètes avec des limitations et/ou atteintes à la moelle épinière
26. Combien en avez-vous encadré durant votre carrière : avec ou sans limitation
27. Qu'est-ce qu'un athlète doit posséder pour bien performer sans se blesser
28. Qu'est-ce qu'un bon athlète

#### Questions quant aux blessures et athlètes de FRC

29. Quels sont les types de blessures les plus fréquemment rencontrées
30. Un exemple des plus rares
31. Certaines sont particulières aux athlètes atteints d'une limitation et/ou d'une blessure à la moelle épinière
32. Vous traitez des athlètes de FRC
33. Si oui, quelle est la nature des blessures rencontrées
34. Les plus fréquentes
35. Les plus graves
36. Y a-t-il une différence entre les athlètes "récréatifs" et ceux qui performant (visent les championnats canadiens et/ou les paralympiques)
37. Les contraintes évoluent-elles au cours de la carrière des athlètes atteints d'une limitation et/ou d'une blessure à la moelle épinière
38. Certaines sont en lien avec la technique de poussée
39. Que connaissez-vous des deux différentes techniques de poussée (conventionnelle et parackhand) : lien avec la performance, les blessures
40. Les gants ont-ils une incidence sur les blessures rencontrées
41. Les blessures et/ou affections sont-elles guérissables
42. Un athlète de FRC se blessera-t-il souvent dans sa carrière
43. Suite à votre expérience, vous avez des conseils ou une théorie à mettre en pratique pour éviter des blessures en FRC

#### Se projeter dans l'avenir...

44. Quelles sont les évolutions marquantes que vous avez observées durant vos années d'expérience
45. L'avenir de votre profession, ce qui attend les nouvelles générations
46. Les défis de votre métier
47. Les nouvelles technologies seront, seront, ou vous souhaitez qu'elles soient
48. Vos ambitions futures
49. Ce que vous n'avez pas le temps et/ou les moyens de faire
50. Dans un monde idéal, ce que vous rêvez de...

51. Avez-vous des questions quant au projet

---

PLAN D'ENTREVUE DIRIGÉE – ATHLÈTE

Questions pour mieux vous connaître

1. Votre âge
2. Votre poids
3. Votre taille
4. Vous vous déplacez en fauteuil roulant? Avec des béquilles?
5. Quels sont la nature, le degré et la cause de votre atteinte
6. Depuis quand avez-vous cette limitation, ce handicap
7. Est-ce stable, dégénératif
8. Vous connaissez votre poids? Votre taille debout?
9. Comment êtes-vous classifié (T34, T35, T53, T54...)
10. Vous pratiquez ce sport depuis quand
11. Quelles sont vos ambitions (ex. récréative, élite...)
12. Comment avez-vous appris
13. Vous avez un mentor
14. Vous pratiquez d'autres sports
15. Vous vous spécialisez dans quelles courses/distances :
  - a. 100, 200, 400, 800, 1500, 4x400, 5000, 10000, marathon
16. Vous participez à quels types de compétitions
17. Vous avez gagné des compétitions

Quant à votre santé – lien avec la pratique du sport

18. Vous avez des douleurs provoquées par la pratique de ce sport
19. Vous avez souffert de blessures liées à la pratique de ce sport
20. Vous pouvez cibler la source de ces douleurs ou blessures
21. Si vous avez eu des blessures, comment les avez-vous traitées, guéries
22. Vous conservez des séquelles
23. Comment les évitez-vous maintenant

Fauteuil roulant (en tant qu'athlète)

24. Quelle est la marque de votre fauteuil roulant de course (FRC)

25. C'est le vôtre/ prêt du club
26. Vous l'avez choisi/ pas choisi
27. C'est votre premier FRC
28. Vous avez modifié votre FRC (personnalisé)
  - a. Si oui, quels changements
  - b. Par vous ou quelqu'un d'autre
29. Quel est le type de châssis :
  - a. Cage en : U, I, V
  - b. Essieu coupé ou non
30. Le type d'appui-pied (si présent)
31. Quel est l'angle de carrossage de votre FRC
32. Le type de roues :
  - a. Avant
  - b. Arrière
33. Les pneus :
  - a. Le type, la marque
  - b. Vous avez des crevaisons régulièrement
34. Le type de main courante (MC)
  - a. Diamètre
  - b. Système de fixation
  - c. Son type de recouvrement
  - d. Sa distance par rapport à la surface de la roue
  - e. Vous vous protégez du risque de frottement de la roue sur vos bras
35. Vous installez des coussins
  - a. Si oui, en quel matériau (mousse)
  - b. Mousse formée pour épouser
36. Comment vous positionnez vos jambes
37. Quels autres accessoires votre FRC possède-t-il

#### Gants

38. Vous utilisez quel type de gants
39. Vous avez toujours utilisé ce type de gant?
40. Sinon, quel autre type?
41. Des gants différents selon le type de compétition
42. Pourquoi avoir changé
43. Cela a eu des effets sur votre pratique? Le type de technique de poussée?

44. Si gant dur, vous l'avez fabriqué?
45. Avec quel matériau?
46. Qui vous l'a enseigné?
47. Quel avantage y voyez-vous (nouveau gant)
48. Vous utilisez un adhérent? Si oui lequel, dans quelles circonstances et de quelle manière?

Direction (se diriger dans les courbes, réalignement)

49. Direction :
  - a. Poignées standards ou verticale
  - b. '*track control*' standard (triangulaire) ou de forme ovale (pour élite?)
  - c. En dessous du châssis ou au-dessus (plus aérodynamique)
50. Comment vous vous dirigez
  - a. Selon le terrain (pistes différentes, la route...)
51. Comment vous ajustez les mécanismes

Techniques de poussée et stratégies

52. Vous utilisez quelle technique de poussée
  - a. Conventionnelle
  - b. Parabackhand
  - c. Autre
53. Comment me décrire votre technique de poussée, les phases
  - a. Ex. au départ, au contact de la MC, à la sortie, pendant la période de recouvrement...
54. Qui vous l'a enseigné
55. Elle a évolué
56. Quant à la position de votre tronc
  - a. Plutôt droit
  - b. Incliné
    - i. Jusqu'à quel degré
  - c. Selon la phase de votre cycle de poussée
57. Faites-vous des '*wheely*'?
  - a. Si oui à quel moment
  - b. Qu'est-ce qui les provoque?
58. Quant à l'attention que vous portez avec votre regard (vos yeux)
  - a. vous vous relevez souvent?
  - b. Pour regarder devant vous
  - c. À l'arrière

59. Selon les conditions atmosphériques et ambiantes, qu'est-ce qui change :
- Quand il pleut
  - Quand il fait chaud, froid
  - Quand il vente
60. Seul ou en peloton, c'est différent?
61. Adaptez-vous votre technique selon l'avancement d'une course
- Départ, milieu, fin, montée, descente, à l'arrière d'un concurrent
62. Quelle est votre vitesse maximale?
63. Votre meilleur temps?

Se projeter dans l'avenir...

64. Ce que vous voulez expérimenter
65. Ce que vous voulez améliorer
- Vos forces ↔ faiblesses
  - votre ''tendon d'Achille''
66. Les défis de votre pratique
67. Vos ambitions futures
68. Ce que vous n'avez pas le temps et/ou les moyens de faire
69. Dans un monde idéal, ce que vous rêvez de...

Questions de natures diverses

70. Avez-vous des questions quant au projet de recherche

Expliquer à l'athlète la suite du projet...

- Nous allons filmer ses pratiques intérieures (prises de vue latérales)
  - Nous allons faire des relevés de son fauteuil et de son positionnement
  - Il sera confronté aux données recueillies quant à sa poussée (entrevue à venir)
  - Nous allons prendre des relevés anthropométriques de sa personne en laboratoire
  - Nous allons vous demander de simuler des parcours ou portion de parcours entremêlés de pauses alors que vous serez filmé avec de l'équipement de pointe en laboratoire
  - Vous serez invité à partager vos impressions quant au projet de recherche et prendre connaissance de ses résultats.
-

## PLAN ENTREVUE DIRIGÉE D'AUTO-CONFRONTATION

Qu'est-ce qu'on peut apprendre? Qu'ils savent ou ignorent?

## 1. Partager ce qui a été relevé ...

- a. L'angle de carrossage de votre FRC :
  - i. \_\_\_\_\_ °
- b. type de main courante (MC)
  - i. \_\_\_\_\_ ø
  - ii. Système de fixation de la MC : \_\_\_\_\_
  - iii. Espacement de la MC de la roue ? : \_\_\_\_\_ mm  
(recouvrement inclut)
  - iv. Le type de recouvrement de la MC? : de compagnie? avec les caoutchoucs produits pour cela? Autre?
  - v. le pincement ou l'ouverture ('*toe-in, toe out*') : \_\_\_\_\_ mm
  - vi. Diamètre des roues arr. sans le pneu : \_\_\_\_\_ mm
  - vii. Gonfle ses pneus à \_\_\_\_\_ lb (Bienvenu 160 lb)
- c. Relevés du FRC :
  - i. Longueur hors-tout : \_\_\_\_\_ "
  - ii. Largeur vis-à-vis l'ouverture supérieure minimale (entre les ailes) : \_\_\_\_\_ "
  - iii. Largeur au sol (pneus arr. inclus) : 23-3/4"
- d. Positionnement de l'athlète dans le FRC
  - i. Hauteur assise : fessier \_\_\_\_\_
  - ii. Hauteur sous les genoux \_\_\_\_\_ mm
  - iii. Hauteur appui des pieds - vertical (si applicable) : \_\_\_\_\_ mm
  - iv. Hauteur de l'appui au niveau des chevilles (si applicable) : \_\_\_\_\_ mm
  - v. Quel est le point de bascule (*wheely*) en rapport avec le centre de la roue arrière : \_\_\_\_\_ mm plus en avant? ou en arrière? de l'axe.

## 2. Ce que les vidéos révèlent sur votre technique : discussion

- a. Décortiquer le mouvement avec démonstration

- i. L'entrée et la sortie (selon le cadran – ex. 2h et 7-1/2h)
    - ii. Quel type de contact et la position des doigts et de la main :
      1. à l'entrée;
      2. durant le contact;
      3. à la sortie;
      4. le pivot du poignet de fin ("coup de fouet").
  - b. Quant à :
    - i. l'asymétrie?
    - ii. l'angle et le mouvement du tronc?
    - iii. le regard?
    - iv. le dégagement des bras à l'arrière (patron produit par le cycle)
    - v. la prise de vitesse lors de l'entrée
    - vi. au freinage provoqué par des collisions entre main/doigt et MC
    - vii. le rôle de votre atteinte dans le geste? (ce qui pourrait expliquer une observation)
3. Expliquer à l'athlète la suite du projet...
- A. Nous allons prendre des relevés anthropométriques de sa personne en laboratoire
  - B. Nous allons vous demander de simuler des parcours ou portion de parcours entremêlés de pauses alors que vous serez filmé avec de l'équipement de pointe en laboratoire
  - C. Vous serez invité à partager vos impressions quant au projet de recherche et prendre connaissance de ses résultats.
-



## ANNEXE D

### FEUILLE DE COLLECTE EN LABORATOIRE

Feuille de collecte de laboratoire pour le projet FC\_JL16E :

**Laboratoire de  
Pathokinésiologie**

**CRJ**  
Centre de recherche  
interdisciplinaire  
en réadaptation  
de Montréal métropolitaine

Centre intégré  
universitaire de santé  
et de services sociaux  
du Centre-Sud  
de l'île-de-Montréal  
**Québec**

**UQAM** Faculté des sciences  
Université du Québec à Montréal

Le fauteuil roulant de course : une analyse du geste de l'utilisateur pour dégager les critères de conception d'une roue instrumentée.

#### Historique et informations du document

Version	Date	Modification(s)
1.0	2017-02-17	Première version officielle
2.0	2017-02-21	Ajustement suite au premier participant. Principalement : Ajout de tâches dans la préparation du matériel, changement dans l'ordre de certaines manip (coude biodex, échauffement), précisions sur les tâches et l'ordre des enregistrements.
3.0	2017-02-24	Ajout des photos du Biodex
4.0	2017-03-02	Ajout de la mesure de l'avant-bras, modification de la synchronisation Optotrak-Labview (utilisation du feu de circulation et du iPhone), ajout des numéros d'ordre d'enregistrement pour faciliter le transfert vers BIOMECH, correction de quelques coquilles.
5.0	2017-03-08	Ajout de la précision de l'alignement statique (Optotrak) et du diamètre hors-tout incluant le pneu.

## Date et participant

Aujourd'hui, nous sommes le (aaaa/mm/jj)	
Numéro d'identifiant unique du participant (selon base de données BIOMECH : ex. 100, 101...)	

