



HAL
open science

De la physique à la pratique physique : la promotion du sport chez les personnes en situation de handicap

Laura Lemahieu

► **To cite this version:**

Laura Lemahieu. De la physique à la pratique physique : la promotion du sport chez les personnes en situation de handicap. Physique [physics]. Université de Lyon, 2020. Français. NNT : 2020LY-SEN055 . tel-03020114

HAL Id: tel-03020114

<https://theses.hal.science/tel-03020114v1>

Submitted on 23 Nov 2020

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

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



Numéro National de Thèse : **2020LYSEN055**

THESE de DOCTORAT DE L'UNIVERSITE DE LYON

opérée par

l'Ecole Normale Supérieure de Lyon

Ecole Doctorale N° 52

Ecole Doctorale Physique et Astrophysique de Lyon (PHAST)

Discipline : Physique

Soutenue publiquement le 27/10/2020, par :

Laura LEMAHIEU

De la physique à la pratique physique : La promotion du sport chez les personnes en situation de handicap.

Devant le jury composé de :

SYRANIAN, Valérie	Professeure ISPB Faculté de pharmacie/laboratoire SIS	Rapporteuse
FAUPIN, Arnaud	Maître de conférences Université du sud Toulon Var	Rapporteur
CHEVALIER, Jérôme	Professeur INSA de Lyon	Président du jury
ISSANCHOU, Damien	Maître de conférences	Examineur
Université Claude-Bernard Lyon 1/ UFR STAPS		
GEMINARD, Jean-Christophe	Directeur de recherche ENS de Lyon	Directeur de thèse

CNRS/ENS (Lyon)

De la physique à la pratique physique : la promotion du sport chez les personnes en situation de handicap.

Thèse de Physique et de Sociologie
présentée par Laura LEMAHIEU



FIGURE 1 – Photographie prise par Vincent Moncorgé

soutenue le 27 octobre 2020 à l'ENS de Lyon (Lyon)
devant le jury composé de :

Valérie Syranian	Rapporteur
Arnaud Faupin	Rapporteur
Jérôme Chevalier	Président du jury
Damien Issanchou	Examineur
Jean-Christophe Géminard	Directeur de thèse

Remerciements

« **Our greatest glory is not falling, but rising every time we fall** »

R. Balboa

Bienvenue lecteur.rice !

Ce travail cherche, entre autre, à apporter un nouveau regard sur le handicap, la société, et plus simplement sur l'approche de la différence. L'intérêt de cette démarche peut se résumer par cette phrase d'Anne Franck : « Alors si je parviens à changer votre regard sur moi, alors je changerai le sentiment que j'éprouve de moi ». Nous évoluons dans un environnement complexe, où chaque individu peut, par son ouverture d'esprit, contribuer au développement de la résilience de son entourage. Si la résilience est « l'art de naviguer dans les torrents » (Boris Cyrulnik), alors il est souhaitable que l'action collective contribue à équiper les individus, afin qu'ils puissent (re)trouver en eux la capacité de tenir leurs rames. Bonne lecture !

Laissant place à de nouvelles aventures en perspective, cette thèse se termine. C'était un sacré défi semé d'embûches : une thèse pluridisciplinaire physique-sociologie pour une biologiste de formation, qui a abouti, malgré un changement de sujet et de direction, et une pandémie... challenge accepted, and completed ! Entre ce que j'ai appris et le résultat de nos recherches, je suis ravie du chemin parcouru, et il y a encore tant à découvrir ! Il est de coutume d'écrire des remerciements de thèse, aussi avant les présenter je dédie cette thèse à tous ces êtres en roue libre qui m'ont « gonflée à bloc » et aidée à ne pas tourner en rond : « Le présent est fait de lutte, l'avenir nous appartient » (E. Che Guevara).

Je souhaite en premier remercier mon directeur de thèse Jean-Christophe Geminard pour sa main tendue vers ce nouveau départ, accompagné de patience et d'un fil à plomb. J'ai beaucoup appris à ton contact et je compte bien le mettre à profit.

Ensuite je remercie nos collaborateurs qui ont participé au projet Balance. À Pablo Jensen, pour sa collaboration sur les expériences et sur le traitement des données de la balance six-axes. Aux maîtres de tai-chi chuan Gérard Chirat et Jean-Pierre Cayrol, ainsi qu'à Bertrand Louis-Lucas, Shue Tien et Bruno Boucher pour leur enthousiasme et leur énergie.

Merci à ceux qui ont accepté de m'aiguiller dans mon travail, nos échanges ont été fructueux : Pascal Sommer, Mai-Anh Ngo, Valérie Syranian, Arnaud Faupin mais également Frédéric

Dubowyj, Xavier Chambost, et Julien Jouffroy pour ne citer qu'eux. Je tiens à remercier également Damien Issanchou, Julie Henry, et Thibaut Chambriard pour la bibliographie et les conseils. Enfin, je remercie nos stagiaires Sylvio Rossetti, Bastien Göransson, Lucas Gey, Gatien Polly et Benjamin Faucher, qui m'ont aidée dans le projet Roue.

Je remercie particulièrement Laurence Mauduit et Fathia Bouchneb du secrétariat, pour leur soutien logistique toujours impeccable même dans les situations les plus saugrenues, et pour leurs petits riens qui rendent tout plus beau. Merci également à l'atelier de mécanique, tout particulièrement Franck Vittoz, pour m'avoir tant appris dans le bricolage! Je remercie également les talentueux artistes Hélène Bléhaut et Vincent Moncorgé, pour leurs illustrations de mes travaux.

Merci à tous ceux qui ont été là pour m'épauler dans cette aventure, dans les hauts mais surtout dans les bas. Ceux qui sont là pour chasser les doutes et insuffler de l'énergie. Merci à Pauline la battante et à Richard l'insubmersible, la team mezza des galériens. Merci à Lucas et Raphaël, mes conscrits au Koh Lanta de la thèse. Merci à Caroline qui sait observer et nous faire relever la tête. Merci à tous nos joyeux collègues avec qui décompresser est un réel plaisir!! Je n'étais pas très inspirée pour l'écriture personnalisée de remerciements, alors l'idée générale c'est Yipikaï!

Merci à tous les copains de fac et d'ailleurs, surtout toi Miloute, d'avoir répondu présent, je vous adore! Merci à ma famille, à mes frères et sœurs pour leurs encouragements. Merci à ma p'tite maman pour la traque des fautes d'orthographe (sans oublier Solène, Yvon et Marie-Claude), et à Anthony pour son esprit cartésien. Merci Yvon. Tu as su encaisser comme personne le maelström émotionnel par lequel je suis passée. En plus de m'aider à développer ma résilience, tu me permets de devenir une meilleure version de moi-même.

Je rends ici hommage à ceux dont la disparition nous a meurtri, ces blocs de courage qui nous donnent la force d'avancer. Ceux qui nous aiment ne nous quittent jamais vraiment.

Aucun animal n'a été maltraité au cours de ce travail de recherche (humains non-inclus).

Introduction générale

0.1 Contexte

Le travail présenté ci-dessous a été effectué durant les deux dernières années de thèse, la première ayant été consacrée à un autre sujet présenté en annexe. L'objectif est, dans un contexte sportif international, de lever les verrous attendant à la pratique sportive des individus en situation de handicap, et de développer des solutions durables autour de la pratique du handisport. Des solutions technologiques spécifiques à la pratique de l'athlétisme fauteuil ont été étudiées, ainsi que les moyens de les diffuser auprès du grand public.

L'originalité de cette thèse est d'établir un lien autour du handicap entre les domaines de la physique et de la sociologie. Le handicap étant encore largement en retrait au sein de la recherche, l'objectif de cette thèse CNRS est de favoriser l'interdisciplinarité afin de promouvoir l'autonomie et l'inclusion sociale des personnes en situation de handicap. Notre travail cherche donc à apporter des analyses et des solutions adaptables à l'environnement ordinaire des personnes en situation de handicap et de leur entourage. En effet, la France amorce sa transition sociétale vers l'inclusion du handicap. Cette transition est toutefois atonique. Elle impacte peu le quotidien des individus, qui ont pourtant besoin d'une évolution rapide pour en ressentir les bénéfices physiques, psychologiques et psycho-sociaux.

Face à la nécessité de faire évoluer rapidement la cause du handicap en France pour les besoins des Jeux Paralympiques, un front commun est nécessaire entre les sciences et les usagers. L'interdisciplinarité des expertises permet de développer des outils et méthodes adaptées aux besoins spécifiques des usagers, à savoir ici le fauteuil d'athlétisme. L'interaction de ce projet avec la sociologie apporte une réflexion sur les besoins, les outils et leur usage favorisant l'inclusion sociale, permettant de rendre durable les bienfaits de cet échange momentané. La compréhension de l'environnement socio-culturel favorise bel et bien le développement d'outils nécessaires à l'autonomie des individus, et fournit des moyens de favoriser la participation sociale.

0.2 Preface (English Version)

France is preparing to host the 2024 Olympics and Paralympics Games, which will take place in Paris. The Paralympic Games are an exceptional opportunity to make the disability community apparent in France. It will convey a strong message that will impact the factors of social and economic integration of disable people.

Sports practice is a source of motivation and inspiration for a large number of individuals, which bring benefits for practitioners' physical and psychological health. For professional athletes with disabilities, Paralympics games will be an opportunity to stand out through their physical skills, but also thanks to adapted sports equipments. Actually, paralyzed people are dependent on technological materials to enhance their physical performance. Each piece of equipment must therefore be adapted and optimized for each athletes according to the sport practiced.

Motor paralyzed people have particularly important needs in terms of physical and psychological health, which involves to practice a regular physical activity. They must use adapted sports chairs for the discipline they practiced, however advanced technology is often financially inaccessible for non-professional athletes. Thoughtfulness of how to make sport accessible for paralyzed people should be considered.

This thesis includes a first sociological part, with a chapter on the history of disability, disabled sports, and on society's views on disability. The second chapter will focus on the benefits of sport practice, leading to a reflection on the accessibility of disabled's sports, particularly on the transfer of advanced sports technology to the disabled people. It will be followed by a questioning on the societal impact of the 2024 Paralympic Games on society. A track is also envisaged around the ethical and philosophical aspects of research for and with disabilities.

A second technical part aims to improve the athletic chair in order to optimize the performance of disabled athletes. The first chapter presents wheelchair and its sporting variations, while the second chapter details the athletic wheelchair and its physical characteristics to improve. The third chapter includes a study to optimize the rolling resistance of the athletic chair, with a theoretical study analyzing the geometry of the racing chair. The rolling resistance of a wheel is also studied experimentally according to various parameters, such as the camber and the tire's alignment.

Finally, three appendices will open up perspectives of our work. The first presents the mounting prototypes and the calibration of the sensor used during our tire rolling resistance experiments. The second appendix concerns a technical device dedicated to handi-sport, the multi-axis balance. The third appendix introduce muscular recovery of the paralyzed motor by functional electrical stimulation.

0.3 Preface

La France se prépare à accueillir les Jeux Olympiques et Paralympiques de 2024 qui se dérouleront à Paris. Les Jeux Paralympiques sont une occasion exceptionnelle de rendre visible la communauté du handicap en France. Elle véhiculera un message fort qui impactera les facteurs d'intégration sociaux-économiques des personnes en situation de handicap.

La pratique sportive est une source de motivation et d'inspiration pour un grand nombre d'individus, en plus d'apporter des bienfaits certains sur la santé physique et psychologique des pratiquants. Au niveau des sportifs professionnels en situation de handicap, ces jeux seront une occasion de se démarquer via leurs compétences physiques, mais également grâce à des équipements sportifs adaptés. En effet, les personnes en situation de handicap moteur, limitées dans l'exécution de tâches manuelles et leurs déplacements, sont dépendants des matériaux technologiques pour sublimer leurs performances physiques. Chaque équipement doit ainsi être adapté et optimisé pour le sportif et selon le sport pratiqué.

Les personnes en situation de handicap moteur ont des besoins particulièrement importants en matière de santé physique et psychologique, qui passe par la pratique d'une activité physique régulière. Or, il faut se procurer un fauteuil de sport adapté par discipline sportive pratiquée, et la technologie de pointe est souvent inaccessible financièrement chez les sportifs non-professionnels en situation de handicap moteur. Une réflexion sur la manière de rendre le sport accessible aux personnes en situation de handicap moteur est à envisager.

Cette thèse comporte une première partie sociologique, avec un chapitre sur l'histoire du handicap, du handisport, et les regards de la société sur le handicap. Le second chapitre portera sur les bienfaits d'une pratique sportive, amenant à une réflexion autour de l'accessibilité du handisport, notamment sur le transfert de la technologie sportive de pointe vers la personne en situation de handicap. Il sera suivi d'un questionnement sur l'impact sociétal des Jeux Paralympiques 2024 sur la société. Une piste est également envisagée autour des aspects éthiques et philosophiques de la recherche pour et avec le handicap.

Une seconde partie technique a pour objectif d'améliorer le fauteuil d'athlétisme afin d'optimiser les performances de handi-sportifs. Le premier chapitre présente le fauteuil roulant et ses déclinaisons sportives, tandis que le second chapitre détaille le fauteuil d'athlétisme et ses caractéristiques physiques à améliorer. Le troisième chapitre comporte une étude d'optimisation de la résistance au roulement du fauteuil d'athlétisme, avec une étude théorique analysant la géométrie du fauteuil de course. La résistance au roulement d'une roue est également étudiée de manière expérimentale selon divers paramètres, comme le carrossage et l'alignement du pneumatique.

Enfin, trois annexes ouvriront des perspectives de notre travail. La première présente les prototypes de montage et la calibration du capteur de 200 Kg utilisés lors de nos expériences de résistance au roulement du pneumatique. La seconde concerne un dispositif technique dédié

au handi-sport, la balance multi-axes. La troisième annexe met en avant la récupération musculaire des paralysés moteurs par stimulation électrique fonctionnelle.



FIGURE 2 – « **Sciences sans conscience n'est que ruine de l'âme** » Rabelais, Pantagruel
Illustration : Logo des Jeux Paralympiques 2024

Table des matières

0.1	Contexte	5
0.2	Preface (English Version)	6
0.3	Preface	7
0.4	Sigles	12
1	Sciences, sport et handicap	15
1.1	Préambule	15
1.2	Histoire du handicap et du regard de la société	15
1.2.1	Antiquité	15
1.2.2	Du moyen-âge à la révolution	17
1.2.3	Les temps modernes	19
1.2.4	Handicap et éducation	27
1.3	L'image de la personne en situation de handicap	30
1.3.1	Définition et philosophie du handicap	30
1.3.2	Histoire du handisport	33
2	Fauteuil et sport	49
2.1	Méthodes de transfert de la technologie de pointe vers la personne en situation de handicap	49
2.2	Sport : intérêt et contraintes	50
2.2.1	Nécessité médicale de la pratique sportive : Intérêt pour la santé physique, psychologique, et psycho-sociale	50
2.2.2	Freins à la pratique sportive	60
2.3	Le transfert technologique	65
2.3.1	Partenaires du transfert technologique	67
2.3.2	Vers une autre construction du handisport ?	88
2.4	Perspective : Le physio-gaming	98
3	Le fauteuil PMR et ses déclinaisons sportives	103
3.1	Histoire des fauteuils	103
3.2	Déclinaisons sportives du fauteuil roulant	107
3.2.1	Fauteuil de basket	108

3.2.2	Fauteuil de tennis	110
3.2.3	Rugby Fauteuil	111
3.2.4	Fauteuil d'athlétisme	112
4	Fauteuil d'athlétisme	117
4.1	Évolution temporelle des performances d'athlétisme	117
4.2	Évolution du fauteuil d'athlétisme	124
4.3	Lois et règlement	126
4.3.1	Le fauteuil d'athlétisme	126
4.3.2	Pistes et course	128
4.4	Le fauteuil actuel	131
4.5	Positionnement et amélioration	132
5	Optimisation du fauteuil d'athlétisme	137
5.1	Introduction	137
5.2	Travail proposé	139
5.3	Géométrie du fauteuil	140
5.3.1	Parallélisme du fauteuil d'athlétisme	140
5.4	Étude expérimentale de la résistance au roulement	150
5.4.1	Première série de mesures	150
5.4.2	Mesure de la résistance au roulement pour une roue	154
5.4.3	Effet de la vitesse	160
5.4.4	Effet du gonflage	161
5.4.5	Effet de l'alignement	162
5.4.6	Effet de l'alignement sur une roue carrossée	163
5.4.7	Effet du carrossage	165
5.5	Mise en commun des résultats	166
5.6	Perspectives	169
6	Conclusion	173
6.1	Récapitulatif	173
6.2	Perspectives	178
7	Annexe A - Montage	181
7.1	Prototypes	181
7.1.1	Prototype I	181
7.1.2	Prototype II	182
7.1.3	Prototype III	184
7.2	Calibration du capteur	186

8	Annexe B - La balance 6 axes	187
8.1	Introduction	187
8.2	Objectif	188
8.3	Principe	189
8.3.1	Principe général	189
8.3.2	Principe de mesure selon la verticale	189
8.3.3	Forces dans le plan	192
8.4	Technique : Réalisation de la balance 6 axes	193
8.4.1	Montage	193
8.4.2	Capteurs de force	195
8.5	Première application	197
8.5.1	Prise d'impulsion au plongeon	197
8.6	Balance double	199
8.6.1	Dispositif expérimental	199
8.6.2	Tai-chi-chuan	200
8.7	Perspectives	204
9	Annexe C - Stimulation Électrique Fonctionnelle	207
9.1	Sujet de thèse annoncé	207
9.1.1	Introduction	207
9.1.2	Objectif	208
9.2	Travail réalisé	210
9.2.1	Histoire de l'électrothérapie	210
9.3	Étude des effets de la pratique de vélo à SEF	213
9.3.1	Principe	213
9.3.2	Protocole	214
9.3.3	Mesures	214
9.4	Travaux liés au sujet principal de la thèse	216
9.4.1	CPP	217
9.4.2	Sport sur ordonnance	218

0.4 Sigles

- ALD** : Affection Longue Durée
- AMSF** : Association Sportive pour les Mutilés de France
- CAT** : Centres d'Aides par le Travail
- BMW** : Bayerische Motoren Werke (« Manufacture bavaroise de moteurs »)
- CE** : Conformité Européenne
- CETIM** : Centre technique des industries mécaniques, aide amélioration de fauteuils
- CIDIH** : Classification Internationale des Déficiences, Incapacités, et Désavantages des Handicaps
- CIF** : Classification Internationale du Fonctionnement, de la santé et du handicap
- CIH** : Classification Internationale des Handicaps
- CIM** : Classification Internationale des Maladies
- CIO** : Comité international olympique
- CIP** : Comité Internationale Paralympique
- CISS** : Comité International des Sports Silencieux
- CNOSF** : Comté National olympique et sportif français
- CNDS** : Centre National pour le Développement du Sport
- CNUPDPH** : Convention des Nations Unies pour le Droit des Personnes Handicapées
- CPSF** : Comité Paralympique du Sport Français
- EDF** : Électricité de France
- EDSO** : European Deaf Sport Organisation
- EHPAD** : Établissement d'Hébergement pour Personnes Âgées Dépendantes
- EPS** : Éducation Physique et Sportive
- ERP** : Établissements Recevant du Public
- FFH** : Fédération Française Handisport
- FFOHP** : Fédération Française Omnisports pour Handicapés Physiques
- FFSA** : Fédération Française du Sport Adapté
- FFSHP** : Fédération Française de Sports pour Handicapés Physiques
- FFSHPF** : Fédération Sportive des Handicapés Physiques de France
- FSSMF** : Fédération Sportive des Sourds-Muets de France
- GPS** : Géo-positionnement par satellite
- IAAF** : Fédération Internationale d'Athlétisme
- ICSD** : International Committee of Sports for the Deaf
- IMC** : Infirmités Moteurs Cérébraux
- INAS** : International Federation for Sport for Para-Athletes with an intellectual disability
- INSEE** : Institut national de la statistique et des études économiques
- IPC** : International Paralympic Committee
- ITF** : Fédération Internationale de Tennis

IWBF : Fédération Internationale de Basket-ball en Fauteuil Roulant
IWRF : Fédération Internationale de Rugby Fauteuil
J.O : Jeux Olympiques
J.P : Jeux Paralympique
MDF : Panneau de Fibres de bois à Densité Moyenne
MDPH : Maison Départementale des Personnes Handicapées
OCDE : Organisation de Coopération et de Développement Économique
OIT : Organisation Internationale du Travail
OMS : Organisation Mondiale de la Santé
ONG : Organisation Non Gouvernementale
ONU : Organisation des Nations Unies
PSH : Personne en situation de Handicap
PMR : Personne à mobilité réduite
PVC : PolyChlorure de Vinyle
RATP : Régie Autonome des Transports Parisiens
RER : Réseau Express Régional
RIPPH : Réseau international sur le Processus de production du handicap
UK : United Kingdom (Grande Bretagne)
UNESCO : Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture
URSS : Union des républiques socialistes soviétiques (CCCP en Russe)
USA : United States of America (« États-Unis d'Amérique »)
RIPPH : Réseau internationale sur le processus de production du handicap
SHN : Sport de Haut Niveau
SMIC : Salaire minimum interprofessionnel de croissance
WPA : World Para Athletics

Chapitre 1

Sciences, sport et handicap

1.1 Préambule

L'évolution du fauteuil roulant comme toute innovation technologique a été déterminée par ses différents usages. Les besoins quotidiens de déplacements de la société occidentale sont croissants chez les personnes en situation de handicap moteur. Perfectionner les fauteuils roulants en maniabilité comme en vitesse favoriserait les interactions avec l'environnement et, de fait, l'autonomie des usagers. Pourtant d'autres aspects bien plus triviaux sont encore loin d'être résolus : prévention des maladies secondaires, adaptation de l'assise à la morphologie évolutive de la personne, facilité d'installation ou possibilité de se rendre aux sanitaires, prix d'entrée de gamme d'un fauteuil adapté à chaque besoin, accessibilité des bâtiments, inclusion du handicap au sein de la société. Un regard global est nécessaire pour comprendre les aspects et enjeux de la recherche autour du handicap moteur.

1.2 Histoire du handicap et du regard de la société

1.2.1 Antiquité

Glorifié, toléré ou rejeté, le handicap a toujours été mis en marge de la société. La perception de la personne en situation de handicap couvre un univers très large, allant au fil des siècles de messager divin à être maudit.

Dans l'Égypte ancienne les populations locales croyaient que les nouveaux nés malformés étaient touchés par la grâce des dieux. Le roi de Babylone les protégea légalement via le code d'Hammurabi (-1700 av. JC) qui stipule que «Le fort ne doit pas opprimer le faible» [Nagarajan, 2011]. Les infirmes ont néanmoins été écartés du sacerdoce en -1300 av. JC, par le Code de Sainteté de Moïse. Suite à cette mise à l'écart, ils sont simplement tolérés dans l'espace social en attendant une « guérison » (-500 av. JC, Prophète Isaïe, livre de Job). Puis, la période d'opulence de la Grèce ancienne puis de la Rome antique laisse place à une ambivalence dans la vision de la personne en situation de handicap (Fig. 1.1). Ainsi, un



FIGURE 1.1 – Vase grec, 525 av. JC. Un dieu en fauteuil roulant ailé.

nourrisson infirme ou malformé a reçu un maléfice divin comme avertissement auprès d'un groupe social fautif. Pour signaler sa compréhension du message divin l'enfant devait alors subir l'exposition, donc être abandonné au bon vouloir des dieux hors de la cité, voire jeté dans un ravin à Sparte [Stiker, 2013]. Parallèlement, un blessé de guerre était entièrement pris en charge par la cité [Dasen, 2009]. Les faibles d'esprit sont tolérés et les débuts de la neuropsychologie apparaissent avec Hippocrate qui y voit un problème physique causant la maladie psychologique. Pour d'autres grands penseurs de l'époque, Aristote « impose » une loi interdisant de nourrir les enfants malformés (-400 av. JC) [Titli, 2010], Platon l'eugéniste souhaite éliminer les faibles pour « préserver la race des gardiens » (-300 av. JC) [Ajavon, 2005, Barraud, 1954].

L'arrivée des religions monothéistes apporte de la tolérance auprès des personnes en situation de handicap, notamment de handicap physique. Dans la religion juive, l'infirmes, être anormal, a sa place dans la société comme objet de compassion. C'est un innocent qui ne pourrait être mis au bûcher mais qui est considéré comme trop impur pour participer aux repas communautaires et pour prendre part aux combats. Il peut pratiquer le culte mais il ne peut pas participer aux offrandes. Bien que l'intégration des infirmes dépende néanmoins beaucoup de la culture de la société, le Judaïsme prône d'apporter son affection à celui qui est différent et de le considérer comme une personne à part entière [Stiker, 2013]. Le Christianisme repoussera par la suite la limite de l'exclusion des infirmes, en estimant que le mal est dans certains actes adressés à autrui, et non dans l'individu directement. Cette religion entretient un contact direct avec les êtres malades, en souhaitant que l'amour de Dieu, le don de soi, la charité, et l'hospitalité soient témoignés aux pauvres, aux malades et aux infirmes, le tout sans rechercher la cause de leurs maux [Stiker, 2013]. Pour l'islam,

le handicap est à la fois un don et une épreuve divine propre à chacun, servant à éprouver sa foi. Le handicap est pleinement intégré à la vie en communauté où il sert de lien social, où la religion amène l'individu à faire preuve de solidarité envers autrui, notamment par l'aumône, et de respect, car les infirmes sont considérés comme des personnes ordinaires (VIIe siècle). Le christianisme tout comme l'islam interdit, pour des raisons de capacité et non de pureté, les infirmes au combat [Houssaini and Acharki, 2008].

1.2.2 Du moyen-âge à la révolution

La France du Moyen-Age assujettie à la chrétienté développe des valeurs de charité à l'encontre des plus faibles, ce qui participe à leur intégration. En effet, la « Cour des Miracle » regroupe indistinctement les pauvres, les malades, les difformes et les lépreux qui sont placés sur un pied d'égalité [Stiker, 2013]. La ville et les instances épiscopales assurent le gîte et le couvert des infirmes incapables de travailler et dont les familles ne peuvent supporter la charge. Néanmoins les malades provoquent la répugnance et sont enfermés ou mis à l'écart. Les hôpitaux, les hospices et la Basiliade, un équivalent au secours catholique, apparaissent dès l'an 350 et, en l'an 651, l'Hôtel-Dieu de Paris est créé. L'aumône fait ainsi partie intégrante du système économique (Fig. 1.2). Elle est utilisée par les personnes riches pour leur salut [Mollat, 1978, Geremek and Arnold-Moricet, 1987]. Au XIIIe siècle, les pauvres deviennent une preuve de la présence de Dieu. Cette élévation spirituelle entraîne la création des Ordres Mendians comme les Franciscains, les Dominicains ou les Augustins, des ordres religieux vivant de la charité. Ils sont inspirés par Antoine de Padoue ou encore par Saint François d'Assise qui après sa conversion décide de vivre tel Jésus parmi une communauté de mendiants. Les monastères n'ont bientôt plus la capacité d'accueillir tous les nécessiteux, à savoir les pauvres et les infirmes. Cette nécessité de lieux vastes et adaptés aboutit à la création de léproseries et d'hôpitaux [Stiker, 2013]. Ainsi en 1254, Saint Louis crée les Quinze-Vingts, dédiés aux aveugles.

Néanmoins le XIVE siècle est marqué par de multiples maux qui sonnent comme des reproches divins pour les européens. Un grand refroidissement climatique laisse place à de très mauvaises récoltes. Une grande famine sévit plusieurs années et les populations sont affaiblies par les guerres, notamment par la guerre de cent ans (1337-1453). Les épidémies se propagent dont le typhus, la lèpre, et la grande peste noire qui aurait décimé à elle seule entre le tiers et la moitié de la population européenne de l'époque. Les pauvres et infirmes sont chassés par les bourgeois soucieux de leur sécurité bien que la charité soit toujours enseignée [Balard, 2011]. L'intérêt pour l'être humain revient progressivement après les grandes épidémies, favorisé par la Renaissance et ses courants de pensée humaniste du XVe siècle. Léonard De Vinci présente des tentatives d'explication anatomique, Harvey apporte les prémices de la physiologie et la chirurgie débute avec Ambroise Paré en 1536. L'hérédité de l'infirmité

et la contagion des maladies sont théorisées. Rationaliser la marginalité engendre un élan social souhaitant la réparation des infirmités. Cela se traduit par la création des hôpitaux généraux par Louis XIV, dont les Invalides (1674) pour les soldats blessés, La Salpêtrière (1656) pour les « fous et les débiles », ou encore l'hôpital Bicêtre pour les soldats estropiés. Les philosophes du XVIIIe siècle réaffirmeront par la suite le droit des handicapés. En effet,

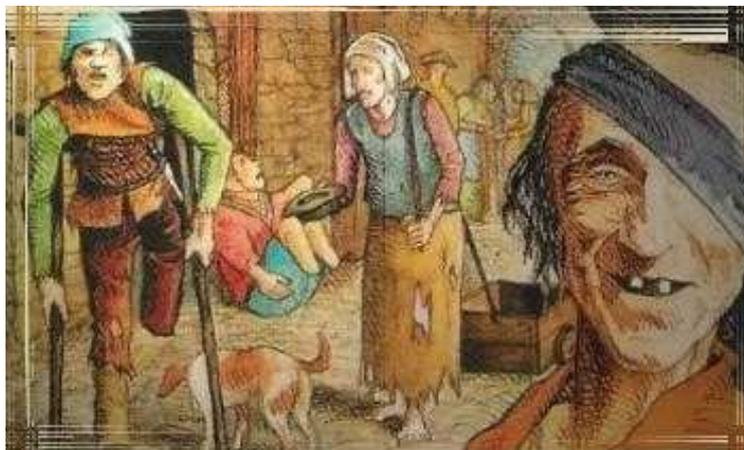


FIGURE 1.2 – « **La bienfaisance publique n'est pas une vertu compatissante, elle est un devoir, elle est la justice** ». François de la Rochefoucault (1747-1827), duc de Liancourt.

Illustration : La mendicité au Moyen-âge est très répandue en ville.

Montesquieu parle de l'égalité civique de tous, Rousseau rappelle que « tout homme est utile à l'humanité, par cela seulement qu'il existe » [Rousseau, 1772], et Diderot écrit sa lettre sur les aveugles dans laquelle il s'intéresse à leur psychologie et leur perception du monde [Diderot, 2017]. Ce siècle des Lumières s'achève sur la fin de la monarchie et sera marqué par la soif de justice et d'égalité de la part du peuple. L'Assemblée Nationale Constituante proclame en 1789 La Déclaration des Droits de l'Homme et du Citoyen, dont l'article 10 ancre dans la Constitution la valeur suivante : « tous les citoyens sont égaux et admissibles à toute dignité, place, et emploi publique selon leurs capacités ... » [DDHC, 1789]. Dans un souci de devoir et de justice, elle crée également le Comité de la mendicité chargé de recenser les besoins des hôpitaux, maisons de forces, et ateliers nationaux. Elle crée également la Caisse de Prévoyance et instaure la prévention et les soins à domicile. L'Assemblée Législative de 1791 crée le Comité des Secours Publics. Les hôpitaux et autres biens de l'Église sont vendus (Convention 1792). Les droits à la subsistance et aux secours publics sont instaurés, ainsi que le droit au travail pour les « sans emploi », et le droit à l'assistance aux infirmes et aux incurables en proportion de la perte des capacités physiques. La charité privée est encouragée dès thermidor an II 1794 [Conac, 1992].

Dans ce contexte, l'abbé Charles-Michel de L'Épée perfectionne le langage gestuel de jumelles sourdes via la création d'un alphabet à deux mains (Fig. 1.3). Il inaugure le début de la langue des signes française (LSF) et crée la première école pour sourds-muets en 1755

[Lane, 1991]. Valentin Haüy fonde quant-à lui l'institut des enfants aveugles en 1786 où il leur enseigne la lecture et l'arithmétique grâce à des caractères en relief, afin de leur rendre la dignité et leur permettre un accès à un métier [Haüy, 1786]. C'est à cette école, renommée institution royale des jeunes aveugles, que Louis Braille (1809-1852) sera instruit. Il y découvre en 1821 le système de sonographie inventé par le vétérinaire Charles Barbier de la Serre, une écriture phonétique en relief utile à la transmission d'ordres nocturnes. Il s'en inspire pour inventer le braille dès 1825, un système d'écriture tactile à points saillants basé sur les signes typographiques latins [Jiménez et al., 2009].