## Responsabilités

Tâche	Nom en lettres moulées
Responsable du système informatique d'acquisition (logiciels de contrôle)	
Relevés anthropométriques : ♀ pour athlètes ♀, ♂ pour athlètes ♂	
Sonder	
Positionner les marqueurs	
Responsable du Biodex	
Enregistrement de la feuille de collecte Signature _____	
Vérification de la feuille de collecte Signature _____	

## Avant la journée des collectes

## Consignes aux athlètes

Rappels à l'athlète	✓
Apporter son casque	
Apporter son fauteuil roulant de course usuel, celui qu'il utilise présentement	
S'assurer que le FRC peut se fixer à l'arrière sur le rouleau d'entraînement (modèle classique d'Alex Dupont)	
Apporter tous ses accessoires : gants, pompe à air, odomètre...	
Se vêtir avec des vêtements favorisant les relevés anthropométriques et l'installation de marqueurs (camisole)	

## Vérifier la disponibilité du matériel

Tâches	✓
Avoir en notre possession l'argent en guise de compensation (20\$)	
iPhone SE chargés et vidés des anciens vidéos (vider la corbeille également) (2x)	

Trépieds et systèmes de fixation pour les 2 iPhone	
2 lampes d'appoint pour enregistrements iPhone	
Rouleau et capteur de force prêts pour utilisation	
Barres Optotrak mobiles bien disposées	
Cube de calibration	
Sonde	
Marqueurs actifs avec adhésif installé et dans la bonne configuration	
2 strobers	
Connecteur entre les strobers	
Marqueurs passifs et collants double-face	
Ruban réfléchissant	
Ruban à mesurer pour les valeurs anthropométriques	
Anthropomètre	
Table pour la prise de données anthropométriques	
Dispositif pour cibler le centre des roues arrière (JLuc)	
Désinfectant/nettoyeur	
Pied à coulisse (JLuc)	
Collation pour les invités (jus et barres tendres)	
Tableau blanc avec feutre	
Dispositif lumineux « feu de circulation »	

Le jour même (avant les collectes)

Présences

Nom	Poste / titre	✓
Youssef El Khamlichi	Ingénieur IRGLM	
Philippe Gourdou	Ingénieur IRGLM	
Félix Chénier	Professeur/chercheur responsable UQAM	
Jean-Luc Fauvel	Candidat à la maîtrise en ergonomie UQAM	
Geneviève Clermont	Étudiante stagiaire	
Julien Malbequi	Étudiant stagiaire	
Charles-Antoine Russell	Étudiant stagiaire	
	Autre	

Installation et configuration du matériel

Tâches	✓
--------	---

Installer le rouleau et brancher le capteur de force dans l'amplificateur #2, canal 73	
Vérifier la présence du marqueur réfléchissant en avant du rouleau, celui-ci devant être vu par les deux iPhone.	
Vérifier la présence du marqueur réfléchissant sur la tige noire de support arrière du fauteuil, au niveau du capteur de force.	
Vérifier la présence des 2 marqueurs réfléchissants sur la tige horizontale du rouleau servant d'étalon pour les iPhone (distance d'un mètre)  Distance précise entre ces marqueurs (centre à centre) : _____ cm	
Installer les 2 voyants lumineux DEL rouges sur le centre de la tige horizontale du rouleau (visible pour chaque iPhone)	
Configurer l'amplificateur #2 selon ces paramètres : Fréquence de coupure : 200 Hz Gain : 1 Tension d'excitation : 10	
Installer les trépieds et les iPhone à 12 pieds de chaque côté de l'axe médian du rouleau, perpendiculaire à l'axe médian du rouleau et centré sur le haut de la roue arrière.	
Démarrer les ordinateurs et exécuter le fichier irglm40.cmd pour connecter les lecteurs réseau I, Q et U (répondre N à la question de connecter l'ancien réseau).	
Calibration de l'Optotrak (écran de gauche)	
<b>Tâches</b>	✓
Connecter le cube de calibration sur le port 1 – fil rouge de la couette de fils	
Allumer les caméras dans cet ordre : droite, avant, gauche, arrière	
Ouvrir l'application First Principles et ouvrir l'expérimentation FC_JL16E	
Si les caméras ne sont pas les 4 visibles dans la liste du haut, faire Query System (menu « Utilities »)	
Choisir « Perform new alignment » + « New Registration »	
Vérifier que le bon numéro de cube est sélectionné, et faire Next.  Noter le numéro du cube de calibration : _____	
Choisir un temps « Collection time » de 60 secondes	

Procéder à la calibration de l'environnement.	
Noter la précision RMS de la calibration (recommencer si >0.5 mm) : _____	
Faire l'alignement du cube. Le système d'axe doit suivre la figure 1; l'emplacement de l'origine n'est pas important.	
Noter la précision RMS de l'alignement (recommencer si >0.5 mm) : _____	

## Préparation de l'Optotrak pour les collectes

Tâches	✓
Connecter toutes les chaînes de marqueurs du membre supérieur sur le strober, à côté du rouleau, suivant la figure 2.	
Connecter les strobers 1 et 2 sur le port 2	
Connecter la sonde sur le port 1 – fil rouge de la couette de fils.  Noter le numéro de la sonde : _____	
Ouvrir l'application First Principles et créer une nouvelle acquisition.	
Dans « Configure Tools/Strobers », ajouter manuellement 6 marqueurs sur le port 1 pour la sonde.	
Choisir 70 Hz pour « Collection frame frequency » et 3000 Hz pour la fréquence des LEDs.	
S'assurer que les marqueurs sont tous détectés : 6 (sonde) + 3 + 32 = 41 au total	
Dans la page de configuration de la session, entrer le numéro de sujet sous « Session Name » et sélectionner le dossier C:\Data\FC_JL16E	

## Préparation de Labview (écran de droite)

Tâches	✓
Ouvrir l'application Acquisition2013, double-cliquer sur le 1er choix de la liste (Module Acquisition.vi), puis cliquer sur ⇌ pour lancer le programme.	
Entrer le numéro de participant, puis cliquer sur l'onglet de configuration.	
Cliquer sur [?] pour choisir le fichier initial0_xxxxxxx.dat (dans le dossier	

FC_JL16E)	
Pour « Répertoire de données », créer le sous-dossier C:\Data\FC_JL16E\#participant et sélectionner ce dossier.	
Cocher « Conserver »	
Changer la durée d'acquisition pour 300 secondes.	
Cliquer sur Valider, puis sur l'onglet Collectes.	
Configurer le déclenchement de début et de fin en mode manuel (petite main)	
Cocher « Sauvegarder », « Impulsion de sortie » et « Automatique »	

## Préparation du Biodex

<b>Tâches</b>	✓
Démarrer le Biodex à l'aide du bouton situé à l'arrière à droite du contrôleur	
Régler le bouton Pause sur 2 secondes	
Régler le moment maximal à 14 Nm	
Installer le « feu de circulation »	

Le jour même (avec l'athlète)

## Accueil et formulaires

<b>Tâches</b>	✓
Accompagner et transporter le FRC au laboratoire (4e étage)	
Expliquer le déroulement au participant	
Remplir et signer le formulaire de données personnelles	
Compléter et signer formulaire de consentement	
Préparation de l'athlète : s'assurer du port de vêtements adéquats	

## Relevés anthropométriques avec ruban à mesurer et anthropomètre

Côté dominant (G/D) :	_____
-----------------------	-------

Description	Dimension en mm
Taille du participant allongé (ruban ou toise)	
Longueur verticale du menton au sommet (anthropomètre)	

Distance verticale entre D1 et le bas des oreilles (anthropomètre)	
Périmètre de la tête au-dessus des oreilles (ruban)	
Distance du grand trochanter à l'acromion (ruban)	
Périmètre pectoral au niveau des mamelons (ruban)	
Périmètre au niveau du nombril (ruban)	
Périmètre au niveau des hanches (ruban)	
Largeur pectorale au niveau des mamelons, plan frontal (anthropomètre)	
Largeur au niveau du nombril, plan frontal (anthropomètre)	
Largeur au niveau des hanches, plan frontal (anthropomètre)	
Largeur au niveau des épaules : distance inter acromiale hors-tout (anthropomètre)	
Longueur du bras dominant : centre de l'épaule au centre du coude (ruban)	
Longueur de l'avant-bras dom. : épicondyle lat. au styloïde ulnaire (ruban)	
Périmètre du bras dominant sous l'aisselle (ruban)	
Périmètre max du bras dominant au niveau du renflement du biceps (ruban)	
Périmètre proximal du coude, bras dominant (ruban)	
Distance du centre du poignet à la pointe du doigt #3, bras dom. (ruban)	
Périmètre proximal du poignet, bras dominant (ruban)	
Périmètre de la main aux premières jointures, bras dominant (ruban)	
FRC : Mesurer le diamètre sectionnel de la main courante (pied à coulisse)	
FRC : Mesurer le diamètre hors-tout de la main courante (ruban)	
FRC : Mesurer le diamètre hors-tout de la roue, incluant le pneu (ruban)	
FRC : Mesurer l'espace entre la roue et la main courante (pied à coulisse)	

Athlète se déplaçant en fauteuil roulant :

Description	Poids en kg
Poids de l'athlète dans son fauteuil roulant classique	

Poids du fauteuil seul	
Poids de l'athlète (par soustraction)	

Athlète se déplaçant sans fauteuil roulant :

Description	Poids en kg
Poids de l'athlète sans aide technique (orthèse)	

Biodex : Flexion de l'épaule droite, coude fléchi

Le Biodex peut se faire en même temps que 20 "Numérisations de points sur le fauteuil".

Préparation (à faire pour chaque test)	✓
Fixer la poignée correspondant au test à effectuer (voir figure 5)	
Ajuster le positionnement du siège, du moteur et de la poignée en fonction de la morphologie du participant	
Réglage de la balance (sans le participant) : Régler le MODE sur SETUP Déverrouiller le moteur en appuyant sur ON puis START Équilibrer la poignée à l'horizontale avec le bouton BALANCE (à l'avant du moteur, sous le ventilateur) Appuyer sur STOP	
Réglage de l'amplitude de mouvement (avec le participant) : Appuyer sur START et déplacer manuellement la poignée puis régler les butées dans les sens 1 et 2 à l'aide des boutons LIMIT SET 1 et LIMIT SET 2 S'assurer que les boutons PERCENT RANGE 1 et 2 sont à 100% Placer la poignée dans la position de départ du test à venir et appuyer sur STOP	

Description de la tâche

Pour tous les essais isocinétiques, l'athlète effectue des tests de force maximale isocinétique sans précharge, lente et rapide. Faire 3 cycles par essai.

Enregistrements

Labview

Essai – Flexion de l'épaule droite, coude fléchi	Ordre d'enreg. (BIOMECH)	#Essai Labview 1 de moins
--	--------------------------	---------------------------

		que ce qui est écrit
Mode PASSIVE avec bras, Vitesse de 30 deg/s (3 cycles)	1	
Mode ISOKINETIC, vitesse de 30 deg/s (3 cycles)	2	
Mode ISOKINETIC, vitesse de 180 deg/s (3 cycles)	3	
Mode PASSIVE sans bras, vitesse de 30 deg/s (3 cycles)	4	

Biodex : Extension de l'épaule droite, coude étendu

Préparation	✓
Répéter les étapes de préparation pour ce nouveau groupe musculaire	

Essai – Extension de l'épaule droite, coude étendu	Ordre d'enreg. (BIOMECH)	#Essai Labview 1 de moins que ce qui est écrit
Mode PASSIVE avec bras, Vitesse de 30 deg/s (3 cycles)	5	
Mode ISOKINETIC, vitesse de 30 deg/s (3 cycles)	6	
Mode ISOKINETIC, vitesse de 180 deg/s (3 cycles)	7	
Mode PASSIVE sans bras, vitesse de 30 deg/s (3 cycles)	8	

Biodex : Extension du coude droit

Préparation	✓
Répéter les étapes de préparation pour ce nouveau groupe musculaire	

Essai – Extension du coude droit	Ordre d'enreg. (BIOMECH)	#Essai Labview 1 de moins que ce qui est écrit
Mode PASSIVE avec bras, Vitesse de 30 deg/s (3 cycles)	9	
Mode ISOKINETIC, vitesse de 30 deg/s (3 cycles)	10	
Mode ISOKINETIC, vitesse de 180 deg/s (3 cycles)	11	
Mode PASSIVE sans bras, vitesse de 30 deg/s (3 cycles)	12	

Biodex : Extension du coude gauche

Préparation	✓
-------------	---

Répéter les étapes de préparation pour ce nouveau groupe musculaire	
---	--

Essai – Extension du coude gauche	Ordre d'enreg. (BIOMECH)	#Essai Labview 1 de moins que ce qui est écrit
Mode PASSIVE avec bras, Vitesse de 30 deg/s (3 cycles)	13	
Mode ISOKINETIC, vitesse de 30 deg/s (3 cycles)	14	
Mode ISOKINETIC, vitesse de 180 deg/s (3 cycles)	15	
Mode PASSIVE sans bras, vitesse de 30 deg/s (3 cycles)	16	

Biodex : Flexion de l'épaule gauche, coude fléchi

Préparation	✓
Répéter les étapes de préparation pour ce nouveau groupe musculaire	

Essai – Flexion de l'épaule gauche, coude fléchi	Ordre d'enreg. (BIOMECH)	#Essai Labview 1 de moins que ce qui est écrit
Mode PASSIVE avec bras, Vitesse de 30 deg/s (3 cycles)	17	
Mode ISOKINETIC, vitesse de 30 deg/s (3 cycles)	18	
Mode ISOKINETIC, vitesse de 180 deg/s (3 cycles)	19	
Mode PASSIVE sans bras, vitesse de 30 deg/s (3 cycles)	20	

Biodex : Extension de l'épaule gauche, coude étendu

Préparation	✓
Répéter les étapes de préparation pour ce nouveau groupe musculaire	

Essai – Extension de l'épaule gauche, coude étendu	Ordre d'enreg. (BIOMECH)	#Essai Labview 1 de moins que ce qui est écrit

Mode PASSIVE avec bras, Vitesse de 30 deg/s (3 cycles)	21	
Mode ISOKINETIC, vitesse de 30 deg/s (3 cycles)	22	
Mode ISOKINETIC, vitesse de 180 deg/s (3 cycles)	23	
Mode PASSIVE sans bras, vitesse de 30 deg/s (3 cycles)	24	

Numérisation de points sur le fauteuil

<b>Tâches</b>	✓
Coller des petits carrés réfléchissants (1/2 largeur de ruban) sur chaque roue : 2 marqueurs opposés (180 degrés), près du pneu Au centre de la roue	
Placer les 3 marqueurs actifs sur le fauteuil selon la figure 2.	
Configurer les acquisitions Optotrak à une durée de 2 secondes	

Numériser ces points (se référer à la figure 3) :

Points	Ordre d'enreg. (BIOMECH)	Marqueurs requis En plus des marqueurs de la sonde (1 à 6)	#Essai Optotrak # de la dernière acquisition
5. Point de contact entre la roue arrière gauche et le rouleau	25	7 à 9	
7. Centre de la roue arrière gauche (sonder vis-à-vis la surface extérieure des roues arrière)	26	7 à 9	
9. Sommet de la roue arrière gauche	27	7 à 9	
6. Point de contact entre la roue arrière droite et le rouleau	28	7 à 9	
8. Centre de la roue arrière droite (vis-à-vis la surface extérieure des roues arrière)	29	7 à 9	
10. Sommet de la roue arrière droite	30	7 à 9	
11. Point de contact entre la roue avant et la barre horizontale	31	7 à 9	
12. Centre de la roue avant (gauche ou droite)	32	7 à 9	
13. Sommet de la roue avant	33	7 à 9	

14. Ouverture de la nacelle : point le plus serré à gauche	34	7 à 9	
15. Ouverture de la nacelle : point le plus serré à droite	35	7 à 9	
16. Ouverture de la nacelle : max arrière – le point le plus à l’arrière vis-à-vis les fesses	36	7 à 9	

Numériser ces points à l’aide de l’outil de marquage (se référer à la figure 3) :

Points	Ordre d’enreg. (BIOMECH)	Marqueurs requis En plus des marqueurs de la sonde (1 à 6)	#Essai Optotrak # de la dernière acquisition
17. Centre de la poignée du guidon	37	7 à 9	
18. Roue arrière Gauche à 9h (au même niveau vertical que le centre de la roue)	38	7 à 9	
19. Roue arrière Gauche à 3h (au même niveau vertical que le centre de la roue)	39	7 à 9	
20. Roue arrière Droite à 9h (au même niveau vertical que le centre de la roue)	40	7 à 9	
21. Roue arrière Droite à 3h (au même niveau vertical que le centre de la roue)	41	7 à 9	

Tâches	✓
Désactiver les marqueurs dans l’interface Optotrak (si les dernières étapes sont faites avant le dîner)	
Installation des marqueurs	
Tâches	✓
S’assurer que les pneus des roues arrière soient gonflés à 160 lb de pression	
Demander à l’athlète de s’installer sur son fauteuil, sur le rouleau.	
Placer les marqueurs actifs sur l’athlète selon la figure 2.	
Placer ces 8 marqueurs passifs sur l’athlète :	
Casque (G)	

Casque (D) Acromion (G) Épicondyle latéral de l'humérus (G) Styloïde ulnaire (cubitale) (G) Acromion (D) Épicondyle latéral de l'humérus (D) Styloïde ulnaire (cubitale) (D)	
Photo de groupe à partir d'un des iPhone sur trépied, si le participant le souhaite	
Test du matériel (sans enregistrement) : L'athlète pousse avec une faible intensité sur environ 0,5 km de distance (odomètre de l'athlète) avec 1 mini accélération à l'intérieur de ce segment. Visualiser les signaux sur les différents appareils et vérifier qu'on voit bien tous les marqueurs.	