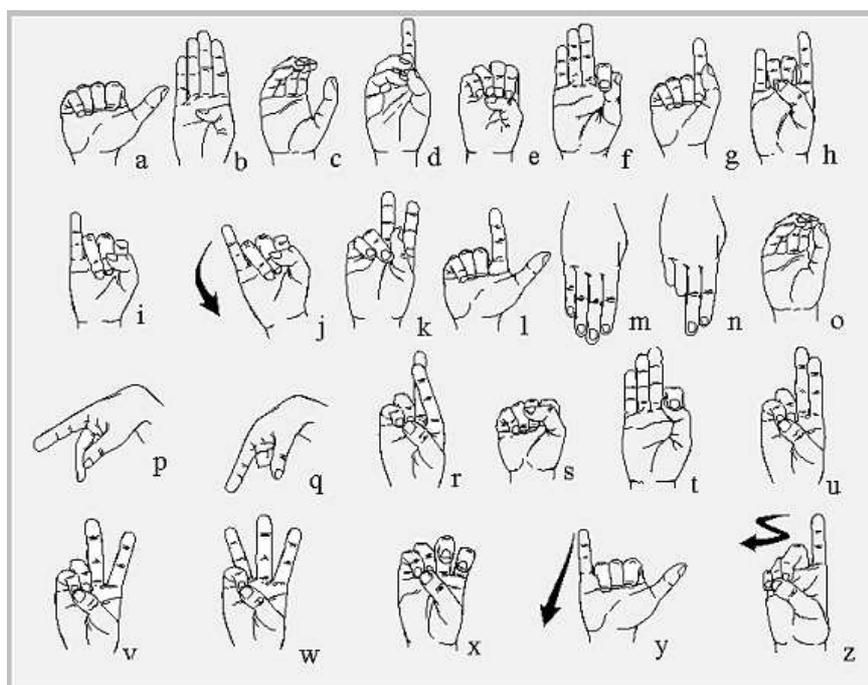


FIGURE 1.3 – « L'enfant idiot est infirme dans le mouvement, la sensibilité, la perception et le raisonnement, l'affection et la volonté : c'est par l'éducation que l'on doit réparer ». Édouard Seguin (1812-1890).

Illustration : L'alphabet de la la langue des signes française (LSF), enseigné depuis la deuxième moitié du XVIIIe siècle.

1.2.3 Les temps modernes

Au cours du XIXe siècle, les instances médicales qui ont un rôle sociétal important souhaitent humaniser le sort des déviants et les réparer. La psychologie de l'enfant fait ses débuts et souhaite éduquer les enfants à déficiences intellectuelles. Dans les hôpitaux de Bicêtre et de la Salpêtrière plusieurs médecins se démarquent dont les précurseurs de la psychiatrie Philippe Pinel, fondateur des asiles spécialisés, et Jean-Etienne Esquirol dans les

années 1810. L'enfermement a alors plus un rôle social avec encadrement moral, que médical [Stiker, 2013]. Puis l'hospitalisation est à nouveau mise en avant avec la loi de 1838 sur le traitement médical et social des aliénés. Les variations politiques de 1848 souhaitent retourner vers les idéaux de la Révolution et appuient en ce sens. Les malades sont ainsi admis à l'hôpital, les vieillards et incurables sont envoyés à l'hospice, et les infirmes physiques sont placés dans des établissements médicaux dans une idée de rééducation. Ainsi en 1870 le Dr. Bourneville crée une section spéciale pour l'enseignement professionnel des enfants arriérés. En 1905 le psychologue Alfred Binet et le psychiatre Théodore Simon créent une échelle métrique de l'intelligence, le test de Binet-Simon. À cette époque des auteurs aussi s'intéressent à l'éducation des enfants déficients comme Édouard Seguin qui fonde en 1846 une école pour enfants à déficience mentale (Fig. 1.3). Ces théories pédagogiques seront par la suite reprises par la pédagogue italienne Maria Montessori en 1900 [Nicolas, 2001, Boake, 2002].

À cette même époque les infirmes étaient considérés comme des monstres humains puis comme des phénomènes de foire (Fig. 1.4). Ils ont contribué à l'essor de l'industrie du spectacle et ont longtemps par la suite gardé une méfiance de la médiatisation [Ruffié and Férez, 2013]. Un lent glissement de la monstruosité à l'infirmité, puis vers le handicap s'est effectué entre 1840 et 1940 [Noël, 2012]. Durant cette période entre 1900 et 1930 l'état souhaite gérer les conduites sexuelles des patients en institution et préserver la « race blanche », aussi il adopte des politiques eugénistes de stérilisation des « débiles mentaux » [Brégain, 2018].



FIGURE 1.4 – Publicité pour un cirque ambulants.

Les premières traces législatives françaises en faveur du handicap date de 1898 avec la loi sur l'indemnisation des victimes d'accidents du travail, puis en 1905 arrive la loi d'assistance aux vieillards, infirmes et incurables. Les deux Guerres Mondiales du XXe siècle font particulièrement évoluer l'image et le droit du handicap. Une prise de conscience collective apparaît via la transformation du paysage du handicap et la multiplication d'invalides de

guerre avec l'évolution intense des armes de combats lors de la Première Guerre Mondiale [Didier-Courbin and Gilbert, 2005]. L'automatisation des armes, l'industrialisation de la fabrication de munitions et l'utilisation en masse d'obus a augmenté drastiquement le nombre de paralysés moteurs et de « gueules cassées ». On dénombre dix millions de morts et six millions d'êtres humains âgés de 19 à 40 ans blessés de cette guerre (Fig. 1.5). Leur nombre a également augmenté avec les progrès d'hygiène et de la médecine de l'époque [Noël, 2012]. Le retour des blessés de guerre dans la société civile, à la fois héros et invalides, a modifié



FIGURE 1.5 – Blessés de guerre à l'infirmierie, 1914-1918.

l'image du handicap moteur et démocratisé l'utilisation du fauteuil roulant. On ne parle plus d'infirmités mais de grands invalides de guerre qui méritent le respect et la considération. Leurs besoins d'autonomie pour la réinsertion professionnelle et l'amélioration de leurs conditions économiques conduisent à repenser les technologies d'artificialisation du corps humain comme les prothèses et les fauteuils roulants, une amputation étant alors perçue comme une émasculature [Serlin, 2003]. Des institutions sont créées et de nouvelles spécialités médicales pour la rééducation fonctionnelle, comme la traumatologie, apparaissent [Brégain, 2018]. L'homme réparé par la technologie pouvant à nouveau être autonome et travailler est alors médiatisé aux États-Unis comme le héros des temps modernes, associant de fait la prothèse à la masculinité hétéronormative triomphante [Serlin, 2003]. Les vétérans de la guerre fondent en 1918 l'Office National des Anciens Combattants et Victimes de Guerre qui participe à la création de la loi de 1919 sur la réparation des dommages de guerre. L'état pensait alors fournir une aide provisoire jusqu'à leur reprise du travail [Fougeyrollas, 2010]. L'Organisation Internationale de Travail (OIT) est alors fondée en 1919 et il faudra attendre 1924 pour avoir une loi sur l'obligation d'emploi des mutilés et accidentés du travail [Doriguzzi, 1994].

En 1945 la sortie de la Seconde Guerre Mondiale est un grand traumatisme pour la société civile qui constate les conséquences d'une idéologie classant l'être humain selon sa

race et son utilité. En effet durant la guerre le régime nazi a mis en place le plan Aktion eugéniste T4 qui consistait à éliminer systématiquement les inutiles à la société. Plus de 200 000 personnes atteintes d'un handicap physique ou mental ont été éliminées et parfois torturées pour des expériences scientifiques [Bernstein, 2016]. À la fin du conflit parmi le million de blessés et invalides se trouvent des milliers d'infirmes dont la moitié souffre d'un taux d'invalidité supérieur à 25-30 % [Jaeger, 2016, han, 1959]. Beaucoup de ces infirmes, nommés nouvellement personnes handicapées, sont en fauteuil roulant. Après ces guerres mondiales, la France veut rendre hommage aux héros patriotes s'étant battus pour la liberté du pays. La mise à l'honneur des vétérans de guerre par l'état change dans l'esprit collectif l'image des Personnes en Situation de Handicap (PSH). La charge financière d'un individu en situation de handicap, jusque là imputée à la famille, est commuée en charge financière communautaire. Une nouvelle époque inclusive commence, visant à briser l'exclusion de groupes d'individus. La Sécurité Sociale est alors créée en 1945 et l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) en 1948 tout comme l'ONU (Organisation des Nations Unies) qui concevra la Déclaration Universelle liberté-égalité [Gouvernement, 1946]. Les politiques publiques intergouvernementales via l'ONU, l'OMS, et l'OIT veulent se démarquer dans le domaine de la réadaptation en fondant le projet nord-atlantique de modernisation de la réadaptation, et ce dans une dynamique libérale poussée par les USA qui privilégient le marché et non l'égalisation des conditions de vie économiques entre PSH et valides. Ainsi le droit au travail est minoré tandis que le droit à la mobilité ou à la pratique sportive de compétition est mis en avant. Les entreprises privées refusent la mise en place de quotas d'invalides et préfèrent les placements sélectifs en milieu compétitif des invalides ayant potentiellement une productivité égale à un valide, ou encore la création d'ateliers protégés pour les individus moins productifs. Les politiques sont coordonnées de manière sectorielle et tendent vers une égalisation du droit entre catégories d'invalides [Brégain, 2018]. Ce modèle a une approche médicale défailante car les médecins déclarent tous les PSH inaptes au travail et les marginalisent, ce qui sera dénoncé par les ONG. Les solutions pour personnes handicapées restent néanmoins limitées et elles sont incitées à se rendre dans des centres de soins loin de leurs proches où elles sont infantilisées par le personnel soignant, à l'image de ce qui se passe dans nombre de maisons de retraite [Gaillard, 2007].

Dans la période des Trente Glorieuses (1946-1975) les avancées médico-technocratiques, idéologiques, et démocratiques font évoluer l'étiologie des déficiences et favorisent la fin de l'exclusion des personnes handicapées. L'arrivée des vaccins dans les années 50 permet de traiter puis d'éradiquer dès 1988 la poliomyélite, une maladie infectieuse et contagieuse qui peut provoquer une paralysie motrice des membres inférieurs ou une paralysie de l'appareil respiratoire [Noël, 2012]. Avec le développement des technologies de transport, les accidents de la route prennent à leur tour le pas sur la scène du handicap dans les années 1980, jusqu'au renforcement des normes de sécurité routière. Néanmoins depuis les années 1990

avec la transformation des modes de vie vers une utilisation quotidienne des voitures qui sont de plus en plus puissantes, il y a une forte augmentation de traumatisés crâniens et de lésés cérébraux. L'atteinte cérébrale est alors le symbole d'une atteinte de la modernité et le brouillage entre handicaps moteurs, psychiques, et intellectuels ouvre la voie des neurosciences [Stiker, 2009].

À cette époque la société française sort de sa logique politique d'assistanat qui s'apparente à tendre un miroir brisé permettant de conserver une image de soi convenable tout en masquant la situation réelle [Stiker, 2013]. Le pays entre alors dans une phase productive intense où chacun doit participer à sa reconstruction et à son développement [Noël, 2012]. La solidarité qui était alors mécanique via une aide par les proches et les semblables passe à une solidarité organique où chaque individu a un rôle distinct [Marcellini and Villoing, 2014]. Le souhait d'égalité des chances et des recours s'ancre dans la population et est soutenu par les évolutions technologiques qui favorisent de grands progrès médicaux-techniques [Pessis et al., 2013]. Les personnes en situation de handicap souhaitent également bénéficier d'une vie moderne (Fig. 1.6) et la signification même du handicap évolue [Noël, 2012]. En parallèle la promotion des Jeux Paralympiques crée une image positive du handicap qui n'impacte toutefois pas la faible réinsertion professionnelle de l'époque car elle ne fait pas évoluer les préjugés des membres de la société comme les entrepreneurs, les politiques, les familles ou encore l'administration. Opposée au libéralisme américain qui freine la réinsertion professionnelle des PSH, l'idéologie socialiste étatique à planification centralisée prônée par l'URSS favorise pour sa part le droit à l'emploi avec des quotas élevés de réadaptation professionnelle, avec des placements collectifs et une adaptation des équipements industriels, la gratuité des prothèses et des voitures adaptées, la sécurité et le coopérativisme. Les nations-unies ne conserveront de ces idées socialistes des années 1950-1970 qu'un outil juridique qui rend les PSH dépendants de la charité et la philanthropie de l'état [Brégain, 2018].



FIGURE 1.6 – Les tricycles Poirier du 20e siècle, adaptés au handicap physique.

A gauche un modèle de propulsion à volant. Au centre un modèle de propulsion à manivelle. A droite un modèle de propulsion motorisé.

Les innovations juridiques autour du handicap comme les lois, les décrets ou révisions constitutionnelles permettent d'aiguiller les politiques publiques sur le long terme (Fig. 1.7)

[Brégain, 2018]. Aussi une stratégie législative est de fait mise en place en France afin de rééduquer, réadapter, reclasser, et réinsérer les personnes handicapées et, ce, dès 1957 avec la loi sur l'obligation d'emploi des personnes handicapées (loi n°57-1223)[legifrance.gouv.fr]. Pour étayer l'arsenal législatif, le handicap est défini administrativement en 1975, sans tenir compte de l'aspect technique ou médical du handicap, par la ministre de la Santé Simone Veil : « Sera désormais considérée comme handicapée toute personne reconnue comme telle par les Commissions Départementales ». Cette définition nébuleuse a pour objectif de ne pas restreindre son champ d'application [Didier-Courbin and Gilbert, 2005]. Le principe de solidarité remplace progressivement celui d'assistance en dépit du projet nord-atlantique, et le marqueur législatif de ce changement qualitatif apparaît le 30 juin 1975 lorsque le secrétaire d'État à l'action sociale René Lenoir (1927-2017) fait adopter la première loi d'orientation en faveur des handicapés de la législation française (loi n°75-534). Cette loi Française porte l'obligation d'intégration des Personnes Handicapées et permet la mise en place de l'allocation pour adulte handicapé, assurant un minimum vital aux personnes qui ne peuvent travailler du fait de leur handicap [legifrance.gouv.fr]. La même année l'OMS crée la Classification Internationale des Maladies (CIM), qui évoluera en 1980 en Classification internationale des Déficiences, Incapacités, Désavantages (CIDIH). Le pouvoir des instruments internationaux est toutefois limité à la fois par les gouvernements qui ne veulent pas de mesures contraignantes, par les entrepreneurs qui souhaitent limiter la réinsertion professionnelle contrairement aux syndicats, et également par les familles des déficients mentaux qui s'opposent au mariage et la sexualité de leurs enfants. Les ONG revendiquent également le droit au travail, à l'éducation, au soin et l'accès à la sécurité sociale mais réfutent le droit à la sexualité, le droit de vote, le mariage, ou encore l'élargissement des bénéficiaires des dispositifs handicap [Brégain, 2018]. Ce changement de classification reflète toutefois une évolution historique liée à la métamorphose des conceptions et théories du handicap dans la deuxième moitié du XXe siècle [Stiker, 2009]. De fait les personnes handicapées acquièrent peu à peu le droit à la prévention, aux soins, au dépistage, ou encore au travail, bien qu'elles peinent à trouver un emploi qualifié et correctement rémunéré [Brégain, 2018].

La deuxième moitié du XXe siècle s'intéresse donc majoritairement à deux grands aspects du handicap : l'emploi et l'éducation. En 1986, des états européens s'engagent en ce sens via une charte européenne pour l'éducation de tous, qu'elle soit publique ou privée, et pour l'accessibilité des personnes en situation de handicap [Noël, 2012]. Entre 1975 et 2005, cinq grandes lois axées sur la dignité, la reconnaissance, et la participation des PSH sont créées dont la loi de 1975 (loi n°75-534) portée par Simone Veil qui stipule que les handicapés ont droit au travail, à une garantie minimum de ressource par le biais de prestations, et à l'intégration scolaire et sociale [Gaillard, 2007]. La même année l'ONU proclame la Déclaration des droits des personnes handicapées sur la dignité humaine (Résolution 3447) [undocs.org/fr/A/RES/3447(XXX)]. La loi de 1987 (loi n°87-517) favorise l'emploi des tra-

vailleurs handicapés avec un quota obligatoire de 6 % de travailleurs handicapés ou mutilés de guerre par entreprise de 20 salariés et plus. La loi de 1990 (loi n°90-602) protège les personnes contre la discrimination en raison de leur état de santé ou de leur handicap [legifrance.gouv.fr].



FIGURE 1.7 – « Le droit est la forme par excellence du discours agissant, capable, par sa vertu propre, de produire des effets. Il n'est pas trop de dire qu'il fait le monde social, mais à condition de ne pas oublier qu'il est fait par lui ». Pierre Bourdieu, *la force du droit* (1986)

Illustration : La troupe de vétérans de la seconde guerre mondiale « Les Amputettes » font évoluer l'image des blessés de guerre en se produisant à Washington, D.C. en février 1945.

Entre 2000 et 2005, les politiques de santé publique souhaitent diminuer les coûts de prise en charge des maladies chroniques et des incapacités et, pour cela, intégrer la pratique sportive dans le quotidien. Ils veulent la promouvoir via des campagnes de communications régulières ayant pour objectif de responsabiliser les citoyens et particulièrement les populations vulnérables et à risque [Ferez and Thomas, 2012]. La loi de 2000 (loi n°2000-627) contribue ainsi à l'accès des personnes handicapées aux pratiques sportives [Didier-Courbin and Gilbert, 2005]. Ces lois ont permis de multiplier les écoles spécialisées, comme les écoles pour les personnes sourdes ou pour les personnes aveugles, mais malgré cela les personnes en situation de handicap sont systématiquement écartées du reste de la société. En 2005 en France sur 66 millions de citoyens, c'est près de 10 % de la population handicapés, correspondant à 650 000 personnes handicapées, qui vivent en marge ou font partie des plus défavorisés. Cette même année, l'état souhaite montrer une volonté tournée vers l'intégration du handicap, et ce afin de favoriser la candidature de Paris aux J.O 2012 [Gaillard, 2007]. La loi dite « Handicap » du 11 février 2005 (loi n°2005-102) est promulguée. Elle favorise l'égalité des droits et des chances, la participation et la citoyenneté des

personnes handicapées. L'article 2, L. 114, définit le handicap de la manière suivante : « Constitue un handicap, au sens de la présente loi, toute limitation d'activité ou restriction de participation à la vie en société subie dans son environnement par une personne en raison d'une altération substantielle, durable ou définitive d'une ou plusieurs fonctions physiques, sensorielles, mentales, cognitives ou psychiques, d'un polyhandicap ou d'un trouble de santé invalidant ». Cette loi est signée par plusieurs états et c'est à l'ONU que revient la charge de vérifier son application.

La loi « Handicap » de 2005 donne une définition légale des troubles psychiques, soit l'altération des capacités intellectuelles, ce qui permet de les prendre en charge et de les différencier du handicap mental. C'est la loi en faveur du handicap la plus progressiste de l'époque, notamment en la matière d'accessibilité. L'accessibilité se généralise sur toute la chaîne du déplacement, à tous les domaines de la vie sociale (emploi, transports, éducation, bâti), et pour tout handicap. De plus, cette loi impose l'obligation de solidarité de l'ensemble de la société en ouvrant le droit à la compensation des conséquences du handicap, et ce sans critère d'âge (art. 13 loi n°2005-102). Les Maisons Départementales des Personnes Handicapées (MDPH) sont mises en place et constituent le lien entre les individus et les acteurs du handicap présents dans le département. Les MDPH ont pour but d'évaluer les besoins de chacun et d'ouvrir les droits à la compensation aux individus en fonction de leur projet de vie. Cette compensation peut être spécifique comme exceptionnelle. Elle peut prendre la forme d'adaptations techniques (logement, poste de travail, véhicule), de formations, d'aides physiques (humaines, animalières), de prise en charge des surcoûts de transport, ou encore d'aménagement des horaires de travail.

Concernant l'emploi, les entreprises publiques (nationale, territoriale et hospitalière) se retrouvent avec les mêmes obligations d'emploi d'au moins 6% de travailleurs handicapés que le secteur privé. Des incitations financières mettent sur un même plan d'égalité les Travailleurs Handicapés et facilitent leur embauche, toutefois en cas de non-respect du quota les sanctions financières s'accroissent avec des sommes allant de 400 à 1500 fois le montant du SMIC. La contribution à ces sanctions sert à financer des dispositifs d'insertion professionnelle des travailleurs handicapés dans la fonction publique [legifrance.gouv.fr].

L'arrivée de cette loi a permis la multiplication du nombre de lois et de projets en lien avec le handicap. Par exemple, les verrous qui empêchaient l'accès aux études des personnes handicapées sont progressivement levés, passant pour l'Université Lyon 1 de 40 à 500 étudiants en situation de handicap accompagnés annuellement par l'université entre 1984 et 2017 [Harker, 2017, Harker, 2018]. D'ailleurs, dès 2008, on ne parle plus de personnes handicapées mais de personnes en situation de handicap, ramenant de fait à la notion de temporalité du handicap et d'environnement. Autre exemple, alors que le nombre d'établissement assujetti à la loi de 2005 a augmenté uniquement de 2700 unités entre 2005 et 2017, le nombre de travailleurs handicapés est passé de 252 000 à 489 100. Sur cette période, le taux d'emploi à temps plein est passé de 2,7% à 3,5% dans ces établissements. L'emploi direct de travailleurs

bénéficiaires de cette obligation d'emploi est passé de 60% à 80%. Un tiers des premiers recrutements se fait en CDI en 2017, et seuls 9% des entreprises versent uniquement une contribution financière à l'État. À noter que le taux d'emploi direct varie selon le secteur d'activité, et augmente avec la taille de l'établissement [dares.travail-emploi.gouv.fr].

Depuis 2005 la loi a évolué, avec pour objectif d'étendre le droit des PSH concernant l'accessibilité au numérique en 2016 (loi n°2016-1321). En 2018, cette accessibilité en ligne a été renforcé (art. 80 loi n°2018-771), et des essais transitoires en faveur de la mobilité professionnelle et de l'aide à la transition professionnelle ont été mis en place (art. 78 et 79 loi n°2018-771). D'un point de vue sportif, la loi est victime de son succès dans les gymnases où lorsque le personnel est correctement formé c'est l'infrastructure qui montre ses limites, avec des problèmes de locaux inaccessibles et de priorité de créneaux horaires [Gaillard, 2007].

1.2.4 Handicap et éducation

La prise en charge du handicap est avant tout un reflet profond de la culture des pays, bien que certains événements géopolitiques peuvent entraver sa mise en place comme la décolonisation ou la dictature avec par exemple au Brésil la première loi en faveur du handicap qui est apparue en 1989 [Brégain, 2018]. Sur 80 millions de personnes en situation de handicap en Europe en 2014 dont 9,6 millions en France entre 15 ans et 64 ans, les stratégies d'inclusion diffèrent fortement d'un pays à l'autre sans réponses proportionnelles à leurs moyens techniques et financiers [Quintanilla Barba, 2014, INSEE, 2011, Ravaud et al., 2002]. Certains états privilégient la compensation là où d'autres préfèrent l'indemnisation, et les évolutions sociales liées au handicap transparaissent via les lois des pays, une forte législation étant symbole d'espoir pour les individus et d'une meilleure inclusion comme dans les pays au nord de l'Europe. Nous retrouvons ainsi divers traitements de la scolarisation, la formation des enseignants, l'accessibilité, ou encore l'emploi [Poizat, 2013].

Jusque dans les années 1980, les pays nordiques incarnent la normalisation et l'accessibilité [Brégain, 2018]. En terme d'éducation, certains pays ont une prise en charge majoritaire dans les classes ordinaires comme la Norvège, la Suède, l'Islande, l'Italie, Espagne, ou encore le Portugal. L'inclusion de l'enfant est prioritaire dans ces pays comme en Suède où un enfant de 6 ans non-scolarisé sera considéré comme maltraité, ou encore en Espagne où des spécialistes déterminent la scolarité la plus adaptée à chaque enfant. Certains pays ont favorisé la prise en charge par des écoles ou classes spéciales tels la Belgique, l'Allemagne, les Pays Bas, la République Tchèque et la Hongrie [Champollion, 2007, Beaucher, 2012]. D'autres systèmes présents en France, au Royaume-Uni, et en Pologne, proposent un mélange de ces deux systèmes où les parents peuvent choisir le mode de scolarisation de leur enfant selon les disponibilités (Fig. 1.8). Ainsi 20 % des enfants autistes Français sont scolarisés en école ordinaire contre 100 % en Italie [Champollion, 2007]. Des pays comme la

France ou le Royaume Uni proposent du personnel de soutien auprès de ces élèves durant les cours tandis qu'en Italie ce sont de véritables enseignants ayant reçus une formation spécialisée. En France et en Belgique, une faible qualification et pas ou peu de formation sont requis. Ainsi en France depuis 2014 les titulaires d'un diplôme de niveau 5 peuvent après 60 heures de formation devenir accompagnant des élèves en situation de handicap [gouvernement, 2019]. Avec la Suède, l'Italie a depuis 40 ans la meilleure approche en matière d'inclusion éducative, tandis qu'à l'échelle Européenne les personnes en situation de handicap ont des difficultés à effectuer des études supérieures et à trouver un emploi. De nos jours l'insertion, comme l'éducation, doit dans notre société être linéaire et lisse, les conflits étant vécus comme des signes de dysfonctionnement social alors que le frottement est nécessaire [Gaillard, 2007].

La réflexion sur le handicap passe donc avant tout par l'accessibilité. L'accessibilité est un

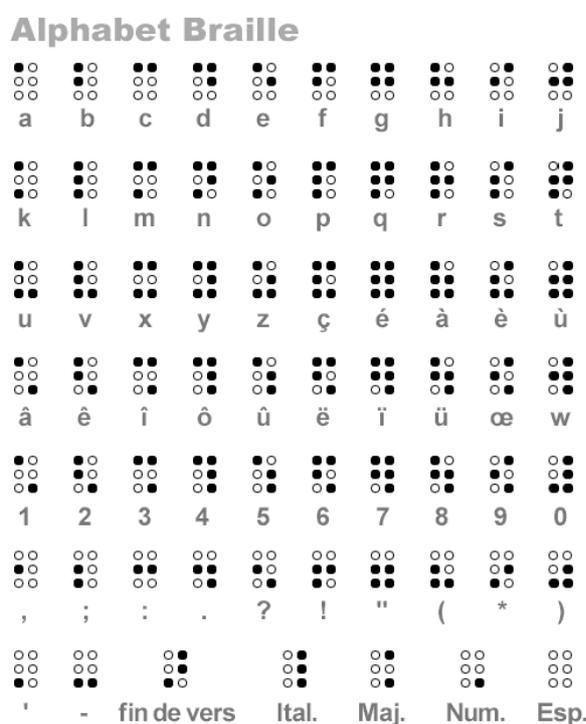


FIGURE 1.8 – « L'ouverture d'esprit ce n'est pas de nier la différence, mais de la voir et de l'accepter, que ça ne soit pas un problème ». Lucie Carrasco, Plus forte que la maladie.

Illustration : L'alphabet Braille permet de communiquer sans utiliser la vue. Popularisé en 1829, il est utilisé dans l'éducation des déficients visuels.

pilier de la qualité de vie des personnes en situation de handicap. L'environnement est le plus important facteur responsable de la difficulté rencontrée par les personnes en situation de handicap tant sur les troubles physiques et psychologiques que sur les troubles sensoriels. L'environnement physique peut être un obstacle insurmontable, tel un escalier à remonter

pour un fauteuil roulant, et les codes sociaux peuvent générer du rejet et de l'intolérance face à la différence. Par exemple une personne déficiente visuelle et diabétique perd le sens tactile de ses mains mais pas celui de sa langue. Or il est jugé inconvenable d'utiliser sa langue pour lire un livre braille en public. Autre exemple, il est mal vu en société de manger avec ses pieds pour une personne amputée des bras, et encore aujourd'hui un handicap léger comme l'albinisme peut provoquer l'exclusion voire la mise à mort de ses porteurs. De plus, il est important de prendre conscience de l'augmentation des risques de handicap due à la pauvreté et, a contrario, que le handicap est un puissant facteur de pauvreté [Levieil, 2017]. Le suivi du droit à l'accessibilité physique subit différents traitements selon que le pays favorise un modèle d'insertion, d'inclusion, ou d'intégration. Certains pays, comme l'Allemagne, favorisent l'intégration, soit l'adaptation des personnes en situation de handicap à la société telle qu'elle est structurée. D'autres, comme la France, pratiquent l'insertion où l'état institue des milieux de vie et de soin adaptés aux personnes en situation de handicap. Une troisième approche est dans l'inclusion, comme en Italie, où la diversité est la norme : un effort mutuel est souhaité, avec un effort d'intégration de la part des personnes en situation de handicap et un effort par l'état d'adaptation de la société [Plaisance et al., 2007].

Afin de favoriser les personnes en situation de handicap, les pays doivent développer simultanément les infrastructures, les formations professionnelles et le développement technologique. Si certains n'y consacrent pas assez d'argent public comme l'Espagne, l'Argentine ou le Brésil, d'autres n'en ont pas les moyens [Brégain, 2018]. Des disparités énormes existent d'un pays à l'autre ainsi qu'entre les villes au sein des pays. Là où des pays vont axer leur politique sur l'aménagement de leurs territoires comme dans les pays Nord-Européens, d'autres pays, comme le nôtre, vont rallonger l'échéance des diagnostics obligatoires de mise aux normes d'accessibilité des lieux. Ainsi, en France, en 2019, le projet de loi obligeant les logements neufs à être 100 % adaptés a été retiré des débats et après dix ans seuls 15 % des établissements recevant du public (ERP) ont adapté leurs locaux aux normes d'accessibilité de la loi de 2005 alors que ce chiffre pourrait doubler avec de faibles aménagements (barre d'appui, sanitaires, sens d'ouverture des portes) [Noël, 2012].

Des connexions entre les villes et les pays à faibles moyens permettraient d'échanger et de transférer la technologie liée au handicap, par exemple par le biais d'associations ou par la compétition. Aussi, afin de motiver les villes européennes à développer leur accessibilité, le prix de l'Access City Award a été créé en 2010. Il récompense les villes les plus actives pour devenir accessibles en Europe. Des aménagements parfois très simples peuvent en effet transformer le quotidien des personnes en situation de handicap. Par exemple, les villes peuvent aménager leurs quais de gare et métro comme aux Pays-Bas et rendre les transports en bus 100 % accessibles comme Málaga (Espagne) avec aménagements des arrêts, annonces vocales des arrêts, braille, et pictogrammes. Les villes peuvent également rendre accessible les zones historiques pavées tel Lund (Suède) avec mise en place de bandes pour fauteuils roulants. En 2020, le prix a été remporté par Varsovie (Pologne) pour son énorme investisse-

ment pour l'amélioration de son accessibilité en seulement un an. Elle succède à Breda aux Pays-Bas qui avait été choisie pour sa philosophie globale inclusive et pour son engagement continu envers l'accessibilité auprès des personnes handicapées. Lyon détient quant à elle la palme 2018. Certaines villes de France se sont en effet engagées vers le handicap (Grenoble, Evreux) toutefois beaucoup n'ont pas encore de trottoirs adaptés, ni même de bus, trams, ou métro accessibles, comme Marseille ou Paris [europa.eu, 2020].

Sachant que Paris s'apprête à accueillir les Jeux Olympiques et Paralympiques en 2024, elle sera probablement menée à repenser son accessibilité qui aura très probablement des conséquences bénéfiques pour l'emploi des personnes en situation de handicap. En effet, le taux d'emploi des personnes en situation de handicap varie selon les pays, allant en 2011 de 23,7 % en Hongrie et 29,8 % en Irlande, à des taux supérieurs à 60 % au Luxembourg, en Autriche, en Finlande. La Suède atteint même le score de 66,2 %. La France est quant-à elle à 56,2 %, soit plus que la moyenne européenne. En France actuellement, l'intégration professionnelle d'un PSH en milieu standard est faite via certains aménagements du poste de travail et de quelques primes, voire une assistance et une baisse de ces contraintes en terme de productivité. En milieu protégé, des postes peuvent être réservés dans la fonction publique. Il existe des ateliers où le taux de productivité des PSH doit au moins être égal à un tiers de celui des autres travailleurs. Leur salaire est de 90 à 100 % du SMIC pour 30 à 35h de travail et ils ne sont pas soumis au droit du travail. Pour une production inférieure au tiers, des centres d'aides par le travail (CAT) faisant partie du secteur médico-social proposent un salaire compris entre 55 et 70 % du SMIC [Stiker, 2013].