Numérisation (probing) de point sur l'athlète

Préparation	✓
Configurer les acquisitions Optotrak à une durée de 2 secondes	

Numériser ces points :

Segment	Point	Ordre d'enreg. (BIOMECH)	Marqueurs requis En plus des marqueurs de la sonde (1 à 6)	#Essai Optotrak # de la dernière acquisition
Main gauche	1ère jointure de l'index	42	28-30	
Main gauche	Milieu du 3e métacarpien	43	28-30	
Main gauche	1re jointure du petit doigt	44	28-30	
Avant-bras gauche	Processus styloïde radial	45	24-26, 28-30	
Avant-bras gauche	Processus styloïde ulnaire	46	24-26, 28-30	
Avant-bras gauche	Olécrane	47	24-26, 28-30	

Bras gauche	Épicondyle médial du coude	48	20-22, 24-26	
Main droite	1ère jointure de l'index	49	39-41	
Main droite	Milieu du 3e métacarpien	50	39-41	
Main droite	1re jointure du petit doigt	51	39-41	
Avant-bras droit	Processus styloïde radial	52	35-37, 39-41	
Avant-bras droit	Processus styloïde ulnaire	53	35-37, 39-41	
Avant-bras droit	Olécrane	54	35-37, 39-41	
Bras droit	Épicondyle médial du coude	55	31-33, 35-37	
Tronc supérieur	Articulation gléno-humérale gauche	56	10-15, 20-22	
Tronc supérieur	Articulation gléno-humérale droite	57	10-15, 31-33	
Tronc supérieur	Processus xiphoïde	58	10-15	
Tête	Menton	59	16-18	
Tête	Oreille gauche (antérieur)	60	16-18	
Tête	Oreille droite (antérieur)	61	16-18	
Tête	Espace entre les yeux	62	16-18	
Cou	C7	63	10-15, 16-18	
Tronc inférieur	Malléole externe gauche en position de propulsion	64	7-9	
Tronc inférieur	Épicondyle latéral du fémur gauche en position de propulsion	65	7-9	

## Captures statiques

Préparation	✓
Configurer les acquisitions Optotrak à une durée de 10 secondes	
Préparer les iPhone : Régler le flash en mode permanent Régler l'exposition à son niveau intermédiaire (par défaut) Geler l'exposition et le focus (appuyer longtemps vis-à-vis la roue arrière)	

## Description de la tâche

L'athlète se tient immobile dans chacune des positions représentées à la figure 4.

## Enregistrements

2 x iPhone

Optotrak

Essai	Ordre d'enreg. (BIOMECH)	#Essai iPhone # sur tableau blanc	#Essai Optotrak # de la dernière acquisition
Position anatomique Athlète avec maintien du tronc : Voir figure 4. Athlète sans maintien du tronc : Une personne se place devant l'athlète et le tient par les épaules	66		
Position anatomique 2 seulement pour les athlètes sans maintien du tronc. Essai avec les bras droits, verticaux et en pronation, mais le tronc fléchi.	66 (2)		
Position de démarrage	67		
Position fléchie	68		

## Calibration du centre articulaire de l'épaule

Préparation	✓
Configurer les acquisitions Optotrak à une durée de 10 secondes	

## Enregistrements

## Optotrak

Essai	Ordre d'enreg. (BIOMECH)	#Essai Optotrak # de la dernière acquisition
Mouvement continu de flexion/extension des bras	69	
Mouvement continu d'abduction/adduction des bras	70	

## Échauffement

<b>Préparation</b>	✓
Éteindre toutes les lumières de la pièce et allumer les 2 lampes d'appoint	
Placer le « feu de circulation » de façon à ce qu'il soit complètement visible par le iPhone de droite	
Configurer les acquisitions Optotrak à une durée de 300 secondes	
Préparer les iPhone : Régler le flash en mode permanent Régler l'exposition à son niveau intermédiaire (par défaut) Geler l'exposition et le focus (appuyer longtemps vis-à-vis la roue arrière)	

Description de la tâche : expliquer à l'athlète

2 à 3 km de distance (odomètre de l'athlète) avec 1 à 2 mini accélérations à l'intérieur de ce segment.

<b>Lancement des enregistrements</b>	✓
iPhone (en premier et en dernier) : Démarrer l'enregistrement	
Labview : Démarrer l'enregistrement	
Optotrak : Démarrer l'enregistrement	

Essai	Ordre d'enreg. (BIOMECH)	#Essai iPhone # sur tableau blanc	#Essai Optotrak # de la dernière acquisition	#Essai Labview 1 de moins que ce qui est écrit

Échauffement (un seul essai)	71			
------------------------------	----	--	--	--

Fin	✓
Optotrak : Arrêter l'enregistrement	
Labview : Sauvegarder l'enregistrement	
iPhone (en premier et en dernier) : Arrêter l'enregistrement	

Propulsion en effort sous-maximal

Vitesse maximale	Valeur (km/h)
Demander à l'athlète sa vitesse maximale sur rouleau	
Calculer 66% de cette vitesse	

Préparation	✓
Configurer les acquisitions Optotrak à une durée de 300 secondes	
Préparer les iPhone :	
Régler le flash en mode permanent	
Régler l'exposition à son niveau intermédiaire (par défaut)	
Geler l'exposition et le focus (appuyer longtemps vis-à-vis la roue arrière)	

Description de la tâche : expliquer à l'athlète

Débuter l'enregistrement.

Attendre 5 secondes, immobile, les mains pas sur les roues.

Demander à l'athlète d'atteindre graduellement 66% de sa vitesse max et de tenter de conserver cette vitesse pendant 1 minute.

L'athlète arrête de propulser, ne touche pas aux roues et conserve une position immobile. Laisser les roues décélérer d'elles-mêmes jusqu'à leur arrêt complet.

Attendre 5 secondes, immobile, les mains pas sur les roues.

Arrêter l'enregistrement.

Lancement des enregistrements	✓
iPhone (en premier et en dernier) : Démarrer l'enregistrement	
Labview : Démarrer l'enregistrement	
Optotrak : Démarrer l'enregistrement	

Essai	Ordre d'enreg. (BIOMECH)	#Essai iPhone	#Essai Optotrak	#Essai Labview
-------	-----------------------------	------------------	--------------------	-------------------

		# sur tableau blanc	# de la dernière acquisition	1 de moins que ce qui est écrit
Enregistrement de l'essai	72			

<b>Fin</b>	✓
Optotrak : Arrêter l'enregistrement	
Labview : Sauvegarder l'enregistrement	
iPhone (en premier et en dernier) : Arrêter l'enregistrement	
Pause	
<b>Tâche</b>	✓
Inviter l'athlète à faire une pause de 10 à 15 minutes, ou selon l'athlète.	

### Propulsion en effort maximal

<b>Préparation</b>	✓
Configurer les acquisitions Optotrak à une durée de 300 secondes	
Préparer les iPhone : Régler le flash en mode permanent Régler l'exposition à son niveau intermédiaire (par défaut) Geler l'exposition et le focus (appuyer longtemps vis-à-vis la roue arrière)	

Description de la tâche : expliquer à l'athlète

Débuter l'enregistrement.

Attendre 5 secondes, immobile, les mains pas sur les roues.

Demander à l'athlète d'ATTEINDRE LE PLUS VITE POSSIBLE sa vitesse maximale (accélération MAXIMALE), de la maintenir le plus longtemps qu'il peut, avec un minimum de 45 secondes de vitesse maximale.

L'athlète arrête de propulser, ne touche pas aux roues et conserve une position immobile. Laisser les roues décélérer d'elles-mêmes jusqu'à leur arrêt complet.

Attendre 5 secondes, immobile, les mains pas sur les roues.

Arrêter l'enregistrement.

**Important : NE PAS DIRE À L'ATHLÈTE D'ARRÊTER APRÈS 45 SECONDES, le laisser gérer la fin lorsqu'il sera réellement fatigué (ou si ça fait plus de 3 minutes).**

Lancement des enregistrements	✓
iPhone (en premier et en dernier) : Démarrer l'enregistrement	
Labview : Démarrer l'enregistrement	
Optotrak : Démarrer l'enregistrement	

Essai	Ordre d'enreg. (BIOMECH)	#Essai iPhone # sur tableau blanc	#Essai Optotrak # de la dernière acquisition	#Essai Labview 1 de moins que ce qui est écrit
Enregistrement de l'essai	73			

Fin	✓
Optotrak : Arrêter l'enregistrement	
Labview : Sauvegarder l'enregistrement	
iPhone (en premier et en dernier) : Arrêter l'enregistrement	

Fin de l'expérimentation

Tâche	✓
Fermer toutes les fenêtres dans l'ordinateur Labview	
Fermer toutes les fenêtres dans l'ordinateur Optotrak	
Inviter l'athlète à ne pas oublier d'effectuer une séance d'étirement après l'effort.	
Remettre le montant de compensation à l'athlète et lui faire signer le formulaire de compensation financière	
Accompagner l'athlète au rez-de-chaussée	

Transfert des fichiers

Tâche	✓
Sur l'ordinateur de l'Optotrak : transférer le(s) dossier(s) de données Optotrak (C:\Data\FC_JL16E\#participant) sur le disque I (Directions) dans le dossier I:\Recherche\Projets\Pathokin\FC_JL16E\Sujets\#participant\Optotrak	
Sur l'ordinateur de l'Optotrak : déconnecter les lecteurs I, Q et U (directions,	

Public et dossier personnel).	
Sur l'ordinateur de Labview : lancer le programme Bureau\LV_to_MAT\Convertir LV_vers_MAT.exe et sélectionner le fichier .DAT enregistré lors de la collecte (situé dans le dossier C:\Data\FC_JL16E\#participant), afin d'obtenir un fichier Matlab pour chaque collecte.	
Sur l'ordinateur de Labview : transférer les fichiers .DAT et .MAT sur le disque I (Directions) dans le dossier I:\Recherche\Projets\Pathokin\FC_JL16E\Sujets\#participant\Labview	
Sur l'ordinateur de Labview : déconnecter les lecteurs I, Q et U (directions, Public et dossier personnel).	
Sur l'ordinateur étudiant : copier le dossier du participant (lecteur I) vers le dossier Dropbox\FC_JL16E_heavy\Sujets	
Sur l'ordinateur étudiant : brancher les iPhone dans le port USB et copier les fichiers sur Dropbox vers le dossier Dropbox\FC_JL16E_heavy\Sujets\#participant\iPhoneL et Dropbox\FC_JL16E_heavy\Sujets\#participant\iPhoneR	

## Fermeture du laboratoire

Tâche	✓
Remettre des autocollants sur les marqueurs actifs simples et ranger les lignes de marqueurs sur le panneau velcro du labo annexe	
Ranger les strobers et le fil d'interconnexions des strobers dans la boîte en carton du labo annexe	
Ranger le long câble de strober et la sonde dans la boîte bleue dans l'armoire du labo annexe	
Ranger les marqueurs passifs, les iPhone les supports à trépied et la série de 3 marqueurs actifs dans l'armoire d'instruments du labo Pathokin	
Ranger les trépieds à côté de l'ordinateur du labo Pathokin	
Débrancher les LEDs et le câble du capteur de force et rouler les fils	
Ranger le rouleau d'entraînement	
Fermer les 4 caméras Optotrak	
Fermer le module d'instrumentation : l'interrupteur est tout en bas à droite	
Fermer tous les logiciels	
S'assurer de barrer la porte	

Ne pas oublier de contre-vérifier cette feuille de collecte, de la numériser et de la joindre aux fichiers sur le disque I et sur Dropbox.

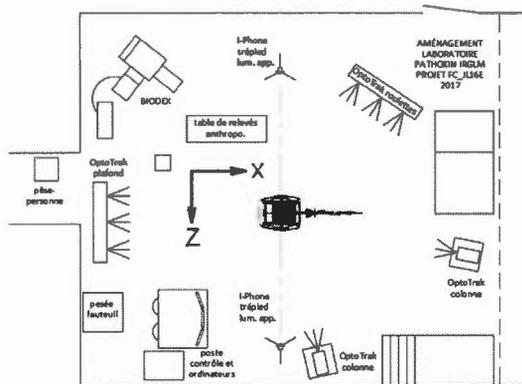


Figure 1 : disposition des équipements et axes de référence

Probe (connectée au port 1)

Probe 1

Probe 2

Probe 3

Probe 4

Probe 5

Probe 6

Strober 1 (connecté au port 2) :

Fauteuil roulant, arrière droit

Fauteuil roulant, arrière gauche

Fauteuil roulant, avant (tube central)

Strober 2, ligne 1 :

Scapula gauche 1

Scapula gauche 2

Scapula gauche 3

Scapula droite 1

Scapula droite 2

Scapula droite 3

Tête 1

Tête 2

Tête 3

Strober 2, ligne 2 :

Sternum (interclaviculaire)

Bras gauche 1

Bras gauche 2

Bras gauche 3

Épicondyle latéral du coude gauche

Strober 2, ligne 3 :

Avant-bras gauche 1

Avant-bras gauche 2

Avant-bras gauche 3

Non utilisée

Gant gauche (poignet) 1

Gant gauche (poignet) 2

Gant gauche (poignet) 3

Strober 2, ligne 4 :

Bras droit 1

Bras droit 2

Bras droit 3

Épicondyle latéral du coude droit

Strober 2, ligne 5 :

Avant-bras droit 1

Avant-bras droit 2

Avant-bras droit 3

Non utilisée

Gant droit (poignet) 1

Gant droit (poignet) 2

Gant droit (poignet) 3

Figure 2 : Position et ordre des marqueurs actifs

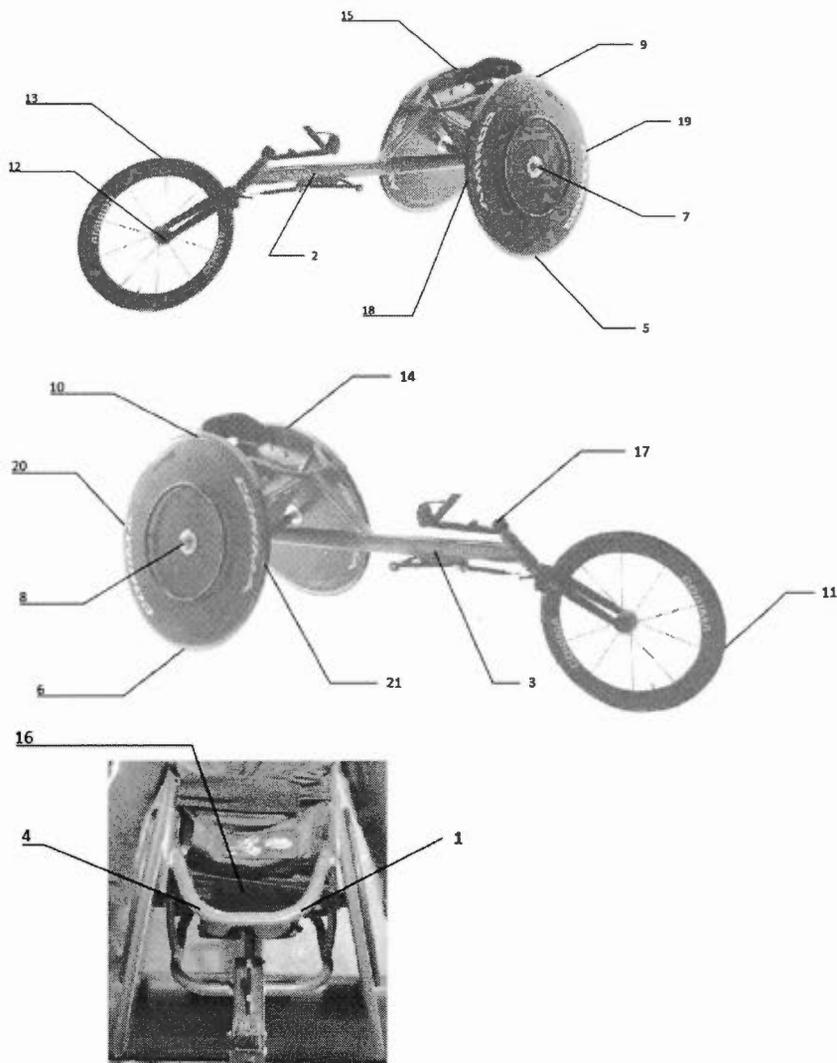


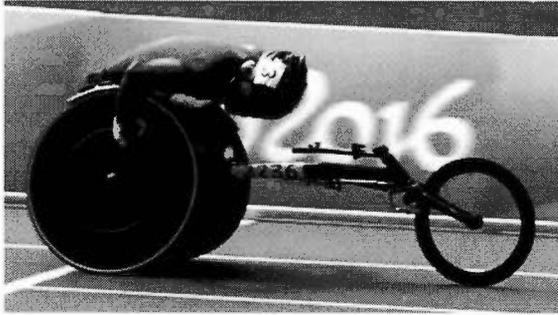
Figure 3 : Position des marqueurs et relevés sur le FRC

Figure 4 : Positionnement de l'athlète lors des acquisitions statiques

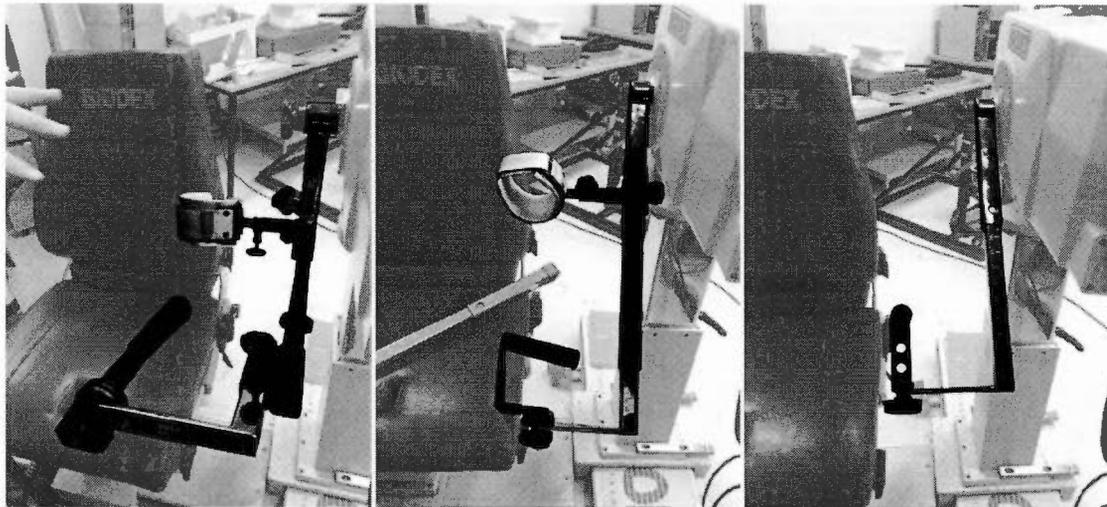
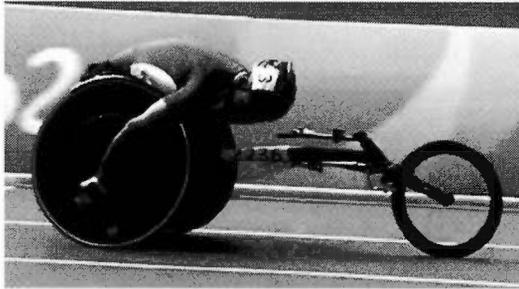
Position anatomique : le tronc le plus droit possible avec les bras pendants, à la verticale.

Position de démarrage : l'athlète est prêt pour un départ les mains sur la MC (phase

d'impact).



Position fléchie : l'athlète simule la position où ses mains sont le plus loin à l'arrière alors qu'il touche encore à la MC (avant la phase de relâchement).



Flexion de l'épaule

Extension de l'épaule

Extension du coude

Figure 5 : Poignées utilisées pour les tests sur le Biodex

Notes :

---

---

Fin de la feuille de collecte

---



## ANNEXE E

### REPÈRES DE CONCEPTION REGROUPÉS

Contrainte	Repère de conception	Section du mémoire
1 Afin d'être opérationnelle dans des conditions météorologiques représentatives des conditions terrain :	La RI doit résister à la pluie et des écarts de température variant entre cinq et 35 degrés Celsius.	6.2.4
2 Pour représenter la taille variable des MC que les athlètes utilisent :	La RI doit accepter une variété de diamètres hors-tout de MC d'au moins 346 à 384mm, et le diamètre hors-tout de la RI devra respecter la norme qui est de 635mm sans les pneumatiques.	6.3.4
3 Afin de respecter l'angle d'abduction des bras de l'athlète tout au long du contact avec la MC durant un cycle de poussée, et afin de ne pas modifier le patron du cycle de poussée :	La RI doit avoir une épaisseur identique aux roues arrières standard de FRC, soit 70 mm au niveau de l'essieu.	6.3.7
4 Pour permettre l'analyse de l'impact d'une poussée asymétrique :	La RI doit être en mesure de se synchroniser avec une autre RI dans le cas où deux RI équiperaient le FRC.	6.3.8
5 En raison des observations qui indiquent que la force de propulsion ne s'exerce pas exclusivement sur la MC, alors qu'il y a contact avec la surface de la roue arrière à l'impact :	La RI doit mesurer les forces appliquées sur la surface de la roue et la MC, dont une grande composante est médio-latérale, et non seulement sur la main courante	6.3.9.3
6 Afin de ne pas ralentir le FRC par des contacts entre la roue et la cage durant la propulsion, en raison des observations qui indiquent que la force de propulsion appliquée déforme les roues arrière :	La RI doit avoir une épaisseur identique aux roues arrières standard de FRC, soit 70 mm au niveau de l'essieu.	6.3.14.2
7 En raison des observations qui indiquent que la force de propulsion appliquée déforme et délamine les roues arrière :	La RI doit résister à cette force par une structure suffisamment rigide pour ne pas se déformer jusqu'à se briser.	6.3.14.2
8 Afin de fournir une lecture des forces appliquées la plus fidèle possible :	Une attention particulière doit être portée sur les composantes de la RI qui sont assumées rigides : la simple supposition que chaque composante de la roue forme un corps rigide n'est peut-être pas valide et les calculs de conversion des cellules de force vers la cinétique doivent en tenir compte	6.3.14.2
9 Afin de soutenir la force appliquée à la MC par les athlètes :	La RI doit capter et mesurer une force tangentielle minimale de 310 N.	6.3.14.2

10	Afin d'obtenir une donnée importante sur la propulsion en FRC :	La RI doit mesurer la vitesse angulaire en radians par seconde ou en rotation par minute (rpm).	6.3.15
11	En fonction de la performance souhaitée et de la vitesse maximale enregistrée de 12.17 m/s (43,82 km/h) :	Les roulements de l'essieu de la RI doivent offrir le moins de friction de possible tout en résistant aux vitesses de rotation appliquées, soit un minimum de 350 rpm.	6.3.15
12	Afin de reproduire fidèlement la propulsion en FRC, entre autres vaincre l'inertie au départ :	Le poids total de la RI doit tendre vers celui des roues classiques pleines en carbone soit 1,1 kg	6.3.17
13	Afin de monitorer la performance du geste de se propulser en FRC :	La RI doit mesurer la force et les moments appliqués en 3D, la vitesse et la cadence des poussées.	6.3.19
14	Afin de reproduire le même type de roue arrière que celui que les athlètes utilisent (une avec une surface extérieure pleine, l'autre ouverte avec quatre rayons) et qui influence la position des doigts et de la main à la première poussée et les poussées subséquentes :	La RI devra offrir deux configurations différentes, sinon deux RI devront être réalisées.	6.4.1.1
15	Afin de protéger la RI des collisions durant son transport :	La conception d'une RI doit prévoir un coffre de transport rigide	6.4.1.1
16	Afin de respecter les dimensions et la pneumatique des roues arrière :	La RI doit avoir un diamètre de 635mm hors-tout (sans pneu) et être équipée d'un pneu gonflable de 19mm de hauteur enchâssé de 3mm à l'intérieur de la roue et résistant à des pressions d'au moins 180 lb pour un diamètre total de 668mm.	6.4.1.1
17	Afin de reproduire les différentes configurations de MC que les athlètes utilisent :	La RI doit permettre l'ajustement de la distance qui sépare la surface de la roue de la MC de nulle à au moins 10mm.	6.4.1.2
18	À défaut de pouvoir permuter la MC du FRC des athlètes avec celle de la RI, et afin de reproduire le plus fidèlement possible l'adhérence de la surface de la MC que les athlètes utilisent :	La RI doit offrir un revêtement de MC représentatif de celui qui recouvre la MC des athlètes.	6.4.1.2
19	Pour éviter le contact avec la MC et des blessures aux bras :	Le volume et les dimensions de la RI en termes d'épaisseur de son âme et d'angle de sa surface extérieure devront respecter celui des roues arrière pleines de série pour conserver une distance sécuritaire entre la MC et les bras des athlètes, soit 70 mm au niveau de l'essieu.	6.4.1.2
20	En raison de l'application d'une très grande force d'impact au tout début de la poussée :	Les cellules de force doivent supporter et mesurer cette force d'impact supposée	6.4.2
21	Afin de monitorer les athlètes se propulsant en temps réel, sur le terrain, dans un contexte écologique :	Une interface de communication avec la RI et d'affichage des résultats doit être adaptée à un téléphone cellulaire, une tablette électronique et un ordinateur portable	6.5.1
22	Afin de contrer la perte ou la corruption de données, et faciliter sa manipulation :	La carte mémoire de la RI doit être judicieusement localisée et permettre l'enregistrement de données directement sur la RI	6.5.2

## ANNEXE F

### LA POSITION GÉNÉRALE DE L'ASSISE

Nous avons observé qu'il existe une grande variabilité anthropométrique entre les athlètes d'autant plus que certaines atteintes contribuent à ces variations. Les techniciens interviewés affirment que la personnalisation et l'entretien mécanique du FRC sont primordiaux pour éviter des blessures et favoriser la performance et que l'interface athlète/FRC optimale est celle qui est le mieux adaptée à la morphologie de l'utilisateur. L'athlète ne peut pas être positionné n'importe où en rapport avec son FRC. Une modification non réfléchie pourrait même entraîner des blessures, comme une atteinte partielle de la MC peut provoquer une extension marquée du coude près des limites sécuritaires de cette articulation.

S'asseoir dans un FRC est contraignant

Le design des FRC dicte une position agenouillée qui limite l'apport sanguin aux jambes d'autant plus que l'athlète veut opter pour une position la plus basse possible pour réduire la résistance à l'air et maximiser l'atteinte de la MC. Deux (#110 et 112) des trois athlètes qui peuvent se mouvoir avec leur(s) jambe(s) ont des segments musclés de bonnes tailles comparativement à ceux qui ont perdu cette capacité, et ils confirment que cela augmente considérablement la pression sous les jambes, les genoux et les cuisses. Les effets secondaires de cette mauvaise circulation sont la perte momentanée de sensation et le risque de phlébites. « Cette condition provoque un engourdissement tel que je ne peux pas marcher avant plusieurs minutes tout de suite après un marathon ». En compétition longue distance cela déconcentre l'athlète. Les

athlètes paraplégiques ne sont pas épargnés de conséquences : ceux-ci doivent constamment soulever leur corps de quelques centimètres en s'appuyant avec les mains sur les ailes de leur FRC (ailes protégeant les roues arrière) pour favoriser la circulation aux jambes, tout comme cela est prescrit pour toute personne en FR conventionnel.