1.3 L'image de la personne en situation de handicap

1.3.1 Définition et philosophie du handicap

Le terme Handicap apparaît au XVI^e siècle en Grande-Bretagne et provient de la contraction de « Hand in cap » (la main dans le chapeau), en référence à un jeu de tirage au sort qui consiste à échanger des biens à l'aveugle (Fig. 1.9). La valeur des biens est contrôlée par un arbitre ce qui assure l'équité des chances entre les joueurs. Le handicap signifiait simplement la situation défavorable de celui qui avait tiré un mauvais lot, sans connotation péjorative [Crété, 2007, Hansen, 2015, Noël, 2012]. Cette notion d'aléa n'est pas sans rappeler la philosophie stoïcienne d'Epictète qui conseille à chacun de faire la part des choses entre ce qui dépend de soi et ce qui ne dépend pas de soi [Germain, 2016]. C'est ainsi que les points de vue médicaux et sociaux diffèrent selon les pays et les époques, avec des lois qui proviennent avant tout d'une réflexion pragmatique dans les pays Anglo-saxons là où, en France, elles découlent avant tout des mouvements sociaux.

En France au cours du XX^e siècle le terme fait référence à un manque et non plus à une

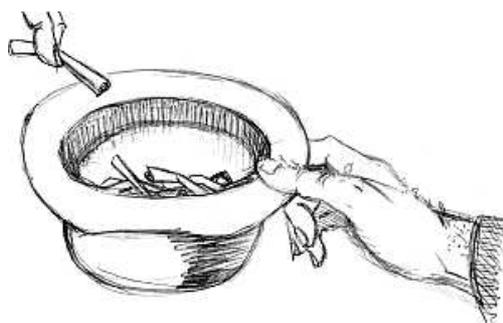


FIGURE 1.9 – Illustration, « hand in cap ».

surcharge, suite à la montée en puissance des politiques de réadaptation. L'appellation des personnes en situation de handicap passe du terme « infirme » à « invalide », soit d'un état insurmontable par nature à une absence principalement militaire de capacité à servir. Puis le substantif « handicapé » apparaît officiellement en 1957 dans les textes de loi français où il est souvent accolé au mot « travailleur ». Ce terme qui se métamorphose progressivement en « personne handicapée » met en avant un désavantage surmontable. Ce modèle médical d'appellation s'arrête sur les causes organiques et fonctionnelles du handicap et rapporte ainsi le handicap à un problème relatif à l'individu [Stiker, 2013]. Cette remise en question de l'être ramène à la notion de normalité où l'individu a une déficience qu'il faut compenser par la médecine, le soin, et les politiques de santé. La réadaptation entre alors dans le vocabulaire de l'époque. Par la suite, la critique de ce modèle médical déclenche un nouveau modèle social où c'est la société qui est handicapante, abandonnant de fait le rapport à la normalité de l'individu. Le handicap est ainsi un désavantage social dû aux préjugés et aux barrières culturelles, sociales, et institutionnelles. La responsabilité est imputée à la société qui doit compenser le handicap via des politiques d'aménagement du territoire. Il est désormais question de situation de handicap et non plus d'individu handicapé. Le handicap apparaît uniquement lorsque l'environnement n'est pas adapté, plaçant la personne en situation de handicap. Ainsi les situations de handicap pourraient se réduire grâce à des équipements adéquats favorisant l'autonomie comme les lunettes, et également grâce à des projets de lois vers le tout-accessible. Il existe plus d'une trentaine d'appellations majoritairement péjoratives pour désigner les personnes en situation de handicap. Or la sémantique peut agir sur l'intégration sociale et certains choix non-éthiques peuvent cloîtrer ces individus dans des représentations faites de préjugés et de stéréotypes. À l'inverse d'autres sémantiques comme le terme canadien « Personnes exceptionnelles » peuvent favoriser l'intégration en mettant l'accent sur la différence de manière non péjorative [Gaillard, 2007]. Toutefois le choix de retirer le politiquement correct de l'appellation en société comme choisir de se faire appeler aveugle et non pas déficient visuel permet de rappeler que derrière les mots les barrières existent toujours [Gaillard, 2007, Martin, 1997].

L'évolution de la réflexion sur le handicap en France s'observe également à travers ses lois. Le handicap en France dans la loi du 11 février 2005 a une définition très médicale et est perçu comme une limitation subie dans son environnement en raison d'un trouble de santé invalidant, durable ou non. Le curseur du handicap se place donc majoritairement sur l'individu qui est contraint par ses capacités lors de l'accomplissement d'une tâche dans un contexte donné. L'OMS en 2015 estime que le handicap est un « phénomène complexe qui découle de l'interaction entre les caractéristiques corporelles d'une personne et les caractéristiques de la société où elle vit » [www.who.int]. La notion d'environnement prend de l'importance et déplace la responsabilité du handicap vers la société, ce qui sera amplifiée par la CNUPDPH (Convention des Nations Unies pour le Droit des Personnes Handicapées) l'année suivante via sa définition du handicap comme une « pathologie de la société » incapable d'accueillir les différences de la personne [www.un.org].

Dans le domaine du sport le « handicap » est une réduction de la puissance naturelle de celui qui bénéficie de plus d'expérience ou le plus d'entraînement et, ce, dans un souci de justice. On retrouve ces dispositifs au golf ou encore dans les courses hippiques. Le sens anglais de ce mot reste sur sa notion primaire d'équité et de justice où le handicap correspondant à un frein infligé dans une épreuve à un concurrent supérieur. À l'inverse en France le handicap correspond à un désavantage subi, une inégalité injuste due à une déficience de l'individu.

Afin de corriger cette inégalité, l'OMS propose en 1980 une Classification Internationale des Handicaps (CIH) autour de trois concepts : la déficience, l'incapacité, et le désavantage. La déficience correspond à une altération physique ou à une anomalie organique ou fonctionnelle. L'incapacité reflète les conséquences des déficiences en termes d'activités fonctionnelles de l'individu, soit la perte des capacités pour réaliser des activités. Le désavantage représente les préjudices résultant de la déficience ou incapacité d'un individu soit la difficulté ou l'impossibilité de remplir un rôle social [Chapireau, 2001]. La transformation historique des modèles théoriques du handicap évolue parallèlement aux transformations de la classification sportive des Jeux Paralympiques. La classification médicale basée sur le type et la mesure de la déficience laisse place à une classification fonctionnelle selon une évaluation des aptitudes par rapport à la situation, donc la tâche sportive à effectuer [Fougeyrollas, 2002]. La classification se fait ainsi sur des équivalences physiques et non sur les communautés culturelles, gommant l'écart entre les déficiences et permettant de remanier et de diminuer les catégories sportives, touchant toutefois majoritairement les catégories des handicaps lourds et les catégories femmes [Marcellini and Villoing, 2014]. La modernité de la société occidentale est en effet basée sur l'apparence et sur l'inatteignable perfection du corps humain. Le corps humain blessé est différent, il gêne car il rappelle la « fragilité de l'existence » [Le Breton, 1992]. L'histoire du handicap et du handisport permettent de transférer l'image de ce corps humain à réparer vers un corps hybride augmenté par la bio-technologie comme les lames en carbone pour un amputé. Les premières traces de réparation du corps handi-

capé par un corps appareillé se retrouve avec la prothèse orthopédique fonctionnelle sur une momie datant de l'antiquité. Grâce à l'adaptabilité du vivant, l'appareillage redonne en effet une nouvelle autonomie à un être hybride et, comme pour les individus équipés de lunettes ou de fauteuil roulant, le corps naturel n'est plus la référence. Il est intéressant de constater que le handicap est stigmatisé alors que les greffés et les implantés sont parfaitement acceptés par la société. C'est probablement parce qu'on voit la technologie se plier pour maintenir un condition de vie pré-existante, contrairement au handicap qui oblige à modifier sa condition humaine en fonction de l'environnement. Le cyborg est, quant à lui, une première tentative de normalisation des PSH pour l'insertion. Dans la statistique du vivant, la norme est définie par la loi de Gauss qui caractérise 95 % du vivant. Or la société ne peut rejeter 5 % de sa population inadaptée qui la dérange. Elle enferme donc ces individus dans le rôle de malade.

1.3.2 Histoire du handisport

Les jeux olympiques ont repris vie en 1896 et n'ont cessé de prendre de l'ampleur et d'évoluer. Le nombre d'épreuves, le règlement, les pays participants se font reflet d'une société en transformation. Depuis les 130 athlètes internationaux des Jeux de Stoke-Mandeville de 1952, c'est 3951 athlètes qui se sont opposés aux Jeux de Pékin de 2008 [Marcellini and Villoing, 2014].

La mécanisation du travail a permis de dégager du temps pour une majorité de citoyens et, combinée à l'élan sanitaire de l'été, la pratique sportive a progressé dans toute la société depuis le XXe siècle. L'histoire du handisport commence juste avant le XXe siècle sous la poussée de la communauté sourde avec Gaston Vialatte qui organise en 1890 la toute première course autour d'un handicap, l'amicale Paris-Versailles Sourds. Il a par la suite développé des compétitions de cyclisme Sourds dont les exploits sont relatés dans leur propre journal « Le Sportman Silencieux », avec en 1900 le premier championnat de France de cyclisme sourds. La prise d'ampleur par discipline qui suit est telle que le premier club français omnisports pour handicapés est fondé en 1910 sous l'appellation Club Sportif des Sourds-Muets de Paris. Eugène Rubens-Alcaïs fondera par la suite avec Mr. Vialette la Fédération Sportive des Sourds-Muets de France (FSSMF) en 1918. De grands événements sportifs mondiaux ont aidé à promouvoir le handicap grâce au sport, notamment le sport sourd, avec les « Silent Games » organisés par la FSSMF en prélude aux Jeux Olympiques de Paris de 1924, où 148 athlètes malentendants de neuf nations s'affrontent dans sept disciplines, à savoir l'athlétisme, le cyclisme sur route, le football, la natation, la plongée, le tennis, et le tir. Ces jeux seront également reconduits tous les quatre ans et dirigés par un comité, appelé de nos jours International Committee of Sports for the Deaf (ICSD). Ils seront suivis en 1927 de la création du Comité International des Sports Silencieux (CISS) [Ruffié and Férez, 2013].

Le neurochirurgien anglais Ludwig Guttmann fonde à la demande du gouvernement britannique un des plus grands centres de traitement des blessés médullaires en Europe à l'hôpital de Stoke Mandeville (UK) en 1944. Afin de réhabiliter les blessés de guerre paralyés moteurs souvent jeunes, dont les pilotes de la Royal Air Force, il développe une thérapie basée sur le sport pouvant favoriser à la fois leur réhabilitation physique, psychologique et sociale. Galvanisé par la thérapie la plupart de ses patients ont pu rentrer chez eux et même reprendre leur emploi antérieur. Fort de son succès, le Dr. Guttmann élabore en 1948 les Jeux internationaux de Stoke Mandeville (Fig. 1.10) afin de revaloriser l'image du blessé de guerre [Ruffié and Férez, 2013]. La reconnaissance sociale du sportif étant plus élevée que celle de la personne handicapée, un intérêt naît dans la population notamment chez les personnes en fauteuil. L'athlétisme se trouvait alors déjà parmi les disciplines proposées. Ces « Jeux Olympiques des Paralysés » sont un succès et seront suivis l'année suivante par les premiers Deaflympics d'hiver à Seefeld en Autriche. Grâce aux réseaux et au financement de l'AMSF et des mairies de guerre, comme les veuves des maréchaux Leclerc et De Lattre, les pratiques sportives ont connu un départ foudroyant en passant de 700 à 5000 membres en quatre ans. Les pratiques ont essaimé dans tout le pays [Noël, 2012]. Dès 1951 des compétitions en fauteuil roulant et des structures adaptées se développent et en 1954 ça n'est pas moins de 14 nations qui sont représentées aux Jeux de Stoke Mandeville. Lors des 4e Jeux de Stoke Mandeville 200 paraplégiques de 18 nations seront présents dont 13 paralyés de France soutenus par l'état (Fig. 1.11).

L'augmentation de la médiatisation des Jeux Paralympiques depuis ces débuts en 1960 avec l'arrivée de la télévision et du direct favorise l'engouement pour les compétitions sportives internationales. La pratique sportive chez les personnes en situation de handicap acquiert ainsi une renommée internationale. Ce succès pousse à la fondation de l'Association Sportive pour les Mutilés de France (ASMF) en 1954 qui propose la pratique de nombreuses disciplines sportives pour tout handicap [Ruffié and Marcellini, 2013], et les 9e Jeux Internationaux de Stoke Mandeville sont accueillis par les Jeux Olympiques d'été de Rome en 1960. Cette « Olympiade des infirmes » d'après l'UNESCO est restée dans l'histoire comme les premiers Jeux Paralympiques d'été, et elle a contribué pour beaucoup à l'acceptation et à la reconnaissance des personnes en situation de handicap. Néanmoins, si l'évènement a attiré l'œil sur le handicap beaucoup de chemin reste à parcourir pour l'inclusion. La première organisation dédiée au sport pour les handicapés physiques est créée en 1963 et est nommée Fédération Sportive des Handicapés Physiques de France (FSHPF). Elle sera renommée Fédération Française de Sports pour Handicapés Physiques (FFSHP) en 1968 afin de montrer son rattachement au ministère des sports. Au fur et à mesure des compétitions et par la volonté affichée des organisateurs, le nombre de participants a été multiplié par dix et des clubs se forment au handisport dans tout le pays [Noël, 2012]. Des huit sports initiaux regroupant 400 participants qui cumulaient les disciplines sportives, 23 de ces sports



FIGURE 1.10 – «Jusqu’alors, le problème était sans espoir, car il fallait non seulement sauver la vie de ces hommes, femmes et enfants paraplégiques et tétraplégiques, mais encore il fallait leur redonner leur dignité et en faire des citoyens heureux et respectés». Ludwig Guttman (1899-1980), *The signifiante of Sport in the Rehabilitation of the Disabled*, ISRD Proc.

Illustration : Ouverture des Jeux de Stoke Mandeville en 1956.

ont regroupé plus de 4000 handi-sportifs aux derniers jeux de 2016. L’engouement du public pour les jeux paralympiques offre une reconnaissance sociale à la personne en situation de handicap qui se définit alors comme un « sportif en situation de handicap » et non plus comme « personne handicapée ». La forte appétence pour le sport des personnes en situation de handicap a entraîné la multiplication des disciplines et surtout la création de prothèses et d’équipements toujours plus compétitifs et plus adaptés à chaque sportif. La montée des enjeux diminuant le fair-play dans la pratique, dès 1969, un contrôle médical est nécessaire pour la catégorisation sportive selon un coefficient de handicap. La pratique reste toutefois conviviale avec un esprit d’entraide avec des annonces de liens sociaux dans les magazines dédiés au handisport (« AMSF magazine », « Second souffle ») comme des recherches de partenaire d’activité, des demandes de prêt de matériel, ou des échanges de bons procédés comme des échanges de chaussures chez les amputés de jambes opposés [Noël, 2012].

La séparation des catégories dans les épreuves par déficience est le résultat d’une conception médicale où handicap et déficience sont perçus comme des synonymes [Ruffié and Marcellini, 2013]. Cet esprit médical à visée réadaptative enferme alors avec autorité, paternalisme, et probablement condescendance l’athlète dans le rôle d’éternel patient. Le PSH n’est alors qu’un corps morcelé devant être réparé en compensant le déficit jusqu’à atteindre le modèle physio-fonctionnel normal. La décennie 1970 marque toutefois la fin de la pratique sportive axée sur la rééducation et l’autogestion pour une



FIGURE 1.11 – « Seuls les athlètes en fauteuil roulant pouvaient participer aux Jeux de Rome alors même que le village paralympique n’était pas accessible. Il y avait des escaliers dans chaque bâtiment. Aussi, des militaires italiens montaient et descendaient les fauteuils à chaque étage »

Illustration : épreuve de javelot de Stoke-Mandeville.

période plus élitiste gérée par les organisations handisport et tournée vers la compétition et l’organisation pour autrui [Barral et al., 2000]. Les réseaux politico-militaires des anciens combattants perdent aussi de l’influence ce qui permet la création d’une catégorie dame et la fin des annonces des décorations militaires des médaillés tout en maintenant une aide au transport, à l’hébergement et à l’équipement en fauteuil pour les compétitions [Noël, 2012]. La pratique physique s’intensifie et les structures internationales sont utilisées afin de se conformer aux épreuves. Les sports sont portés par leur pays ce qui relancent la compétitivité internationale. Une course à l’équipement et au recrutement des meilleurs espoirs se déroule alors dans les pays participants cherchant à décrocher la victoire afin de montrer leur supériorité technologique et humaine. L’ensemble du pays est mis à contribution via la participation des industriels, des chercheurs, et des équipes sportives.