#### Prendre place dans un FRC est risqué de blessure

Les athlètes se déplaçant en fauteuil roulant conventionnel se blessent occasionnellement lors de l'entrée et de la sortie de leur automobile en transférant leur FR à l'arrière du banc du chauffeur. Ce transfert en torsion représente un risque élevé de blessures au dos. Mais s'asseoir dans un FRC est également risqué de blessure pour l'athlète qui n'a pas le plein contrôle de ses jambes comme nous l'avons observé. La première de deux techniques est utilisée par le groupe réunissant les athlètes paraplégiques (#100, 101 et 109) dont deux ont des sensations résiduelles dans les jambes (#100 et 109). Voici sa description : (i) assis dans son FR conventionnel, faire face au siège du FRC, à gauche ou à droite de la tige centrale, (ii) allonger son corps en introduisant les pieds inversés (torsion des jambes) dans les ouvertures de la cage, (iii) appuyer solidement les bras sur le FR conventionnel ou le FRC, (iv) pendant le transfert, *détordre* ses jambes en pivotant son corps de 180 degrés pour faire face au sol, (v) reculer dans la cage du FRC et s'asseoir. La musculature des membres supérieurs particulièrement développée chez ces athlètes facilite ce transfert, mais n'élimine pas le risque de blessures en cas de perte d'équilibre.



*Figure 0-4 : entrée dans le FRC avec l'aide d'une table*

*Étapes : se soulever, positionner un pied, s'appuyer pour positionner le 2<sup>e</sup> pied, reculer en place.*

Les jambes de plusieurs athlètes étant dépourvues de sensibilité, ils pourraient chuter et se couper sur les composants métalliques saillants des fauteuils (FRC et FR conventionnel) qui entourent l'athlète à ce moment. L'autre technique, utilisée par l'athlète #110 qui marche avec un équilibre limité, consiste à utiliser une table disposée à cheval sur la tige principale du FRC (Figure 0-4). Elle offre une grande surface d'appui et lui permet de se maintenir droit alors qu'il recule tout son corps vers le FRC, les pieds se logeant en premier. Cette technique récemment découverte par ce dernier est facilitante et diminue le risque de chute.

Une troisième technique rapportée par un entraîneur (non observée) consiste, avec l'aide d'un tiers à : (i) incliner le FRC de 90 degrés vers l'arrière (alors que l'athlète est étendu sur le sol); (ii) glisser les jambes dans les loges prévues en agrippant les mains sur les ailerons du FRC (les jambes se relèvent graduellement à la verticale à ce moment); (iii) redresser le FRC en position normale par la suite. L'athlète n'est pas autonome cependant.

### Épouser le FRC pour optimiser la posture et le confort

Dès l'achat d'un FRC, l'athlète procède fréquemment à l'adaptation de son FRC. La coupe et le soudage du châssis sont souvent nécessaires (Figure 0-5). L'athlète #101, qui n'atteignait pas complètement la MC avec sa main à la fin de la phase de propulsion (#3) (photo de gauche de la Figure 6-3), a gagné environ 2 km/h en modifiant l'assise de son FRC. Les athlètes, entraîneurs et techniciens témoignent que le FRC doit posséder un ajustement très épousant sans perte d'espace entre le corps et la cage et sans limiter la circulation sanguine aux membres inférieurs. Une bonne configuration où le bassin est stable fait en sorte qu'à chaque mouvement, la puissance de toute la chaîne musculaire sert à générer de la force sur la roue et à se propulser vers l'avant. Ces interventions peuvent devoir être répétées ultérieurement. On utilise des mousses compensatrices pour réduire l'inconfort ou pallier des asymétries physiologiques comme par exemple une jambe plus petite que l'autre. Une modification du rembourrage sous le fessier gauche a permis de corriger partiellement l'asymétrie dans le plan frontal de l'athlète #107 dont l'atteinte (poliomyélite) est en partie responsable. L'entraîneur/ancien athlète insérait même des plaques de Téflon™ (PTFE - matériaux à coefficient de friction très bas et à grand pouvoir antiadhésif) pour faciliter l'entrée dans son FRC, ce qui témoigne de la précision du mode opératoire. À propos du degré d'ajustement, il cite : « Si le réglage de mon FRC était bien fait, je pouvais me soulever avec mes bras appuyés sans qu'il retombe. » Certains vont même jusqu'à ne pas porter de slip ou de vêtements avec couture pour ne pas irriter la peau en raison d'un ajustement serré. Les athlètes s'attachent de plus avec une sangle au bas de leur dos, à l'arrière de la cage du FRC. L'athlète #112 combine une sangle à l'avant des genoux et à la ceinture au niveau de la taille pour maintenir plus efficacement son corps. Des fluctuations de poids peuvent modifier l'ajustement épousant recherché, et ce fréquemment au début de la pratique du sport si cette dernière se fait rapidement après un accident. Le médecin sportif et les athlètes #101 et 109 confirment une importante perte de poids graduelle sur plusieurs mois (après l'accident) chez les blessés

médullaires. L'athlète #101 dit avoir également subi des fluctuations de poids appréciables en raison d'une médication en lien avec son atteinte.

Pour les athlètes pouvant se mouvoir debout et possédant par le fait même des muscles de cuisse non atrophiés, faire passer ses jambes sous l'essieu favorise la circulation sanguine aux membres inférieurs comme le montre la photographie de droite du FRC de l'athlète #110 (Figure 0-5). Les jambes reposent sur des demi-cônes tronqués épousant la forme des jambes. Pour favoriser une bonne circulation sanguine et faciliter le logement des jambes dans le FRC, l'athlète #112 utilise occasionnellement des tubes de compression pneumatique pour sa jambe avant des compétitions importantes.

Une autre interface athlète/FRC contribue à améliorer la circulation sanguine aux jambes, une position d'assise en « I » (Figure 2-6). Un seul athlète interviewé l'utilise (#107) et il l'adopte pour cette raison.



*Figure 0-5 : châssis de FRC modifiés*

*Gauche et centre : Châssis en "U" modifié pour mieux épouser la jambe de l'unijambiste (sangle au genou); Droite : Châssis en "U" modifié pour faire passer les jambes sous l'essieu (deux demi-cônes tronqués pour épouser les jambes d'un T34).*



## APPENDICE A

### GESTION DE LA CONFIDENTIALITÉ

#### Entrevues et documents archivés

Les intervenants et athlètes interviewés dans le cadre des entrevues dirigées et d'autoconfrontation, ainsi que les athlètes ayant participé aux observations fines en entraînement sur piste et à l'intérieur, ont rempli un formulaire d'information et de consentement leur étant dédié (version athlète et version intervenant). Ils figurent à l'appendice B.

Des informations de nature générale et sur le type d'atteinte figurant sur le questionnaire de données personnelles ont également été demandées aux athlètes. Le protocole a été approuvé par le Comité d'éthique de la recherche du Centre de recherche interdisciplinaire en réadaptation du Montréal métropolitain (CRIR). Les signataires ont été invités à nous indiquer à tout moment toute information qu'ils ne souhaiteraient pas voir divulguée.

Les résultats d'entrevues et les séquences vidéo ont été codifiés et archivés dans une base de données en respectant les engagements de confidentialité évoqués et présentés aux intéressés dans les formulaires de consentement. Les documents synthèses présentent l'ensemble des déterminants et gestes de façon globale sans désigner le nom de l'athlète auquel ils appartiennent. Les photos présentent en grande majorité un gros plan du membre supérieur ne permettant pas d'identifier l'athlète. Les images (vues de profil ou de face) présentant l'athlète en entier ont été traitées numériquement pour brouiller les visages ou autres informations plus personnelles.



## APPENDICE B

### FORMULAIRES DE CONSENTEMENT

Formulaires de consentement des athlètes et intervenants :



UQÀM | Département des sciences  
biologiques



Formulaire d'information et de consentement

#### FORMULAIRE POUR LES ATHLÈTES

#### 1. TITRE DU PROJET DE RECHERCHE DE MAÎTRISE EN SCIENCES BIOLOGIQUES, SPÉCIALITÉ EN ERGONOMIE ET DESIGN

Le fauteuil roulant de course : une analyse du geste de l'utilisateur pour dégager les critères de conception d'une roue instrumentée.

#### 2. RESPONSABLES DU PROJET

Félix Chénier, PhD  
Professeur  
UQAM | Département des sciences de l'activité physique  
(514) 987-3000 #5553  
[chenier.felix@uqam.ca](mailto:chenier.felix@uqam.ca)

Jean-Luc Fauvel

Etudiant/candidat à la maîtrise en ergonomie associé au projet  
UQAM | Département des sciences biologiques  
(450) 834-2226  
[Jean.luc.fauvel@cegep-lanaudiere.qc.ca](mailto:Jean.luc.fauvel@cegep-lanaudiere.qc.ca)

### 3. COLLABORATEUR

Steve Vezeau, PhD  
Professeur  
UQAM | École de design  
(514) 987-3000 #3685  
[vezeau.steve@uqam.ca](mailto:vezeau.steve@uqam.ca)

APPROUVÉ PAR LE CÉR  
DES ÉTABLISSEMENTS DU CRIR

LE : 20 DÉCEMBRE 2016

### 4. ORGANISME SUBVENTIONNAIRE

Ce projet de recherche s'inscrit dans une subvention à la découverte du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG) intitulée : *''Conception of an innovative racing wheelchair simulator and instrumented wheels to assess and improve the racing propulsion biomechanics via real-time biofeedback''*.

### 5. PRÉAMBULE

Nous vous demandons de participer à un projet de recherche. Avant d'accepter de participer à ce projet de recherche, veuillez prendre le temps de comprendre et de considérer attentivement les renseignements qui suivent.

Ce formulaire de consentement vous explique le but de cette étude, les procédures, les avantages, les risques et inconvénients, de même que les personnes avec qui communiquer au besoin.

Le présent formulaire de consentement peut contenir des mots que vous ne comprenez pas. Nous vous invitons à poser toutes les questions que vous jugerez utiles au chercheur et aux autres membres du personnel affecté au projet de recherche et à leur demander de vous expliquer tout mot ou renseignement qui n'est pas clair.

### 6. DESCRIPTION DU PROJET ET DE SES OBJECTIFS

Ce projet consiste en une analyse ergonomique et biomécanique de la propulsion d'un fauteuil roulant de course (FRC).

Cette analyse permettra de mieux cerner le geste de propulsion non seulement du point de vue de la biomécanique, mais également en tenant compte des déterminants qui influencent l'activité de l'athlète. Comme exemples non exhaustifs : les intervenants autour de l'athlète, la nature des atteintes, les équipements, le positionnement de l'athlète dans le fauteuil, etc.

Cette compréhension du sport permettra de déterminer des critères de conception pour une future roue instrumentée adaptée à la course, qui permettra de mesurer des données sur la propulsion sur piste. À plus long terme, cette roue permettra de mieux comprendre la biomécanique de la propulsion et de cerner les aspects biomécaniques de la performance, du développement de blessures et de troubles musculosquelettiques secondaires.

---

## 7. NATURE DE LA PARTICIPATION

---

Vous serez invité(e)s à participer à une ou plusieurs des activités de recherche décrite ci-dessous : (cases cochées selon l'activité(s) pratiquée(s))

### A. SUR LE TERRAIN : AU CLUB D'ATHLÉTISME ET EN ENTRAÎNEMENT ~~(environ 2 h 30)~~

Activités ayant lieu au Centre d'entraînement du Club d'athlétisme St-Laurent, parc Marcel-Laurin, 2345, boulevard Thimens, Montréal, QC, H4R 1T4 :

- Entrevue dirigée et entrevue d'autoconfrontation (enregistrée) : des questions vous seront posées dans le cadre d'une discussion/échange en lien avec la course en fauteuil roulant. Les questions traiteront de : votre parcours professionnel, vos activités et liens avec le sport en fauteuil roulant, ce qui conditionne l'activité de s'entraîner et de concourir en fauteuil roulant de course (FRC), les méthodes d'ajustement et de personnalisation des fauteuils, les techniques de poussée que vous pratiquez et votre perception du geste, les blessures que vous auriez subies, etc.

Temps estimé par rencontre, 60 minutes.

- Séance de relevés dimensionnels de votre FRC et de captures vidéo : une série de relevés dimensionnels seront faits sur votre FRC à l'aide d'un ruban à

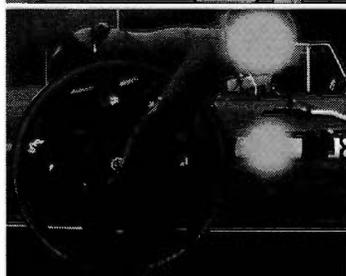
mesurer avant et après que vous prendrez place dans votre FRC. Vous serez également filmés alors que vous prendrez place dans votre FRC au repos et lorsque vous pratiquerez des entraînements à l'intérieur sur rouleaux. Le but est d'analyser votre positionnement par rapport à votre FRC.

Temps estimé : 60 minutes.



- Séance de captures vidéo : une caméra de type GoPro grand-angle sera fixée sur votre FRC alors que vous pratiquerez des entraînements sur piste à l'extérieur. Le but est d'analyser finement votre geste de propulsion et de direction de votre FRC.

Temps estimé : captures vidéo durant votre entraînement 30 minutes.



## B. EN LABORATOIRE (environ 3 heures)

Activités ayant lieu au Laboratoire de pathokinésiologie du CRIR, site de l'Institut de réadaptation Gingras-Lindsay de Montréal (IRGLM), 6300 avenue de Darlington, Montréal, QC, H3S 2J4 : les activités seront regroupées lors d'une seule visite d'une durée approximative d'une demi-journée.

- Séance de relevés dimensionnels (anthropométriques) : nous allons mesurer votre taille (grandeur), votre poids, et certaines dimensions du haut du corps (e.g., largeur des épaules, longueur des bras et des avant-bras, circonférence des segments) à l'aide d'un ruban à mesurer et d'un pèse-personne. Le but est de créer un modèle personnalisé de votre corps et de votre fauteuil pour analyser finement votre positionnement et vos mouvements pendant la propulsion. À votre demande, la prise de mesure pourra être effectuée par une personne du même sexe et en présence d'une tierce personne.

Temps estimé 30 minutes

- Séance de mesures de force maximale : nous allons mesurer la force maximale que vous pouvez appliquer sur une roue de fauteuil roulant de course à l'aide d'un appareil de mesure de type Biodex. Le but est de connaître le type de capteurs qu'une roue de FRC instrumentée doit posséder.

Temps estimé 60 minutes



- Séance de propulsion en fauteuil roulant de course : alors que votre FRC sera fixé sur une installation avec rouleaux instrumentés et caméras haute résolution, vous devrez propulser votre fauteuil comme si vous performiez sur une distance intermédiaire qui inclut à la fois une forte puissance d'accélération, mais également de la fatigue. Vous serez filmés et des capteurs non intrusifs seront positionnés sur votre corps. Le but est de nous permettre d'analyser finement votre mouvement de propulsion pendant toute une course.