La France souhaite ainsi se placer à la tête des événements internationaux multi-sports. Elle organise des compétitions officielles comme en 1970 les premiers Jeux Mondiaux des handicapés physiques de Saint-Étienne (Fig. 1.12), bien que cet événement s’adresse davantage à la masse qu’aux élites [Noël, 2012]. L’idée que la réinsertion sociale passe par la mixité sportive entre valides et non-valides fait son apparition et le handisport entre dans la recherche de performance afin de se mesurer aux valides. Cette sportivisation pose la question de l’intégration des différents handicaps au sein du sport de haut niveau. La Fédération Française du Sport Adapté (FFSA) voit le jour en 1971 tandis qu’une

mésentente au sein de la FFSHP sur divers points d'organisation donne lieu à la création d'une nouvelle fédération en 1972, la Fédération Française Omnisports pour Handicapés Physiques (FFOHP). La FFSHP est une institution centralisée, composée d'invalides visant prioritairement les championnats, tandis que la FFOHP regroupe des organisations locales, plus jeunes, cherchant d'abord la médiatisation. La présence de deux institutions contribuera à augmenter le dynamisme du handisport [Marcellini and Villoing, 2014, Noël, 2012]. S'ensuit une période de multiplication des clubs en lien avec le handicap. Le nombre d'inscrits, d'activités et la renommée du handisport explosent. Des commissions tentent alors d'uniformiser les règlements sportifs et la pratique fédérale, notamment avec des brevets sportifs et des diplômes pour les animateurs. Des campagnes de communication, avec des démonstrations pour le grand public et les sportifs valides et des pratiques sportives mixtes, sont conduites sur cette période. Cela contribuera grandement à transformer les représentations sociales du handicap et questionner sa place, même au sein des activités physiques à l'école [Noël, 2012]. Les événements sportifs ne cessent de grossir et de s'équiper pour accueillir les athlètes. Les premiers Jeux Paralympiques d'hiver ont lieu en Suède en 1976. Les deux fédérations FFSHP et FFOHP seront à nouveau réunies en 1977 sous une nouvelle bannière encore en vigueur aujourd'hui, la Fédération Française Handisport (FFH). Parallèlement la Fédération Internationale des Jeux de Stoke-Mandeville prend pour logo trois roues de fauteuils se chevauchant (Fig. 1.13) ainsi que la devise « Fraternité, Unité et Sportivité ».

Bien que les amputés aient historiquement initié le mouvement sportif, les Jeux Paralympiques (J.P) ont été, jusqu'en 1976, réservés aux paralympiques moteurs nommés les « Kings ». La lutte des amputés pour leur participation aux Jeux Paralympiques a payé et a été suivie par les Infirmes Moteurs Cérébraux (IMC) en 1980. Les objectifs diffèrent cependant selon les époques et les handicaps. Des tensions internes apparaissent et en 1980 les déficients visuels acquièrent de l'autonomie en se séparant du mouvement. Durant cette décennie, et jusqu'à la fin du siècle, la culture sportive se diversifie et deux philosophies se déploient entre le sport récréatif ludique pratiqué en masse et la pratique compétitive galvanisée par l'acceptation du statut de haut niveau chez les athlètes des J.P [Noël, 2012]. Le sport adapté et le handisport ont ainsi respectivement des aspirations humanistes et élitistes [Gaillard, 2007]. De nouvelles pratiques sportives se développent et de nouveaux usagers arrivent favorisés par des politiques publiques d'aménagement du territoire qui donnent un cadre à cette pratique. Ainsi des parcours santé avec appareils de sport sont installés dans de nombreuses villes, et l'offre de salles de sports et de cours de remise en forme explose [Travaillot, 1998]. Les motivations de la pratique physique évoluent progressivement avec les sociétés européennes actuelles qui sortent de l'aspect éducatif de la pratique physique et écartent le désir de compétition en faveur du loisir et le culte du corps esthétique et en bonne santé. Avec des engagements territoriaux combinés à la métamorphose des désirs actuels le tourisme sportif se développe, favorisé par des rencontres sportives internationales. De



FIGURE 1.12 – « Plus jamais en France un stade, une piscine, une salle de sports qui ne soient construits sans être aménagés pour les sportifs handicapés ».

Joseph Comiti, secrétaire d'État de la Jeunesse, des Sports et des Loisirs, 1970.

plus, cela encourage la diversification du public avec une augmentation du nombre de pratiquant.e.s, femmes et individus hors des âges d'accès aux compétitions.

Les centres d'accueil, qui n'offraient jusqu'alors que des offres rééducatives médicales, proposent désormais des offres sportives ce qui a permis l'essor de perspectives compétitives et de haut niveau comme les Jeux Paralympiques qui prennent de l'ampleur et modifient les représentations sociales du handicap en en renversant les stigmates [Marcellini and Villoing, 2014]. Toutefois, les personnes en situation de handicap restent à part et sont absentes de l'histoire du sport mais également de l'histoire du handicap [Stiker, 2013]. Tous les handicaps ne sont pas admis, ou souhaitent protéger la reconnaissance de leur identité sociale. Aussi les personnes sourdes créent en 1983 leur propre compétition, l'European Deaf Sport Organisation (EDSO), tandis que toutes les organisations de handisport international sont regroupées en 1989 sous l'International Paralympic Committee (IPC). À partir des Jeux d'été de Séoul de 1988 et des Jeux d'hiver d'Albertville de 1992, les sites sportifs paralympiques sont les mêmes que les Jeux Olympiques [Ruffié and Férez, 2013]. Une évolution des mentalités dans le handisport au cours de la décennie 1990 favorise la recherche du record par les athlètes qui ne craignent plus d'être considérés comme des bêtes de foire. La pratique handisportive se professionnalise, avec un développement des méthodes d'entraînement et des outils de

compétitions, et se rapproche naturellement de la pratique valide. Certains handi-sportifs craignent une absorption du handisport par le sport valide qui serait alors institué et mis sous assistance. Ceci pourrait à la fois masquer les différences, les valeurs et l'identité du handicap, et entraîner une comparaison des performances nuisible aux handi-sportifs [Stiker, 2013]. D'autres souhaitent cette absorption pour contribuer à faire avancer les luttes sociales, et le cas de l'athlète amputé Oscar Pistorius champion d'athlétisme Sud-Africain courant avec des valides souleva ce débat dans les années 2010 [Noël, 2012]. En effet, pour beaucoup de handi-sportifs de haut niveau, un premier enjeu est de participer aux Jeux Olympiques (J.O) pour la reconnaissance et pour affronter les valides. Aussi les PSH souhaitent se perfectionner en cours spécifiques au handisport pour ensuite se confronter aux valides. Le souhait de participation aux J.P est secondaire, bien que la tendance évolue avec leur médiatisation et leur reconnaissance [Marcellini and Villoing, 2014]. Ils expriment une envie de sports partagés et de challenges multisports qui pourraient se concrétiser avec le transhumanisme. Le transhumanisme prône l'usage des sciences et des techniques pour augmenter les capacités physiques et mentales de l'être humain. L'arrivée d'humains augmentés grâce aux améliorations technologiques dans les compétitions oblige à repenser les catégories et leurs séparations. Une possibilité d'avenir est alors la création d'épreuves communes entre valides et PSH, voire la disparition progressive des épreuves séparées dans le sport de haut niveau. Une autre approche peut être de les inclure aux épreuves existantes comme Oscar Pistorius et ses lames en carbone, leurs résultats pouvant être équivalents ou supérieurs aux valides. La présence de ces dispositifs pourraient néanmoins être considérées comme du dopage technologique [Noël, 2012].



FIGURE 1.13 – Logo des Jeux Paralympiques.

Tout comme le nombre de clubs sportifs au sein de la FFH, les épreuves mondiales spécialisées selon le handicap se sont multipliées. Les premiers Deaflympics de 1924 ont

été suivis par les World Wheelchair and Amputee Games en 1948 puis par les Special Olympics de 1968, et enfin les Dwarf World Games 1993. Lors de cette décennie 1990 l'intérêt pour le sport prend des enjeux internationaux et les états investissent dans la recherche de matériaux afin de remporter les médailles d'or aux Jeux Olympiques. Bien qu'encore largement délaissé au profit du sport valide, l'univers paralympique gagne en reconnaissance, donc en communication et en soutien financier. En 2002 les Championnats du monde d'athlétisme accueillent 2 000 participants, dont 1 200 athlètes venus de 80 pays. Cet évènement est le plus grand championnat du monde jamais organisé en France et met en avant le droit à l'accessibilité et au ludisme. L'IPC souhaitant gagner en sérieux et en lisibilité supprime les épreuves les moins courues et simplifie les catégories des sports d'hiver qui passent de 92 titres décernés aux olympiades de 2002 à 64 en 2010 [Noël, 2012]. C'est en cette période, pour les Jeux de 2008, que les villes candidates doivent associer entièrement Jeux Olympiques et Paralympiques, que les sites et les hébergements soient les mêmes, que les frais d'inscription et de déplacement soient pris en charge. La naissance de la FFH en 2008 marquera la fusion des deux associations majeures sur le handicap ce qui favorisera les chances de victoires françaises. A cette époque, les personnes déficientes auditives évoluant jusque là en système clos sont associées en 2009 à la FFH sous l'injonction du ministère de tutelle de la FFH, le ministère des sports [Ruffié and Férez, 2013]. Les liens entre la FFH et l'État sont tels que les politiques publiques ont un impact direct sur l'évolution des pratiques sportives de la FFH [Marcellini and Villoing, 2014]. La logique d'État est à l'intégration de tous types de déficiences. Les athlètes déficients intellectuels s'ajoutent en 2010 à l'équation et participeront aux Jeux de Londres en 2012 [Séguillon et al., 2013]. La distinction française entre le handisport et le sport adapté aux troubles psychiques ou intellectuels s'amenuise dès lors [Marcellini and Villoing, 2014]. L'intégration de la Fédération Française du Sport Adapté (FFSA) aux J.P pose toutefois la question de la représentation du handicap dans le sport. En effet, il y a une crainte de certaines communautés de handicap de réduire l'importance du handicap par le sport, et à l'inverse tous les handi-athlètes ne se reconnaissent pas dans la définition du handicap [Stiker, 2009, Marcellini and Villoing, 2014]. La communauté sourde ne souhaite pas rejoindre les Jeux Paralympiques car elle ne se reconnaît pas dans le terme handicap [Marcellini and Villoing, 2014]. Ils ont leurs propres jeux mondiaux avec les Deaflympics où ils ne craignent pas de se sentir exclus par la communication parlante ou d'être défavorisés par l'absence de signalétique visuelle pour les départs de courses [Noël, 2012].

La médiatisation du handisport mettant l'athlète avant le handicap modifie la perception de la personne en situation de handicap par les valides, qui reconnaissent ces athlètes comme des sportifs avant d'être des PSH [Pappous et al., 2011, Héas et al., 2012]. Les athlètes ont ainsi été mis en avant dans la communication autour des J.P de Londres de 2012, par exemple avec des bandes-annonces, ce qui a créé un engouement sans précédent pour le public : les bancs des spectateurs ont été complets [Les échos 31/08/2012, les J.P

les plus suivis de l'histoire]. Les Jeux de Rio ont ainsi rassemblé un tiers des audiences des J.O en France, avec un pic d'audience lors des épreuves d'athlétisme de Marie-Amélie Le Fur.

Étymologiquement, le terme « Sport » vient de l'ancien français *desport*, « jeu, amusement », lui-même tiré du latin *deporto* signifiant « emporter d'un endroit à un autre ». L'appellation « handi-sportif » représente aujourd'hui les athlètes ayant un handicap physique ou sensoriel [france-paralympique.fr]. Le terme français « Handisport » provient de la contraction de « Handicap » et « Sport », et est rattaché uniquement à l'activité d'une fédération sportive, la Fédération Française Handisport (FFH). De par sa place historique dans le handisport, la FFH s'occupe traditionnellement des activités sportives de loisir et de compétition dans le cadre des handicaps moteurs et sensoriels. La FFH est encore délégataire de nombreux sports réservés aux personnes en situation de handicap moteur (basket fauteuil, escrime fauteuil, boccia, rugby fauteuil, ou encore tir à l'arc). De même, la Fédération Française du Sport Adapté (FFSA) est généralement délégataire pour le public en situation de handicap mental. Les fédérations délégataires, olympiques ou non, sont sous la juridiction du ministre de la jeunesse et des sports et organisent les compétitions sportives.

Les séparations entre handicaps reculent, l'État et les fédérations travaillent à réduire la séparation entre valides et handicapés. Les programmes scolaires de 1998 permettent des pratiques sportives entre les enfants handicapés et valides, avec notamment l'athlétisme. Dans le même objectif de rapprochement, les Championnats de France Handisport d'athlétisme de 2004 ont lieu simultanément avec les Championnats de France des jeunes valides. La proximité entre l'Olympisme et le Paralympisme pousse à une organisation commune des fédérations sportives de mêmes disciplines. C'est ainsi que la Fédération Française de Tennis est désormais en charge du tennis fauteuil, tout comme les Fédérations Françaises de Badminton, de Tir et d'aviron sont respectivement en charge du Para badminton, du Para tir sportif et de l'Aviron pour les personnes en situation de handicap physique ou sensoriel. Plusieurs fédérations de la même discipline travaillent conjointement avec la FFH et la FFSA, comme la Fédération Française d'Athlétisme et celle de Canoë-Kayak. Certains ont le rôle de délégation, tandis que d'autres proposent des événements accueillants tous publics lors d'organisation d'événements de leurs disciplines.

La transformation de la prise en charge du sport dédié au handicap passe également par une évolution du langage. Le terme anglophone « Parasport », utilisé internationalement, est mis en avant comme référence à la pratique compétitive dont les Jeux Paralympiques. Employé également en loisir, ce terme désigne les sports pratiqués par les personnes en situation de handicap et les regroupent par disciplines (para cyclisme, para triathlon, etc.) [france-paralympique.fr]. L'expression « Parasport » est plus généraliste et permet d'englober la pratique sportive des personnes en situation de déficience intellectuelle, absente de la FFH. Le terme « Parasport » est donc principalement utilisé par les fédérations sportives qui

ont eu une délégation ministérielle française ou à l'internationale pour gérer ces disciplines. Les athlètes représentant la France aux Championnats du Monde sont désormais nommé « Para-athlètes », le suffixe Para provenant du grec ancien $\pi\alpha\rho\alpha$ qui signifie ici « parallèle ».

De nos jours, bien que l'accès à la pratique sportive soit inégalitaire à travers les territoires, le sport se démocratise. Parmi les adhérents de la FFH c'est le nombre de cadres et de femmes, en situation de handicap ou non, qui a le plus augmenté [Marcellini and Villoing, 2014, Ruffié and Férez, 2013]. D'après les chiffres de l'INSEE, 3 415 000 personnes en situation de handicap âgées de 10 à 64 ans pourraient pratiquer du sport [Marcellini and Villoing, 2014]. Or elles sont 60 % de pratiquants non-déclarés contre 20 à 23 % de pratiquants à la FFH, et parmi eux 32 % de pratiquants sont des valides aidant ou accompagnant de personnes en situation de handicap. Il y a également un effet d'âge, avec 65 % de licenciés de moins de 18 ans contre 83 % des plus de 29 ans, et un effet de lieu avec une plus importante participation dans les grandes agglomérations et dans les lieux historiques du handicap (comme l'influence de la présence de centres de réadaptation à Berk-sur-mer). Parmi les pratiquants, nous retrouvons également 22 % d'Infirmes Moteurs Cérébraux (IMC), 12 % de déficients auditifs, 12 % de déficients visuels, 11 % ayant des troubles neurologiques, 10 % de paralysés moteurs, 4 % d'amputés et 3 % de personnes atteintes de poliomyélite. Les amputés, initiateurs historiques du mouvement sportif, sont minoritaires comme pratiquants mais nombreux parmi les dirigeants de la FFH, probablement à cause d'un effet d'âge ou d'un jeu de conservation de pouvoir. La hiérarchie des positions institutionnelles dans l'univers du handicap est à l'image du monde des valides avec une prédominance masculine et une hiérarchie selon les capacités de déplacement physique de chacun. Les cadres valides ont ainsi des postes plus avantageux que les cadres en fauteuil, qui eux-mêmes devancent les cadres en fauteuil électrique [Marcellini and Villoing, 2014]. De plus y a une plus faible présence de personnes à déficience lourde, la déficience étant un frein à la pratique. En effet, une incapacité légère réduit l'activité sportive de 38-39 % pour des individus d'âge et de catégorie socio-professionnelle égaux. Les compétitions sont quant-à elles privilégiées par les 19-38 ans, par une grande majorité d'hommes, et par les femmes licenciées cadres. Les femmes sont plus nombreuses et plus âgées, et les femmes valides sont préférentiellement en loisirs (37 %). Néanmoins leur présence en établissement spécialisé favorise la pratique sportive des jeunes femmes [Marcellini and Villoing, 2014].