Temps estimé 1 h 30.

---

#### 8. AVANTAGES POUVANT DÉCOULER DE VOTRE PARTICIPATION

---

Vous ne retirerez personnellement pas d'avantages à participer à cette étude. Toutefois, vous pourriez contribuer à l'avancement de la science dans le domaine de la prévention des troubles musculosquelettique (TMS) et l'amélioration des performances dans le sport de la course en fauteuil roulant.

---

#### 9. RISQUES ET INCONVÉNIENTS POUVANT DÉCOULER DE VOTRE PARTICIPATION

---

Votre participation à ce projet de recherche n'entraîne aucun risque supplémentaire à la propulsion normale que vous effectuez lors de vos entraînements. Lors des séances de propulsion sur rouleaux en laboratoire, afin de limiter les risques de blessures, votre fauteuil de course sera solidement fixé au plancher. Ces rouleaux sont similaires à ceux que vous utilisez lors de vos entraînements. À ce titre, l'équipe de techniciens en laboratoire possède une solide expérience en ce domaine de prévention et d'assurance de la sécurité.

#### INCONVÉNIENTS

Déplacement/durée de la participation: le déplacement de votre domicile au laboratoire de l'IRGLM et la durée de la session en laboratoire peuvent représenter pour certaines personnes un inconvénient.

Utilisation de marqueurs : la pose de marqueurs réfléchissants pour l'analyse du mouvement en laboratoire ne nécessite pas le rasage des poils, mais pourrait provoquer des rougeurs sur les peaux sensibles (là où ils sont placés) en raison des collants utilisés. À ce titre, les règles d'hygiène les plus strictes (ruban hypoallergène, nettoyage de la peau) seront mises en place. Par ailleurs, malgré l'application de ces mesures d'hygiène, il se pourrait que la peau soit irritée.

---

**10. ACCÈS AUX RÉSULTATS À LA FIN DE LA RECHERCHE**

---

À la fin de l'étude, vous aurez la possibilité d'avoir accès aux résultats généraux découlant de ce projet de recherche.

Je souhaite avoir accès aux résultats généraux de la recherche :      Oui

Non

(si oui) me contacter l'adresse courriel suivante :

---

**11. CONFIDENTIALITÉ**

---

Tous les renseignements personnels recueillis à votre sujet au cours de l'étude seront codifiés afin d'assurer leur confidentialité. Seuls les membres de l'équipe de recherche y auront accès. Cependant, à des fins de contrôle du projet de recherche, votre dossier de recherche pourrait être consulté par une personne mandatée par le CÉR des établissements du CRIR ou par la Direction de l'éthique et de la qualité du ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec, qui adhère à une politique de stricte confidentialité. Les données de recherche seront conservées sous clé à l'Institut de réadaptation Gingras-Lindsay de Montréal (IRGLM) par le responsable de l'étude pour une période de cinq ans suivant la fin du projet, après quoi elles seront détruites.

---

**12. ENREGISTREMENT VIDÉO ET/OU PRISE DE PHOTOGRAPHIES**

---

Certaines séances seront enregistrées sur support vidéo ou audio. De plus il est possible que des photographies soient prises. Nous aimerions pouvoir utiliser ces dernières, avec votre permission, à des fins de formation et/ou de présentations scientifiques. Dans cette éventualité, votre visage sera brouillé pour ne pas qu'on le reconnaisse. Il n'est cependant pas nécessaire de consentir à ce volet pour participer au présent projet. Si vous refusez, les enregistrements et les photographies vous concernant seront détruits à la fin du projet dans le respect de la confidentialité.

Nous autorisez-vous à utiliser vos photographies ou enregistrements à des fins de formations ou de présentations scientifiques et à les conserver avec nos données de recherche?

Oui       Non

---

**13. PARTICIPATION VOLONTAIRE ET DROIT DE RETRAIT**

---

Vous êtes libre d'accepter ou de refuser de participer à ce projet de recherche. Vous pouvez vous retirer de cette étude à n'importe quel moment, sans avoir à donner de raison ni à subir de préjudice de quelque nature que ce soit. Vous avez simplement à aviser la personne ressource de l'équipe de recherche, et ce, par simple avis verbal. En cas de retrait de votre part, les documents audiovisuels et écrits vous concernant seront détruits, à votre demande.

---

**14. ÉTUDES ULTÉRIEURES**

---

Il se peut que les résultats obtenus à la suite de cette étude donnent lieu à une autre recherche. Dans cette éventualité, autorisez-vous les responsables de ce projet à vous contacter à nouveau et à vous demander si vous souhaitez participer à cette nouvelle recherche ?

- non
- oui pour une durée d'un an \*
- oui pour une durée de deux ans \*
- oui pour une durée de trois ans \*

\* Notez que si vous cochez l'une de ces trois cases, vos coordonnées personnelles seront conservées par le chercheur principal pour la période à laquelle vous avez consenti.

---

**15. RESPONSABILITÉ DE L'ÉQUIPE DE RECHERCHE**

---

En acceptant de participer à cette étude, vous ne renoncez à aucun de vos droits ni ne libérez les chercheurs ou l'établissement de leurs responsabilités civiles et professionnelles.

---

**16. INDEMNITÉ COMPENSATOIRE**

---

À titre d'indemnité compensatoire pour votre déplacement à l'IRGLM, le cas échéant, vous recevrez une somme compensatoire de 20\$.

---

**17. PERSONNES-RESSOURCES**

---

Si vous avez des questions concernant le projet de recherche, si vous souhaitez vous retirer de l'étude ou si vous voulez faire part à l'équipe de recherche d'un incident, vous pouvez contacter :

Chargé de projet :

Jean-Luc Fauvel

Enseignant en Design industriel et candidat à la maîtrise en sc. biologiques (Ergonomie et design)

Cégep à Terrebonne et Université du Québec à Montréal

[jean.luc.fauvel@cegep-lanaudiere.qc.ca](mailto:jean.luc.fauvel@cegep-lanaudiere.qc.ca)

Chercheur principal :

Félix Chénier, PhD

Professeur

UQÀM | Département des sciences de l'activité physique

(514) 987-3000 #5553

[chenier.felix@uqam.ca](mailto:chenier.felix@uqam.ca)

Collaborateur au projet :

Steve Vezeau, PhD

Professeur

UQÀM | École de design

(514) 987-3000 #3685

[vezeau.steve@uqam.ca](mailto:vezeau.steve@uqam.ca)

Si vous avez des questions sur vos droits et recours ou sur votre participation à ce projet de recherche, vous pouvez communiquer avec Me Anik Nolet, coordonnatrice à l'éthique

de la recherche des établissements du CRIR au (514) 527-4527 poste 2649 ou par courriel à l'adresse suivante: [anolet.crir@ssss.gouv.qc.ca](mailto:anolet.crir@ssss.gouv.qc.ca).

Vous pouvez aussi contacter le commissaire local aux plaintes.

Institut de réadaptation Gingras-Lindsay de Montréal

Céline Roy

CIUSSS du Centre-Sud-de-l'Île-de-Montréal

Téléphone : (514) 593-3600

[commissaireauxplaintes@cjm-iu.qc.ca](mailto:commissaireauxplaintes@cjm-iu.qc.ca)

Je déclare avoir lu et compris le présent projet, la nature et l'ampleur de ma participation, ainsi que les risques et les inconvénients auxquels je m'expose tel que présenté dans le présent formulaire. J'ai eu l'occasion de poser toutes les questions concernant les différents aspects de l'étude et de recevoir des réponses à mes questions. Une copie signée de ce formulaire d'information et de consentement doit m'être remise.

Je soussigné(e) accepte volontairement de participer à cette étude. Je peux me retirer en tout temps sans préjudice d'aucune sorte. Je certifie qu'on m'a laissé le temps voulu pour prendre ma décision.

NOM DU PARTICIPANT

SIGNATURE

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Fait à \_\_\_\_\_, le \_\_\_\_\_, 20\_\_\_\_\_

#### 19. ENGAGEMENT DU CHERCHEUR OU DE SON REPRÉSENTANT

Je soussigné Jean-Luc Fauvel, certifie :

- (a) avoir expliqué au signataire les termes du présent formulaire;
- (b) avoir répondu aux questions qu'il m'a posées à cet égard;
- (c) lui avoir clairement indiqué qu'il reste, à tout moment, libre de mettre un terme à sa participation au projet de recherche décrit ci-dessus;
- (d) que je lui remettrai une copie signée et datée du présent formulaire.

\_\_\_\_\_  
Signature du responsable du projet  
ou de son représentant

Fait à \_\_\_\_\_, le \_\_\_\_\_ 20\_\_\_\_\_



UQAM | Département des sciences  
biologiques



## Formulaire d'information et de consentement

### FORMULAIRE POUR LES INTERVENANTS

#### 1. TITRE DU PROJET DE RECHERCHE DE MAÎTRISE EN SCIENCES BIOLOGIQUES, SPÉCIALITÉ EN ERGONOMIE ET DESIGN

Le fauteuil roulant de course : une analyse du geste de l'utilisateur pour dégager les critères de conception d'une roue instrumentée.

#### 2. RESPONSABLES DU PROJET

Félix Chénier, PhD  
Professeur  
UQAM | Département des sciences de l'activité physique  
(514) 987-3000 #5553  
[chenier.felix@uqam.ca](mailto:chenier.felix@uqam.ca)

Jean-Luc Fauvel  
Etudiant/candidat à la maîtrise en ergonomie associé au projet  
UQAM | Département des sciences biologiques  
(450) 834-2226  
[Jean.luc.fauvel@cegep-lanaudiere.qc.ca](mailto:Jean.luc.fauvel@cegep-lanaudiere.qc.ca)

#### 3. COLLABORATEUR

Steve Vezeau, PhD  
Professeur  
UQAM | École de design  
(514) 987-3000 #3685  
[vezeau.steve@uqam.ca](mailto:vezeau.steve@uqam.ca)

APPROUVÉ PAR LE CÉR  
DES ÉTABLISSEMENTS DU CRIR

LE : 20 DÉCEMBRE 2016

#### 4. ORGANISME SUBVENTIONNAIRE

Ce projet de recherche s'inscrit dans une subvention à la découverte du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG) intitulée : *''Conception of an innovative racing wheelchair simulator and instrumented wheels to assess and improve the racing propulsion biomechanics via real-time biofeedback''*.

#### 5. PRÉAMBULE

Nous vous demandons de participer à un projet de recherche. Avant d'accepter de participer à ce projet de recherche, veuillez prendre le temps de comprendre et de considérer attentivement les renseignements qui suivent.

Ce formulaire de consentement vous explique le but de cette étude, les procédures, les avantages, les risques et inconvénients, de même que les personnes avec qui communiquer au besoin.

Le présent formulaire de consentement peut contenir des mots que vous ne comprenez pas. Nous vous invitons à poser toutes les questions que vous jugerez utiles au chercheur et aux autres membres du personnel affecté au projet de recherche et à leur demander de vous expliquer tout mot ou renseignement qui n'est pas clair.

#### 6. DESCRIPTION DU PROJET ET DE SES OBJECTIFS

Ce projet consiste en une analyse ergonomique et biomécanique de la propulsion d'un fauteuil roulant de course (FRC).

Cette analyse permettra de mieux cerner le geste de propulsion non seulement du point de vue de la biomécanique, mais également en tenant compte des déterminants qui influencent l'activité de l'athlète. Comme exemples non exhaustifs : les intervenants autour de l'athlète, la nature des atteintes, les équipements, le positionnement de l'athlète dans le fauteuil, etc.

Cette compréhension du sport permettra de déterminer des critères de conception pour une future roue instrumentée adaptée à la course, qui permettra de mesurer des données sur la propulsion sur piste. À plus long terme, cette roue permettra de mieux comprendre la biomécanique de la propulsion et de cerner les aspects biomécaniques de la performance, du développement de blessures et de troubles musculosquelettiques secondaires.

---

## 7. NATURE DE LA PARTICIPATION

---

Vous serez invité(e)s à participer à une activité de recherche décrite ci-dessous :

### AU CLUB D'ATHLÉTISME SÉLECT DE ST-LAURENT OU DANS VOTRE ENVIRONNEMENT DE TRAVAIL

Activité ayant lieu au Centre d'entraînement du Club d'athlétisme St-Laurent, parc Marcel-Laurin, 2345, boulevard Thimens, Montréal, QC, H4R 1T4 ou dans votre environnement de travail (selon la personne interviewée).

- Entrevue dirigée : des questions vous seront posées dans le cadre d'une discussion/échange en lien avec la course en fauteuil roulant. À titre non exhaustif, et selon l'intervenant interviewé, les questions traiteront entre autres de : votre parcours professionnel, vos activités et liens avec le sport en fauteuil roulant, votre relation avec les athlètes, ce qui conditionne l'activité de côtoyer les athlètes, les stratégies d'entraînement, les méthodes d'ajustement et de personnalisation des fauteuils roulants de course (FRC), les types de blessures rencontrées, la prévention exercée, etc.

Temps estimé par rencontre, 60 minutes.

---

## 8. AVANTAGES POUVANT DÉCOULER DE VOTRE PARTICIPATION

---

Vous ne retirerez personnellement pas d'avantages à participer à cette étude. Toutefois, vous pourriez contribuer à l'avancement de la science dans le domaine de la prévention des troubles musculosquelettique (TMS) et l'amélioration des performances dans le sport de la course en fauteuil roulant.

---

## 9. RISQUES ET INCONVÉNIENTS POUVANT DÉCOULER DE VOTRE PARTICIPATION

---

Votre participation à ce projet de recherche n'entraîne aucun risque. Pour certains participants, le temps consenti à ce projet pourrait constituer un inconvénient.

---

## 10. ACCÈS AUX RÉSULTATS À LA FIN DE LA RECHERCHE

---

À la fin de l'étude, vous aurez la possibilité d'avoir accès aux résultats généraux découlant de ce projet de recherche.

Je souhaite avoir accès aux résultats généraux de la recherche :      Oui

Non

(si oui) me contacter l'adresse courriel suivante :

---

## 11. CONFIDENTIALITÉ

Tous les renseignements personnels recueillis à votre sujet au cours de l'étude seront codifiés afin d'assurer leur confidentialité. Seuls les membres de l'équipe de recherche y auront accès.

À des fins de contrôle du projet de recherche, votre dossier de recherche pourrait être consulté par une personne mandatée par le CÉR des établissements du CRIR ou par la Direction de l'éthique et de la qualité du ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec, qui adhère à une politique de stricte confidentialité. Les données de recherche seront conservées sous clé à l'Institut de réadaptation Gingras-Lindsay de Montréal (IRGLM) par le responsable de l'étude pour une période de cinq ans suivant la fin du projet, après quoi elles seront détruites.