Bien que chacun ait ses goûts et ses capacités propres, l'appétence pour les sports varient également en fonction de la construction culturelle, identitaire, et historique du handicap [Marcellini and Villoing, 2014]. La tendance est actuellement à l'augmentation de la pratique de sports adaptés naturels comme la randonnée ski ou le char à voile. Le handisport présente aujourd'hui des enjeux institutionnels, de pouvoir, idéologiques, éthiques, identitaires, sociaux et politiques de la place du PSH dans la société [Marcellini and Villoing, 2014]. Plus un pays est évolué vers le handicap, plus il organise des entraînements et des compétitions



FIGURE 1.14 – « Il faut pour cela que le handicap soit moins dans le compassionnel et plus dans le réalisme et le pragmatisme, au sens anglo-saxon, qui envisage la personne au-delà de sa différence, et qui va de pair avec un aménagement des contraintes qu'il faut vaincre pour vivre comme toutes les personnes» [Ripoll, 2016].

Illustration : Sue Austin faisant de la plongée sous-marine dans un fauteuil roulant auto-propulsé.

mixtes. Cela permet d'améliorer la technique et la pratique. En plus d'une revanche chez les handicapés acquis elle offre un sentiment d'accomplissement de soi chez les PSH en leur permettant de se battre avec les valides et, une confirmation de leur statut de sportifs. La représentation culturelle du handicap est en lien avec l'organisation sociale et fonctionnelle du handicap et déteint sur l'intégration des PSH dans le sport et la vie quotidienne. L'inclusion du handicap dans les pays anglophones est telle que le handisport est perçu comme un sport classique. Cela se retrouve également dans le langage : les pathologies biologiques sont appelées « disease », les troubles ressentis par l'individu « illness », et les maladies comme rôle social avec la sensation ou le fait d'être malade est dit « sickness ». La divergence culturelle des pays anglo-saxons avec la France est impressionnante, avec par exemple des gradins payants remplis aux J.P contre des gradins gratuits vides pour les compétitions internationales d'athlétisme de Lyon. Le sentiment des athlètes est que dans le relais de l'information, la dramaturgie est préférée à la compétence physique. Un changement de représentation et une variation culturelle seront nécessaires pour entraîner un changement du traitement médiatique (Fig. 1.14) [Ripoll, 2016].

1.3.2.1 Histoire de l'athlétisme

L'histoire de l'athlétisme dans le domaine du handicap démarre en 1924 avec les premiers Jeux mondiaux d'athlétisme pour Sourds à Paris. Des rencontres nationales ont lieu en 1958 et en 1960 les épreuves d'athlétisme des premiers Jeux Paralympiques d'été de Rome comprennent également les épreuves de javelot. Le niveau d'athlétisme est suffisamment poussé en France pour que, lors de J.O de Tokyo de 1964 où la sélection de sportifs est restreinte pour des questions financières, la délégation envoyée compte des athlètes en fauteuil. Pour pratiquer l'athlétisme à haut niveau en 1968 la démarche est longue et chaque athlète doit passer devant une commission Sportive Spécialisée dans l'athlétisme, trois commissions techniques (encadrement, documentation, règlement et discipline), et avoir l'accord du comité médical faisant partie du Comité International des Jeux de Stoke Mandeville. C'est toutefois une activité montante à l'époque et l'entraîneur national pousse à la spécialisation des compétiteurs [Noël, 2012]. En 1969 le soutien financier de la fédération est orienté vers les disciplines ayant le plus d'attrait auprès des sportifs handicapés, dont l'athlétisme, et en 1971 il ne subsiste que 16 des 25 disciplines pratiquées en 1965. L'athlétisme est pratiqué dans les deux fédérations de l'époque et sa popularité est telle que pour appuyer leur demande d'intégration aux Jeux et lutter contre les discriminations dans le Handicap des sportifs amputés ont stoppé les épreuves d'athlétisme des Jeux Paralympiques de Heidelberg via un sitting sur la piste [Noël, 2012].

Sous l'impulsion de la FFH des formations d'état et des stages sportifs se développent autour des 14 disciplines conservées dans le but de préparer au mieux les J.O d'Arnhem de 1980. A partir de 1982 les coefficients sportifs pour les compétitions d'athlétisme sont désormais calculés selon trois critères : les résultats nationaux et internationaux en épreuves ouvertes depuis 1972, la performance moyenne des athlètes dans les épreuves ouvertes, et un coefficient déduit de cette moyenne et du record de France valide. Les athlètes sont séparés selon la classification du handicap et les épreuves d'athlétisme des jeux paralympiques comprennent dix-sept disciplines dont des épreuves de course sur piste de différentes longueurs ou avec relais, des courses sur route type marathon, et également des épreuves de saut et de lancer. Les épreuves sont séparées en six catégories de handicap puis classées selon la gravité du handicap. Ainsi les amputés ou assimilés font partie de la catégorie 4 et ceux effectuant la course d'athlétisme fauteuil ont un handicap compris entre 2 et 7. Les athlètes atteints à la moelle épinière sont classés dans la catégorie 5 qui est séparée en quatre degrés de handicap.

La retransmission télévisuelle de la démonstration d'athlétisme fauteuil sur 1500 m lors des J.O de Los Angeles de 1984 sert à la reconnaissance par les valides des handi-sportifs dans la société et dans les courses sur route. La notoriété de l'athlétisme fauteuil lui permet de suivre les mêmes développements que les sports valides sur une très courte période.

Classification du handicap en athlétisme sur piste (T)			
	Nombres de catégories	Catégories	Type d'incapacité
Courses et sauts	20	T11-13	Handicap visuel
		T20	Handicap Intellectuel
		T35-38	Altération de la coordination
		T40-41	Petite taille
		T42-44	Membre inférieur affecté (insuffisance de membre, différence de longueur de jambe, puissance musculaire ou amplitude de mouvement passive altérée) sans prothèse pour la compétition
		T45-47	Membre(s) supérieur(s) affecté(s) (déficience, diminution de la puissance musculaire ou altération de la mobilité passive)
		T61-64	Membre(s) inférieur(s) affecté(s) (insuffisance de membre, différence de longueur de jambe) avec une prothèse pour la compétition
Course en fauteuil		T32-34	Altération de la coordination (hypertonie, ataxie et athétose)
		T51-54	Insuffisance des membres (différence de longueur des jambes, altération de la puissance musculaire ou altération de la mobilité passive)
Détails des courses en fauteuil	7	T32	Altération modérée à sévère des quatre membres, contrôle du tronc médiocre. Généralement un peu plus de fonctions d'un côté du corps ou des jambes. Lancement et propulsion difficiles.
		T33	Altération modérée à sévère de trois à quatre membres. Généralement contrôle fonctionnel presque complet du bras le moins altéré. Propulsion vers l'avant affectée par une asymétrie importante dans l'action du bras et / ou une très mauvaise saisie et libération dans une main et un mouvement limité du tronc.
		T34	Altération des quatre membres. Résistance fonctionnelle passable à bonne des bras et du tronc, prise en main. Relâchement et propulsion relativement symétriques.
		T51	Puissance musculaire absente du tronc et faible dans les épaules. Difficultés à redresser les coudes pour la poussée et la propulsion. Propulsion par traction des muscles fléchisseurs du coude et des extenseurs du poignet.
		T52	Puissance musculaire faible à complète dans les doigts. Propulsion avec les muscles de l'épaule, du coude et du poignet. Puissance musculaire du tronc généralement absente.
		T53	Pleine fonction des bras, aucune activité musculaire abdominale ou inférieure
		T54	Pleine puissance musculaire supérieure des bras et une partie du tronc. Fonction possible dans les jambes.

FIGURE 1.15 – Tableau de catégorisation du handicap.

Avec les premières primes de course la compétition remplace progressivement l'amateurisme et la pratique pour le bien-être. Une stratégie de recherche de sponsors est mise en place pour augmenter les plages d'entraînement et gagner les compétitions. La France gagne très souvent des médailles en athlétisme notamment grâce à Mustapha Badid dit « Le Crabe », quintuple médaillé d'or de 1988 à 1996, et à Claude Issorat, septuple médaillé d'or de 1992 à 2000. Très plébiscitées, les épreuves d'athlétisme sont présentes à chaque manifestation sportive internationale, de la méditerranée à l'Amérique du sud. Présent aux Jeux de Stoke Mandeville, aux Championnats Européens, et aux Jeux Internationaux Handisport, l'athlétisme regroupe un panel de déficients moteurs de tous pays du paraplégique à l'amputé en fauteuil depuis les années 2000 [Noël, 2012]. Des démonstrations sont faites régulièrement afin de promouvoir le sport de haut niveau des personnes handicapées et perdureront jusqu'en 2004. A cette époque les épreuves lors de ces compétitions sont les 100 m amputés hommes et femmes, les 400 m IMC hommes et femmes, et les 800 m fauteuil femmes et 1 500 m fauteuil hommes. Actuellement l'athlétisme comprend le plus grand nombre d'épreuves avec une grande variété des compétitions régionales à internationales. Elle comporte des

épreuves de courses sur piste avec sprint (100 m, 200 m, 400 m), demi-fond (800 m, 1 500 m), fond (5 000 m, 10 000 m), courses de relais (4 x 100 m), et aussi des courses sur route, avec marathon, semi-marathon, et 10 Km. L'athlétisme comprend également des épreuves de saut en hauteur, de saut en longueur, de triple saut, et des épreuves de lancer de disque, de poids, de massue, ou encore de javelot.

Les athlètes en fauteuil font partie des catégories allant de 31 à 34 et de 51 à 54. Le poids des fauteuils varie de 8 à 10 kg pour une longueur de 170 à 185 cm. Il est possible d'avoir plusieurs types de roues : à rayons, à bâtons ou lenticulaires. Aujourd'hui les athlètes préfèrent les roues lenticulaires en carbone qui seraient plus performantes. Les poussées faites sur les mains courantes permettent d'accroître la vitesse, et en compétition les athlètes peuvent atteindre les 36 km/h. Les athlètes utilisent des gants durs ou mous souvent fabriqués artisanalement. Lors d'une course d'athlétisme huit athlètes sont au départ et leur objectif est de parcourir le plus rapidement possible la distance de la course choisie, soit 100 m, 500 m, ou 1500 m, le premier remportant alors le titre. Les records du monde de la discipline sont dans la catégorie T34 de 17,19 seconde en 100 m pour la Britannique Hannah Cockroft et de 51,86 secondes en 1500m pour la catégorie T53/54 par Joël Jeannot en 2004. Bien que la France reste très présente dans la compétition avec 235 licences d'athlétisme la domination chinoise devient écrasante en compétition internationale. Aussi pour améliorer ses scores de handisport, le pays se consacre financièrement à l'athlétisme, à la natation, et au tennis de table. Les résultats sont payants aux J.O de 2012 et aux Championnats du monde d'athlétisme de 2013. Les champions paralympiques des J.O sont décorés par l'État comme membres de la légion d'honneur et ils gagnent des trophées et des prix. La reconnaissance des athlètes en situation de handicap est très puissante, d'autant plus qu'elle est accompagnée d'actions pour promouvoir le sport (Fig. 1.16).

Jusque dans les années 1980 les personnes en situation de handicap motivées pouvaient avec un peu de pratique, devenir des compétiteurs de haut niveau. De nos jours avec la professionnalisation du sport et du handisport se sont 15000 athlètes qui s'affrontent aux J.O, contre 4000 aux J.P sur 6000 compétiteurs répartis selon la discipline olympique, leur sexe, leurs capacités physiques, et parfois selon leur poids. Vu la taille du microcosme handicap, il est possible selon sa catégorie et avec un entraînement sérieux de concourir aux J.P [Marcellini and Villoing, 2014]. Néanmoins la pratique de l'athlétisme se raréfie, et cette perte de vitesse peut s'expliquer de différentes façons : de part la douleur liée à la pratique. La traumatologie de ce sport est importante avec des douleurs présentes dès la mise en route de la pratique. Les pratiquants risquent des problèmes de circulation sanguine et des problèmes liés aux frottements de type escarre, ce qui rend la discipline peu attractive. Un paralysé moteur peut par sa pratique de l'athlétisme se retrouver immobilisé sur le ventre plusieurs semaines pour tenter de résorber ses escarres. Les pratiquants, ou potentiels pra-



FIGURE 1.16 – Épreuve d'athlétisme à l'honneur sur une carte bancaire. Société Générale, 2011.

tiquants, délaissent ainsi l'athlétisme au profit du handbike qui est un sport beaucoup plus appréciable de par son confort, ses séquelles moindres, et sa pratique psychologiquement reliée au voyage en accord avec notre société occidentale actuelle. Certaines épreuves sont ainsi menacées ou retirées des J.P faute de compétiteurs. Par exemple l'épreuve féminine du 100 mètres T52 des Jeux paralympiques de Tokyo a été retirée par le Comité international paralympique, faute d'avoir suffisamment d'athlètes à la fin des Championnats du monde d'athlétisme 2019. Le saut en hauteur T64 masculin, le lancer du javelot F13 féminin et un relais 4x100 m quatre nages sont pour leur part passés in extremis. Aucune épreuve de remplacement aura lieu lors des Jeux de Tokyo qui comporteront 167 épreuves (93 hommes, 73 femmes et 1 mixte) et les quotas d'athlètes seront inchangés (1100, 630 hommes et 470 femmes).

Chapitre 2

Fauteuil et sport

2.1 Méthodes de transfert de la technologie de pointe vers la personne en situation de handicap

Nous avons vu précédemment que les modifications des conditions sanitaires et la prise en charge du handicap ont permis d'allonger considérablement la vie des personnes en situation de handicap. La modification de l'image du handicap via les blessés de guerre a poussé à l'amélioration technologique et l'expansion des fauteuils roulants et des prothèses. L'engouement de la société pour le sport de haut niveau, particulièrement via les Jeux Olympiques (J.O) puis Paralympiques, a apporté une médiatisation importante du handisport, ce qui contribue à métamorphoser l'image du handicap dans la société. L'intérêt international des jeux Paralympiques (J.P) et leur médiatisation ne cessant de s'accroître, les états comme les sponsors sont prêts à investir pour obtenir la victoire dans une course technologique effrénée. Des recherches sont financées afin de trouver des matériaux plus performants, solides et légers, qui assureraient la victoire. L'optimum technologique étant presque atteint dans certaines disciplines olympiques, la recherche se tourne vers les J.P avec des financements assez conséquents. La recherche, jusqu'alors majoritairement pour les J.O, contribuait indirectement aux J.P, et cette amélioration de matériel profitait par la suite à la vie civile. Cette amélioration permet à la fois d'alléger la charge et influe sur le rapport qualité-prix. En effet, les retombées de cette technologie de pointe, dont la visée première est de gagner les Jeux, est transférée par la suite auprès du grand public. Ce transfert est plus ou moins long et dépend de multiples facteurs que nous allons tenter de comprendre.

Nous chercherons dans ce chapitre des méthodes permettant le transfert de la technologie de pointe auprès du grand public. Nous nous intéresserons dans un premier temps à l'intérêt de la pratique sportive et aux contraintes rencontrées par les personnes en situation de handicap. Puis nous nous pencherons sur les partenaires possibles du transfert technologique et sur leurs leviers. Enfin nous étudierons l'univers du jeu et son intérêt particulier pour le domaine du handicap.