Notez cependant que compte tenu du petit échantillon des intervenants, des participants-athlètes et de leur géolocalisation assez ciblée, nous devons vous aviser qu'il n'est pas possible de garantir aux participants une confidentialité totale lors de la publication des résultats.

## 12. ENREGISTREMENT VIDÉO ET/OU PRISE DE PHOTOGRAPHIES

Les entrevues seront enregistrées sur support vidéo et audio. De plus il est possible que des photographies soient prises. Nous aimerions pouvoir utiliser ces dernières, avec votre permission, à des fins de formation et/ou de présentations scientifiques. Dans cette éventualité, votre visage sera brouillé pour ne pas qu'on le reconnaisse. Il n'est cependant pas nécessaire de consentir à ce volet pour participer au présent projet. Si vous refusez, les enregistrements et les photographies vous concernant seront détruits à la fin du projet dans le respect de la confidentialité.

Nous autorisez-vous à utiliser vos photographies ou enregistrements à des fins de formations ou de présentations scientifiques et à les conserver avec nos données de recherche?

Oui       Non

---

**13. PARTICIPATION VOLONTAIRE ET DROIT DE RETRAIT**

---

Vous êtes libre d'accepter ou de refuser de participer à ce projet de recherche. Vous pouvez vous retirer de cette étude à n'importe quel moment, sans avoir à donner de raison ni à subir de préjudice de quelque nature que ce soit. Vous avez simplement à aviser la personne ressource de l'équipe de recherche, et ce, par simple avis verbal. En cas de retrait de votre part, les documents audiovisuels et écrits vous concernant seront détruits, à votre demande.

---

**14. ÉTUDES ULTÉRIEURES**

---

Il se peut que les résultats obtenus à la suite de cette étude donnent lieu à une autre recherche. Dans cette éventualité, autorisez-vous les responsables de ce projet à vous contacter à nouveau et à vous demander si vous souhaitez participer à cette nouvelle recherche ?

- non
- oui pour une durée d'un an \*
- oui pour une durée de deux ans \*
- oui pour une durée de trois ans \*

\* Notez que si vous cochez l'une de ces trois cases, vos coordonnées personnelles seront conservées par le chercheur principal pour la période à laquelle vous avez consenti.

---

**15. RESPONSABILITÉ DE L'ÉQUIPE DE RECHERCHE**

---

En acceptant de participer à cette étude, vous ne renoncez à aucun de vos droits ni ne libérez les chercheurs ou l'établissement de leurs responsabilités civiles et professionnelles.

---

**16. INDEMNITÉ COMPENSATOIRE**

---

Malheureusement, ce projet de recherche ne peut nous permettre d'accorder une indemnité compensatoire pour votre participation aux entrevues.

---

**17. PERSONNES-RESSOURCES**

---

Si vous avez des questions concernant le projet de recherche, si vous souhaitez vous retirer de l'étude ou si vous voulez faire part à l'équipe de recherche d'un incident, vous pouvez contacter :

Chargé de projet :

Jean-Luc Fauvel

Enseignant en Design industriel et candidat à la maîtrise en sc. biologiques (Ergonomie et design)

Cégep à Terrebonne et Université du Québec à Montréal

[jean.luc.fauvel@cegep-lanaudiere.qc.ca](mailto:jean.luc.fauvel@cegep-lanaudiere.qc.ca)

Chercheur principal :

Félix Chénier, PhD

Professeur

UQÀM | Département des sciences de l'activité physique

(514) 987-3000 #5553

[chenier.felix@uqam.ca](mailto:chenier.felix@uqam.ca)

Collaborateur au projet :

Steve Vezeau, PhD

Professeur

UQÀM | École de design

(514) 987-3000 #3685

[vezeau.steve@uqam.ca](mailto:vezeau.steve@uqam.ca)

Si vous avez des questions sur vos droits et recours ou sur votre participation à ce projet de recherche, vous pouvez communiquer avec Me Anik Nolet, coordonnatrice à l'éthique

de la recherche des établissements du CRIR au (514) 527-4527 poste 2649 ou par courriel à l'adresse suivante: [anolet.crir@ssss.gouv.qc.ca](mailto:anolet.crir@ssss.gouv.qc.ca).

Vous pouvez aussi contacter le commissaire local aux plaintes.

Institut de réadaptation Gingras-Lindsay de Montréal

Céline Roy

CIUSSS du Centre-Sud-de-l'Île-de-Montréal

Téléphone : (514) 593-3600

[commissaireauxplaintes@cjm-iu.qc.ca](mailto:commissaireauxplaintes@cjm-iu.qc.ca)

Je déclare avoir lu et compris le présent projet, la nature et l'ampleur de ma participation, ainsi que les risques et les inconvénients auxquels je m'expose tel que présenté dans le présent formulaire. J'ai eu l'occasion de poser toutes les questions concernant les différents aspects de l'étude et de recevoir des réponses à mes questions. Une copie signée de ce formulaire d'information et de consentement doit m'être remise.

Je soussigné(e) accepte volontairement de participer à cette étude. Je peux me retirer en tout temps sans préjudice d'aucune sorte. Je certifie qu'on m'a laissé le temps voulu pour prendre ma décision.

NOM DU PARTICIPANT

SIGNATURE

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Fait à \_\_\_\_\_, le \_\_\_\_\_, 20\_\_\_\_

#### 19. ENGAGEMENT DU CHERCHEUR OU DE SON REPRÉSENTANT

Je soussigné Jean-Luc Fauvel, certifie :

- (e) avoir expliqué au signataire les termes du présent formulaire;
- (f) avoir répondu aux questions qu'il m'a posées à cet égard;
- (g) lui avoir clairement indiqué qu'il reste, à tout moment, libre de mettre un terme à sa participation au projet de recherche décrit ci-dessus;
- (h) que je lui remettrai une copie signée et datée du présent formulaire.

\_\_\_\_\_  
Signature du responsable du projet  
ou de son représentant

Fait à \_\_\_\_\_, le \_\_\_\_\_ 20\_\_\_\_

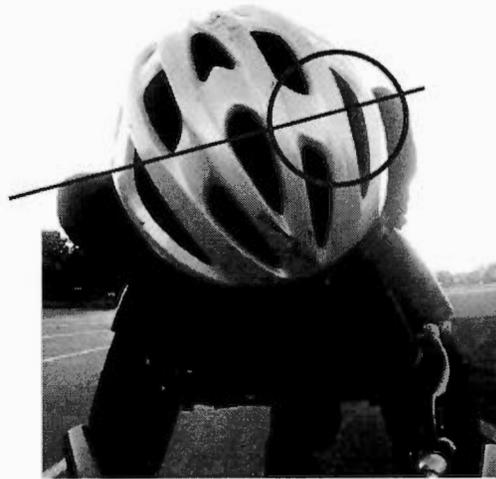


## APPENDICE C

### EXEMPLE DE GRILLE D'OBSERVATION

Grille d'observations vidéo : S101		
Nature de l'observation	commentaires	Nom et lien vers le média
1. Rebondissement du pouce droit sur la roue	- De l'énergie se perd alors que la main (pouce) touche et rebondit sur la roue avant l'attaque (en raison de la faiblesse de la main droite? Atteinte?)	!-2016-11-03-AV-DR-GR-PLAN2-rebondissements.MP4
2. Rebondissement du pouce gauche sur la roue		2016-11-03-GA-ARR-PERPEND-PLAN-MC2.MP4
3. Main droite pousse parallèlement à la MC	- La main n'entre pas dans la MC -	- !-2016-11-03 -AV-DR-GR-PLAN2-rebondissements.MP4
4. Main gauche pousse parallèlement à la MC	- Vers la fin du vidéo, la main ne fait que toucher à la MC (tangential)	2016-11-03-GA-ARR-PERPEND-PLAN-MC2.MP4
5. asymétrie	- la main et le bras droit vont moins haut qu'à gauche (piste et intérieur) -	- 2016-10-06.MP4.02_01_07_29.Image fixe002.jpg - 2016-11-03 -FACE-IPHONE.MOV.00_00_10_14. Image fixe001.jpg - 2016-11-03-SOFIA-ARR-IPHONE.MOV.00_01_22_13. Image fixe001.jpg - 2016-09-29.avi.00_00_45_13.Image fixe001.jpg
6. phase de contact courte	- la main gauche entre à 2h environ et quitte très tôt vers 5h	2016-11-03 -GA.MP4
7. freinage de la MC	- la pronation du poignet freine la MC (contact après avoir quitté)	2016-11-03 -GA-AV-PERPEND-PLAN-MC.MP4
8. contact parallèle au plan de la MC	- lors de la phase de propulsion, la main entre en contact avec la MC seulement avec la base du pouce, les doigts n'entrent pas dans la MC - lors de la phase de propulsion, la main entre en contact avec la MC seulement sur sa surface extérieure; - le poignet refermé, seule la base du pouce touche	- 2016-11-03DR2.MP4 - - 2016-11-03 -DESSUS-DR-GR-PLAN2.MP4 - !-2016-11-03 -AV-DR-GR-PLAN2-rebondissement.jpg - ** 2016-11-03 -DESSUS-DR-

Nature de l'observation	commentaires	Nom et lien vers le média
	vraiment à la MC; - les doigts n'entrent pas dans la MC	GR-PLAN1.MP4 - 2016-11-03- ARR-GA-GR-PLAN2.MP4
9. Main et doigts hors de la MC	- À l'attaque, le premier contact se fait hors de la MC (dans cette séquence, la main n'entre jamais dans la MC)	- 2016-11-03- ARR-GA-GR PLAN2.MP4.00_01_25_03.Image fixe001.jpg
10. regard	- informations sur le regard dans des conditions sur piste entraînement	- 2016-09-29.avi



5- asymétrie en piste : coudes et mains



8- contact avec base poignet (puissance dirigée dans l'axe de l'essieu). Doigts devraient être à l'intérieur de la MC?



5- asymétrie (hauteur) : en entraînement, coudes



1-rebondissement vers 10 - 11h



9. main (doigts) toujours à l'extérieur de la MC



## APPENDICE D

### DÉFICIENCES RECONNUES PAR L'IPC

Liste des dix déficiences reconnues par l'ipc<sup>16</sup>

#### 1. Puissance musculaire affaiblie

Réduction de l'effort généré par différents muscles ou groupes de muscles, p. ex. la musculature de certains membres ou d'une moitié du corps, en raison p. ex. d'une lésion de la colonne vertébrale, d'un spina-bifida (malformation du tube neural) ou de la poliomyélite.

#### 2. Amplitude de mouvement diminuée

Réduction durable de l'amplitude de mouvements dans une ou plusieurs articulations. L'hypermobilité articulaire et l'instabilité articulaire, de même que les troubles aigus tels que l'arthrose, ne comptent pas comme des déficiences justifiant une participation.

#### 3. Perte ou déficience d'un membre

Absence totale ou partielle d'os ou d'articulations résultant d'une déficience congénitale, d'une amputation (suite à une blessure ou à un accident de voiture, p. ex.) ou d'une maladie (p. ex. cancer des os).

---

<sup>16</sup> Source : *Swiss Paralympic*, organisation chargée de la sélection des sportifs d'élite handicapés suisses pour les compétitions de haut niveau. <http://www.swissparalympic.ch/fr/sport-fr/classification-fr/>

#### 4. Différence de longueur des jambes

Raccourcissement osseux dans une jambe en raison d'une déficience congénitale ou d'un accident.

#### 5. Petite stature

Taille réduite (en position debout) du fait d'une anomalie osseuse dans les extrémités supérieures et inférieures ou dans le tronc, comme une achondroplasie, ou d'un déficit en hormones de croissance.

#### 6. Hypertonie musculaire

Augmentation anormale de la tension musculaire et réduction de la capacité d'un muscle à se détendre. L'hypertonie musculaire peut résulter d'une blessure, d'une maladie ou d'une lésion du système nerveux central (infirmité motrice cérébrale).

#### 7. Ataxie

Manque de coordination musculaire d'origine neurologique, résultant p. ex. d'une infirmité motrice cérébrale, de lésions cérébrales ou d'une sclérose en plaques.

#### 8. Athétose

Mouvements musculaires involontaires et incontrôlables, complétés par une difficulté à maintenir une posture symétrique, résultant p. ex. d'une infirmité motrice cérébrale, de lésions cérébrales ou d'une sclérose en plaques.

### 9. Déficience visuelle

Capacités visuelles réduites suite à l'endommagement de la structure oculaire, du nerf optique/des voies optiques ou du cortex visuel du cerveau (fonctions visuelles du cortex cérébral).

### 10. Déficience intellectuelle

Limitation significative des capacités intellectuelles et troubles du comportement adaptatif (capacité d'adaptation conceptuelle, sociale et pratique). Cet état doit avoir été diagnostiqué avant l'âge de 18 ans.



## APPENDICE E

### LES COMPÉTITIONS PARALYMPIQUES SELON L'IPC

#### Sports d'été

- |                           |                   |               |
|---------------------------|-------------------|---------------|
| 1. Boccia                 | 8. Rugby          | 16. Tennis    |
| 2. Tir à l'arc            | 9. Canoë          | 17. Badminton |
| 3. Compétitions équestres | 10. Athlétisme    | 18. Cyclisme  |
| 4. Judo                   | 11. Football      | 19. Goalball  |
| 5. Tennis sur table       | 12. Haltérophilie | 20. Aviron    |
| 6. Tir de précision       | 13. Volleyball    | 21. Natation  |
| 7. Basketball             | 14. Taekwondo     | 22. Triathlon |
|                           | 15. Dance         | 23. Escrime   |

#### Sports d'hiver

- |                     |                    |                |
|---------------------|--------------------|----------------|
| 1. Ski alpin        | 3. Biathlon        | 5. Curling     |
| 2. Hockey sur glace | 4. Planche à neige | 6. Ski de fond |



## RÉFÉRENCES

- Ackery, A., Tator, C. et Krassioukov, A. (2004). A Global Perspective on Spinal Cord Injury Epidemiology. *Journal of Neurotrauma*, 21(10), 1355-1370. <https://doi.org/10.1089/neu.2004.21.1355>
- Aptel. (2011). *Les troubles musculosquelettiques du membre supérieur (TMS-MS) - Brochure - INRS*. Récupéré le 6 juillet 2016 de <http://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%20957>
- APTEL, M., S, L., L, T., et al. (2000). *OREGE : un outil simple d'évaluation des facteurs de risque biomécaniques de TMS du membre supérieur*. Technical report. Récupéré le 6 juillet 2016 de <http://lara.inist.fr/handle/2332/1619>
- Asato, K. T., Cooper, R. A., Robertson, R. N., et al. (1993). SMART/sup Wheels/: development and testing of a system for measuring manual wheelchair propulsion dynamics. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 40(12), 1320-1324. <https://doi.org/10.1109/10.250587>
- Bini, R. R., Hume, P. A. et Cerviri, A. (2011). A comparison of cycling SRM crank and strain gauge instrumented pedal measures of peak torque, crank angle at peak torque and power output. *Procedia Engineering*, 13(Supplement C), 56-61. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.05.051>
- Boninger, M. L., Cooper, R. A., Shimada, S. D., et al. (1998). Shoulder and elbow motion during two speeds of wheelchair propulsion: a description using a local coordinate system. *Spinal Cord*, 36(6), 418.
- Brown, T. (2008). Design thinking - Thinking like a designer can transform the way you develop products, services, processes—and even strategy. *harvard business review*. Récupéré de [http://share.uc.ac.id/Department/Students/vcd/VCD\\_Lecturers\\_Data/Mike's%20material/Mike's%20Kauffman/Design%20Thinking/HBR-Brown,%20Tim%20on%20Design%20Thinking.pdf](http://share.uc.ac.id/Department/Students/vcd/VCD_Lecturers_Data/Mike's%20material/Mike's%20Kauffman/Design%20Thinking/HBR-Brown,%20Tim%20on%20Design%20Thinking.pdf)
- Burnham, R. S., May, L., Nelson, E., et al. (1993). Shoulder pain in wheelchair athletes: The role of muscle imbalance. *The American Journal of Sports Medicine*, 21(2), 238-242. <https://doi.org/10.1177/036354659302100213>
- Campbell, Suzan. (s.d.-a). *Physical Therapy for Children, 4th Edition - 9781416066262*. [s.l.] : [s.n.]. Récupéré de <https://evolve.elsevier.com/cs/product/9781416066262?role=student>
- Chenier, F. (2012). *Developpement d'un simulateur de propulsion en fauteuil roulant manuel avec biofeedback haptique* (D.Eng.). Ann Arbor, United States. Récupéré de <http://search.proquest.com.proxy.bibliotheques.uqam.ca:2048/pqdtglobal/docview/1033774111/abstract/7433F69C7A1D4B6APQ/1>

- Chow, J., Carlton, L., Chae, W., et al. (1999). KINEMATIC COMPARISON OF TWO RACING WHEELCHAIR PROPULSION TECHNIQUES. *ISBS - Conference Proceedings Archive*, 1(1). Récupéré de <https://ojs.ub.uni-konstanz.de/cpa/article/view/4216>
- Churton, E. et Keogh, J. W. (2013). Constraints influencing sports wheelchair propulsion performance and injury risk. *Sports Medicine, Arthroscopy, Rehabilitation, Therapy & Technology*, 5, 3. <https://doi.org/10.1186/2052-1847-5-3>
- Cooper, R. A. (1995). *Rehabilitation Engineering Applied to Mobility and Manipulation*. [s.l.] : CRC Press.
- Cooper, R. A. (2009). SMARTWheel: From Concept to Clinical Practice. *Prosthetics and orthotics international*, 33(3), 198-209. <https://doi.org/10.1080/03093640903082126>
- Dr. Lue H.V. van der Woude; Dr. Dirk-Jan Veeger; Prof. Dr. Riens N. Rozendal; et Prof. Dr. Tony 3. Sargeant. (s.d.). *Seat height in handrim wheelchair propulsion*. Récupéré le 27 avril 2016 de <http://www.rehab.research.va.gov/JOUR/89/26/4/pdf/vanderwoude.pdf>
- Goosey-Tolfrey, V. (dir.). (2010). *Wheelchair Sport: A complete guide for athletes, coaches, and teachers*. Champaign, Ill : Human Kinetics.
- Goosey-Tolfrey, V. L., Fowler, N. E., Campbell, I. G., et al. (2001). A kinetic analysis of trained wheelchair racers during two speeds of propulsion. *Medical Engineering & Physics*, 23(4), 259-266. [https://doi.org/10.1016/S1350-4533\(00\)00084-9](https://doi.org/10.1016/S1350-4533(00)00084-9)
- Grange. (2002). Perceived exertion and rehabilitation with wheelchair ergometer: comparison between patients with spinal cord injury and healthy subjects. , *Published online: 18 September 2002; | doi:10.1038/sj.sc.3101353*, 40(10). <https://doi.org/10.1038/sj.sc.3101353>
- Guérin, F., Laville, A., Daniellou, F., et al. (2007). *Comprendre le travail pour le transformer : La pratique de l'ergonomie*. Lyon : Agence Nationale pour l'Amélioration des Conditions de Travail.
- Hamilton, Senior, T. et Haake, S. J. (2004). The rolling resistance of wheelchairs. Dans M. Hubbard, R. D. Mehta, et J. M. Pallis (dir.), *The engineering of sport* 5, 2 (p. 117-122). [s.l.] : International sport engineering association. Récupéré de <http://shura.shu.ac.uk/2264/>
- Hedrick B. (1990). Aerodynamic Positioning and Performance in Wheelchair Racing. *Adapted Physical Activity Quarterly*, 7(1), 41-51. <https://doi.org/10.1123/apaq.7.1.41>
- Laberge, M. (2011). Accueil et intégration sécuritaire et compétente en emploi des élèves inscrits à la formation menant à un métier semi-spécialisé du parcours de formation axée sur l'emploi (Thèse ou essai doctoral accepté). Université du Québec à Montréal, Montréal (Québec, Canada). Récupéré de <http://www.archipel.uqam.ca/4680/>

- Limroongreungrat, W. (2006). *Biomechanics of racing wheelchair propulsion: Development of an instrumented wheel force measurement system and its applications* (Ph.D.). Ann Arbor, United States. Récupéré de <http://search.proquest.com.proxy.bibliotheques.uqam.ca:2048/pqdtglobal/docview/305336701/abstract/E6BA10F3205548FAPQ/1>
- Limroongreungrat, W., Wang, Y. T., Chang, L., et al. (2009). An Instrumented Wheel System for Measuring 3-D Pushrim Kinetics During Racing Wheelchair Propulsion. *Research in Sports Medicine*, 17(3), 182-194. <https://doi.org/10.1080/15438620903120637>
- Lortie, M., Denis, D., Lapointe, C., et al. (2005). Caractéristiques disciplinaires et échanges en santé au travail : perception et point de vue des chercheurs. *Perspectives interdisciplinaires sur le travail et la santé*, (7-2). <https://doi.org/10.4000/pistes.3198>
- Martin, X., Tordi, N., Bougenot, M. P., et al. (2002). Analyse critique des matériels et des méthodes d'évaluation de l'aptitude physique chez le blessé médullaire en fauteuil roulant. *Science & Sports*, 17(5), 209-219. [https://doi.org/10.1016/S0765-1597\(02\)00168-5](https://doi.org/10.1016/S0765-1597(02)00168-5)
- Mason, B., Van Der Woude, L., De Groot, S., et al. (2011). Effects of Camber on the Ergonomics of Propulsion in Wheelchair Athletes: *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 43(2), 319-326. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181edf973>
- Mason, B. S., Woude, L. H. V. van der et Goosey-Tolfrey, V. L. (2013). The Ergonomics of Wheelchair Configuration for Optimal Performance in the Wheelchair Court Sports. *Sports Medicine*, 43(1), 23-38. <https://doi.org/10.1007/s40279-012-0005-x>
- Masson, G. (2015). Amélioration des performances d'athlètes en fauteuil roulant d'athlétisme à partir d'une configuration optimale. <https://doi.org/http://hdl.handle.net/11143/7557>
- Mitchell, C. (s.d.). *About Track*. Récupéré le 28 juillet 2016 de [http://www.cassie-mitchell.com/track\\_about.html](http://www.cassie-mitchell.com/track_about.html)
- Mitchell, Cassie. (s.d.-b). *Mitchell, 2016*. Récupéré le 15 juin 2016 de [http://www.cassie-mitchell.com/track\\_about.html](http://www.cassie-mitchell.com/track_about.html)
- Moss, A. D., Fowler, N. E. et Goosey-Tolfrey, V. L. (2005). The intra-push velocity profile of the over-ground racing wheelchair sprint start. *Journal of Biomechanics*, 38(1), 15-22. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2004.03.022>
- Paralyzed Veterans of America Consortium for Spinal Cord Medicine. (2005). Preservation of Upper Limb Function Following Spinal Cord Injury. *The Journal of Spinal Cord Medicine*, 28(5), 434-470.
- Roquelaure, Y. (1999). Les activités avec instruments et préservation de la santé : approche interdisciplinaire. EPHE, Paris.

- Rice, I., Dysterheft, J., Bleakney, A. W., et al. (2016). The Influence of Glove Type on Simulated Wheelchair Racing Propulsion: A Pilot Study. *International Journal of Sports Medicine*, 37(01), 30-35. <https://doi.org/10.1055/s-0035-1555926>
- Rice, Ian. (2016). Recent Salient Literature Pertaining to the Use of Technology in Wheelchair Sports. *Current physical medicine and rehabilitation reports*, 4(4), 329-335.
- Robertson, R. N., Boninger, M. L., Cooper, R. A., et al. (1996). Pushrim forces and joint kinetics during wheelchair propulsion. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 77(9), 856-864. [https://doi.org/10.1016/S0003-9993\(96\)90270-1](https://doi.org/10.1016/S0003-9993(96)90270-1)
- Sanderson, D. J. et Sommer, H. J. (1985). Kinematic features of wheelchair propulsion. *Journal of Biomechanics*, 18(6), 423-429. [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(85\)90277-5](https://doi.org/10.1016/0021-9290(85)90277-5)
- Sausse, S. K., Nuss, M., Stiker, H.-J., et al. (2014). *Le corps vécu chez la personne âgée et la personne handicapée*. [s.l.] : Dunod.
- Scherer, M. J., Sax, C., Vanbiervliet, A., et al. (2005). Predictors of assistive technology use: The importance of personal and psychosocial factors. *Disability and Rehabilitation*, 27(21), 1321-1331. <https://doi.org/10.1080/09638280500164800>
- Schreuer. (2009). Accommodation Outcomes and the ICF Framework. *Assistive Technology*, 21(2), 94-104. <https://doi.org/10.1080/10400430903050510>
- St-Vincent et al. (2011). *Intervention (L') en ergonomie*. Québec : Éditions Multimondes Inc.
- Tsai, C.-Y., Lin, C.-J., Huang, Y.-C., et al. (2012). The effects of rear-wheel camber on the kinematics of upper extremity during wheelchair propulsion. *BioMedical Engineering OnLine*, 11, 87. <https://doi.org/10.1186/1475-925X-11-87>
- Vézina, N. (2011). *L'intervention en ergonomie*. Québec : MultiMondes Editions.
- van der Woude, L. H. V., Veeger, H. E. J., Dallmeijer, A. J., et al. (2001). Biomechanics and physiology in active manual wheelchair propulsion I. *Medical Engineering & Physics*, 23(10), 713-733. [https://doi.org/10.1016/S1350-4533\(01\)00083-2](https://doi.org/10.1016/S1350-4533(01)00083-2)
- Vanlandewijck, D. Y., Theisen, D. et Daly, D. (2012). Wheelchair Propulsion Biomechanics. *Sports Medicine*, 31(5), 339-367. <https://doi.org/10.2165/00007256-200131050-00005>
- Vanlandewijck, Y., Theisen, D. et Daly, D. (2001). Wheelchair Propulsion Biomechanics. *Sports Medicine*, 31(5), 339-367. <https://doi.org/10.2165/00007256-200131050-00005>

- Winkler, S. L. H., Fitzgerald, S. G., Boninger, M. L., et al. (2008). Relationship Between Quality of Wheelchair and Quality of Life: *Topics in Geriatric Rehabilitation*, 24(3), 264-278. <https://doi.org/10.1097/01.TGR.0000333758.13422.b5>
- Wu, H.-W., Berglund, L. J., Su, F.-C., et al. (1998). An Instrumented Wheel for Kinetic Analysis of Wheelchair Propulsion. *Journal of Biomechanical Engineering*, 120(4), 533-535. <https://doi.org/10.1115/1.2798024>
- Yang. (2003). *The effect of hand contact speed on wheelchair propulsion kinetic*. Récupéré le 7 juillet 2016 de [https://www.resna.org/sites/default/files/legacy/conference/proceedings/2003/Papers/sSPWinner/Yang\\_SM.htm](https://www.resna.org/sites/default/files/legacy/conference/proceedings/2003/Papers/sSPWinner/Yang_SM.htm)
- (s.d.). 1-192rev0316-Eliminator-OSR-Web-FINAL.pdf. Récupéré de <http://www.topendwheelchair.com/wp-content/uploads/2015/04/01-192rev0316-Eliminator-OSR-Web-FINAL.pdf>
- (s.d.). 2015\_12\_17\_IPC-Athletics-Rule-Book\_EN\_Final-Draft\_Formatted.pdf. Récupéré de [http://athletics.ca/wp-content/uploads/2016/01/2015\\_12\\_17\\_IPC-Athletics-Rule-Book\\_EN\\_Final-Draft\\_Formatted.pdf](http://athletics.ca/wp-content/uploads/2016/01/2015_12_17_IPC-Athletics-Rule-Book_EN_Final-Draft_Formatted.pdf)
- (s.d.). CDC - NIOSH Publications and Products - Musculoskeletal Disorders and Workplace Factors (97-141). Récupéré le 28 juillet 2016 de <https://www.cdc.gov/niosh/docs/97-141/>
- (s.d.). Wiley: Training and Coaching the Paralympic Athlete - Yves C. Vanlandewijck, Walter R. Thompson. Récupéré le 1 mai 2017 de <http://www.wiley.com/WileyCDA/WileyTitle/productCd-1119044332.html>
- (s.d.). AFNOR. Penibilité au travail selon Loi n° 2010-1330 du 9 novembre 2010 portant réforme des retraites. Évaluation de la pénibilité. Contraintes physiques marquées. Mise à jour 01/2013. 1. Service de santé au travail de Cambrai Dr Patrice THOREZ. Récupéré le 15 avril 2017 de <https://www.aismtcai.com/fichs/14511.pdf>
- (s.d.). Vézina, 2001. Récupéré de <http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/35036059/v1-05a-vezina.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1492012873&Signature=KdwzQAzgFpPZ3xT27jwwghb%2F5Qo%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DV1-05a-vezina.pdf>
-