2.2 Sport : intérêt et contraintes

2.2.1 Nécessité médicale de la pratique sportive : Intérêt pour la santé physique, psychologique, et psycho-sociale

En 2015, 12 millions de Français.e.s étaient touché.e.s par le handicap, dont 80 % de handicaps invisibles (850 000 personnes à mobilité réduite) et 20 millions d'individus concerné.e.s de près ou de loin par un handicap. La même année le ministère des Sports recensait 35 % des personnes en situation de handicap pratiquant un sport seul ou en club [Ripoll, 2008, INSEE, 2015]. Or le sport, qui à l'origine vient du jeu, est une source de plaisir infinie qui permet dès l'enfance d'aller à la découverte de son corps et de son environnement. La pratique sportive apporte des bénéfices à la fois physiques et psychologiques à ses adeptes, qu'ils soient valides ou en situation de handicap [Brehm et al., 2005, Auberger et al., 1998]. Les valides pratiquent principalement pour le plaisir, la santé, la forme physique, les relations sociales et la compétition [Lepers et al., 2012]. Le maintien d'une activité motrice régulière est également recommandé par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) dans la Classification Internationale de la Fonctionnalité, de l'Incapacité et de la Santé (CIF). En effet, le sport permet une amélioration du tonus cardio-vasculaire via la vaso-dilatation des vaisseaux sanguins, entraînant une baisse de la tension artérielle [Schmid et al., 1998]. Il induit une augmentation du volume musculaire et, par conséquent, une augmentation de la force et de l'endurance. Il protège des blessures, de diverses douleurs (dos, hanche, genoux), et prévient l'ostéoporose en augmentant le capital osseux par stimulation de l'organisme [Noël, 2012]. Les sports d'endurance augmentent les capacités cardio-respiratoires permettant de lutter contre l'asthme, favorisent le transit intestinal, et permettent la mobilisation des cartilages, ce qui prévient des problèmes articulaires comme l'arthrose [Schmid et al., 1998, Noël, 2012]. Les pratiques permettent également de diminuer la masse graisseuse et de dessiner la silhouette ce qui procure un bien-être psychologique non-négligeable [Evans et al., 2015]. La pratique d'une activité physique entraîne une amélioration de l'habileté motrice chez les IMC (Infirmes Moteurs Cérébraux), améliore le drainage bronchique chez les patients atteints de mucoviscidose, et atténue les douleurs chez les personnes atteintes de paralysie plexique (plexus brachial). Les handi-athlètes sont 61 % à pratiquer une activité physique pour améliorer leurs conditions physiques et renforcer leur autonomie [Noël, 2012]. De plus, la pratique sportive améliore la vigilance des individus envers leur corps : les sportifs sont d'autant plus attentifs aux besoins de leurs corps qu'ils le sollicitent énormément [Ripoll, 2016]. Ils deviennent ainsi spécialistes de leur corps avant la science médicale, vigilants à l'état de leur peau comme à leur hygiène de vie [Gaillard, 2007]. Les athlètes protègent donc leur santé en évitant le tabac et l'alcool dans un objectif de performance. Ils surveillent

également la qualité et la quantité de nourriture qu'ils ingurgitent ainsi que l'évolution de leurs masses musculaires et graisseuses. Les athlètes sont ainsi 32 % à pratiquer une activité physique pour éviter une prise de poids surtout chez les paralysés moteurs [Noël, 2012]. Néanmoins, ils pratiquent le sport avant tout pour le plaisir et la compétition. Seuls 2 % s'en servent pour prévenir un problème de santé [Wetterhahn et al., 2002]. La pratique influe sur leur mental : 76 % ont une meilleure image corporelle. En effet, le sport apporte un bien-être mental grâce à ses sécrétions d'endorphine, hormone procurant une sensation de bien-être euphorisant. Cela permet en plus une évacuation du stress et la fatigue physique favorise un sommeil de meilleure qualité. Les athlètes pratiquants une activité physique plus de trois fois par semaine sont ainsi moins déprimés et moins anxieux [Muraki et al., 2000]. Le sport favorise également les performances intellectuelles en améliorant l'oxygénation du cerveau. Le sport permet d'apprendre la persévérance, d'auto-alimenter l'estime de soi, et de renforcer la confiance en soi [Wetterhahn et al., 2002]. La pratique sportive permet en effet d'exprimer son moi profond et d'avoir une image méliorative de soi-même. De plus, la sublimation du handicap par les performances sportives aide à reconnaître, voire à accepter son statut [Ripoll, 2016].



FIGURE 2.1 – « Le sport, parce qu'il permet l'accroissement de la puissance d'agir, l'accomplissement de soi, l'affirmation de sa différence et le partage avec l'autre, s'avère être un terrain particulièrement favorable à l'acte de résilience » [Ripoll, 2016].

Illustration Marie-Amélie Le Fur, Rio 2016.

D'après un questionnaire de l'OMS sur le bien-être physique, psychologique et social apporté par la pratique sportive, les handi-sportifs estiment leur santé générale à 8/10 et leur joie de vivre à 8,5/10 pour 87 % d'entre eux [Noël, 2012]. En effet Spinoza affirme dans *L'éthique* (1930) que « la joie vient de la considération que l'homme tire de lui-même et la puissance d'agir du corps par lesquelles il éprouve de l'amour propre et de la satisfaction intime [...] ». Ainsi par sa réalisation sociale le handi-sportif se rapproche de son corps et accepte cette

part de lui-même et de son histoire [Noël, 2012]. L'intégration sociale passe par le sport qui apporte des bienfaits notamment avec la création de lien social entre individus autour d'un pôle d'intérêt commun. Le rapport de la commission européenne d'Helsinki de 1999 estime même que le sport est «l'un des domaines d'activité qui concerne et rapproche le plus les citoyens de l'Union Européenne, quels que soient leurs âges et leurs origines sociales» [Gaillard, 2007]. La formation d'une communauté sportive aide à retrouver une cohésion sociale. La rencontre régulière avec d'autres personnes en situation de handicap normalise le handicap dans un environnement où chacun peut exprimer ses craintes de la stigmatisation, tout en permettant de le relativiser avec celui des autres [Ripoll, 2016]. La pratique d'un sport avec d'autres personnes en situation de handicap en club permet quant-à elle de créer un lieu social où il est possible d'échanger sur le handicap sans se sentir vulnérable. Se dépasser en compétition est aussi une belle revanche sur le regard des autres.

L'objectif de la Fédération Française de Sport Adapté (FFSA) est de faire correspondre l'environnement, et donc la société, au monde du handicap et non l'inverse. Le sport adapté peut ainsi être un miroir de la société et surtout une autre façon de lire le monde social [Gaillard, 2007]. La pratique sportive permet en effet d'être reconnue par les valides tout en ayant un partage d'expérience locale. La création d'une culture commune avec les handi-sportifs donne un sentiment d'appartenance à l'Histoire d'une communauté et permet une socialité corporelle. Elle donne aux personnes en situation de handicap le sentiment d'être parmi, et comme, les autres, en plus de partager des émotions dans un effort solidaire [Gaillard, 2007]. Ainsi les sportifs handicapés sont 40 % à vivre seuls mais 93 % échappent au sentiment de solitude. La pratique sportive facilite la communication avec autrui, et en même temps, elle oblige à être autonome et à sortir de sa zone de confort [Noël, 2012]. Faire du sport favorise l'intégration sociale des personnes en situation de handicap souvent stigmatisées et placées en marge de la société [Hanson et al., 2001, Labronici et al., 2000, Tant, 2014]. La pratique sportive permet de gagner en autonomie en domptant et en narguant sa maladie car le corps n'est plus perçu comme limitant et anxiogène mais comme un outil de conquête permettant une affirmation de soi et une réalisation de soi à travers la reconnaissance d'autrui. Le pratiquant sort du statut de malade et donc de l'image médicale pour accéder à une image de soi valorisée. La pratique sportive est ainsi le support d'une identité personnelle et sociale positive. Vecteur d'intégration, il transforme les rapports sociaux et fait exister l'individu dans l'action positive soit autrement que par sa maladie. La pratique sportive permet de sortir de la stigmatisation du handicap [Marcellini, 2005]. Le corps et le handicap ne font qu'un et ne sont alors plus cachés car ils deviennent légitimes par leur mise en valeur dans la pratique sportive [Ripoll, 2016].

Le sport enseigne également des valeurs éducatives et donc le mieux-vivre ensemble. D'après ces pratiquants le sport améliore leur situation professionnelle et leur apporte des bénéfices économiques et culturels [Gaillard, 2007]. Toutefois, il faut noter que le sport ne contient que les valeurs que nous lui attribuons. Il peut aussi bien être un facteur d'intégration

que d'exclusion, avec par exemple une séparation entre pratiquants et non-pratiquants [Gaillard, 2007]. Ainsi toute personne en situation de handicap peut avoir une activité sportive, mais selon le handicap, tous les sports ne peuvent être pratiqués. D'après les médecins Druvert, Laboute et Piéra : « Dans notre esprit, il n'existe pas de contre-indication absolue et définitive à toute pratique d'activité physique. On peut toujours trouver des adaptations d'intensité, de matériel, de réglementation pour que même les handicapés les plus lourdement atteints puissent avoir une activité physique. » [Noël, 2012].

Les difficultés physiques et psychologiques liées au handicap s'amplifient lorsque son apparition est tardive. Prenons l'exemple des blessés médullaires : statistiquement aujourd'hui, la paralysie motrice acquise est majoritairement due aux accidents de la vie, soit les accidents de travail, de la route, ou encore sportifs. Suite à une lésion, le corps subit une atrophie des muscles sous-lésionnels [Round et al., 1993]. Les fibres musculaires de type I dites lentes se transforment en type II dites rapides [Gerrits et al., 2003], ce qui modifie le métabolisme de l'individu qui passe alors d'une prédominance oxydative à glycolytique [Burnham et al., 1997]. Cela entraîne une diminution de l'activité enzymatique mitochondriale [Hartkopp et al., 2003]. De même, l'activité myofibrillaire ATPase (activité enzymatique) de toutes les fibres baisse de 40 % [Martin et al., 1992]. Une pratique sportive adaptée permet de lutter contre l'ensemble de ces phénomènes. En effet, la stimulation des membres inférieurs lésés via une activité physique permet de lutter efficacement contre le risque de complications secondaires pouvant apparaître suite à une blessure médullaire : les risques cutanés (formation d'escare), la déminéralisation osseuse, les troubles de la circulation sanguine responsables d'une aggravation des facteurs de risque cardio-vasculaires (phlébite, embolie pulmonaire), ou encore la spasticité des jambes [Crane et al., 2017]. L'exercice physique permet de maintenir un bon état corporel et psychologique des blessés médullaires par l'amélioration de leur qualité de vie et par un regain de l'estime de soi.

Ainsi, dans le cas d'un handicap acquis, la pratique d'un sport permet à la fois de s'approprier son nouveau corps et ses potentielles capacités physiques, et de l'accepter malgré le regard des autres. Connaître et repousser ses limites physiques via un contrôle conscient développe la connaissance de soi et permet à l'individu d'appréhender son nouveau corps. Cela lui permet d'avoir à nouveau le plaisir d'être et d'agir, ce qui développe sa résilience [Ripoll, 2016]. La pratique physique procure à l'individu la sensation de contrôler à nouveau son corps en produisant plus que ce dont il se croyait capable, de ressentir une fatigue qu'il s'est lui-même créée [Ripoll, 2016]. La personne en situation de handicap va également avoir une meilleure acceptation de son image corporelle grâce à la création d'un corps esthétiquement sculpté. Ces transformations physiques facilitent les mouvements quotidiens de certains blessés médullaires incomplets comme lors de transferts type fauteuil-lit [Guiraud et al., 2014]. La pratique physique entraîne également chez les blessés médullaires une diminution des plaintes douloureuses, une amélioration de l'humeur, et un bien-être grâce à la prévention

de certains troubles tels l'anxiété, la dépression et l'isolement. Le sport facilite même leur processus de réinsertion sociale en influençant de manière ludique l'activité et la participation individuelle et collective.



FIGURE 2.2 – « Le sport est un extraordinaire terrain de résilience. Il permet à la personne handicapée de se réapproprier les potentialités de son corps, de s'accomplir dans un démarche de progrès, d'affirmer sa singularité de sportif, de restaurer l'estime de soi et la confiance en soi. La victoire permet de réparer pour elle-même et pour ceux qu'elle aime. Reconnue par ses pairs, elle s'engage et milite au service de sa communauté, sportive et non-sportive. Et, au bout du chemin, l'étonnement d'avoir vécu un merveilleux malheur. »

L'hémiplégique Benoît Pinton, ici effectuant la course Ironman.

L'acceptation et l'appréciation de son corps est propre à chacun et dépend beaucoup de son parcours de vie. Ainsi les réactions diffèrent selon que le handicap est inné, tel les troubles congénitaux et les malformations, acquis, comme les accidents et le vieillissement, évolutif, comme la maladie de Charcot, ou définitif, tel une amputation [APF, 2002]. Une personne en situation de handicap acquis peut par exemple ressentir un mal-être profond à l'idée d'être en vie et doit à la fois se réapproprier le droit de vivre tout en apprivoisant son nouveau corps [Ancet and Nuss, 2012]. Une relation progressive s'installe entre le « moi » d'avant et le « moi » en difficulté dans le réel marqué par ce corps inconnu et non-attendu.

L'imaginaire et la volonté de l'individu jouent un rôle prépondérant pour dépasser cette inacceptable nouvelle condition. Un handicap de naissance a pour sa part un impact sur la construction identitaire de l'individu qui se retrouve confronté à la honte d'exister et à la culpabilité d'avoir fait souffrir sa famille ce qui peut le couper de son ressenti, de ses émotions et de son imaginaire. Culpabilité et responsabilité se mélangent aussi chez les parents qui se sentent responsables du handicap de leur enfant. Ils oscillent constamment entre surprotection et délaissement, donc l'enfant pense que ses parents se sentent coupables de l'avoir mis au monde [Ripoll, 2016, Gaillard, 2007]. Parfois les parents culpabilisent devant la gêne occasionnée par le terme « handicapé », et les non-dit lors de conversation avec l'environnement [Gaillard, 2007].

Dans le cas de maladies évolutives et des pathologies chroniques c'est un combat quotidien déroutant face à un colocataire versatile. Les malades alternent entre phases de rémission et phases d'aggravement des symptômes de la maladie, avec une dégradation lente et progressive de leurs capacités. L'individu doit composer avec son corps malade dans un sentiment d'impuissance qui toutefois permet de relativiser sa situation, de renforcer son identité et d'extérioriser sa volonté de vivre. L'évolution des symptômes de la maladie influe sur les rôles de sociabilisation et d'épanouissement par la pratique sportive [Gaillard, 2007]. La résilience est l'acceptation raisonnée de ses blessures. C'est un travail sur soi permanent qui s'exprime le plus dans le handicap évolutif. Elle permet aux individus de sortir de leur questionnement de logique sur ce qui leur est arrivé pour aller vers une quête de sens à donner à leur histoire. Ils cherchent ainsi à « changer le pourquoi en pour quoi, pour en faire quoi. » [Noël, 2012]. La résilience passe essentiellement par l'accompagnement, qu'il soit par l'entourage proche, par un tuteur, ou encore par un coach. En effet, la pratique sportive utilise des caractéristiques propres au handicap avec un enjeu de progrès, de dépassement de soi, et une fierté d'aboutir son projet. Le sport est un domaine privilégié de l'expression de la résilience des personnes en situation de handicap. Il permet de découvrir son nouveau corps, de se le rapproprier en lui provoquant des réactions physiologiques voulues, et de faire des compromis avec. La pratique sportive apporte alors un bien-être physique et mental [Ripoll, 2016]. Les individus deviennent ainsi plus à l'écoute de leur corps et le gain musculaire lié à leur pratique permet de faciliter leur vie quotidienne [Noël, 2012].

De plus, dans le domaine du handicap le lien est étroit entre le médical et le sportif, le premier ayant précédé l'autre dans le handisport. Certaines pathologies nécessitent parfois des soins médicaux spécifiques quotidiens comme la kinésithérapie, ce qui familiarise les personnes en situation de handicap à l'activité physique. Par ailleurs, la pratique sportive permet à l'individu handicapé de se définir par autre chose que par son corps (en tant qu'athlète, champion, etc.) et, également, de s'accepter. La connotation positive du sportif tourné vers un esprit de conquête permet une transformation respectueuse du regard sur le handicap d'ordinaire stigmatisant. Le deuil de l'ancien corps est ainsi pleinement effectué et l'acceptation du nouveau corps devient plus complète. De fait, le handicap est

normalisé par la reconstruction. Il fait reculer la compassion d'autrui et contribue à soigner les vestiges des blessures passées. Le corps mérite d'être montré par fierté comme par défi et étant perçu autrement que comme un objet de tourments il permet au handicap de s'effacer [Noël, 2012]. La réhabilitation devient dès lors possible car l'individu est alors adapté physiquement à son environnement, et en s'affirmant socialement la personne en situation de handicap se réconcilie avec son image. Ce nouvel état d'esprit influe dans la vie civile de l'individu qui va dès lors affirmer son statut et jouer pleinement son rôle. Ainsi grâce à leur pratique sportive certaines personnes en situation de handicap sont devenues sportifs professionnels comme la judoka malvoyante Sandrine Martinet ou le nageur quadri-amputé Théo Curin. Une blessure originelle peut lancer une carrière sportive admirable, comme l'accident de scooter de Marie Amélie Le Fur (Fig. 2.1) ou celui de ski de Michael Jeremiasz. Tel l'hémiplégique Benoît Pinton qui participe aux compétitions Ironman (Fig. 2.2), ces athlètes arrivent à faire de leur blessure un « merveilleux malheur » [Rochegeude, 1999, Cyrulnik, 2013].



FIGURE 2.3 – « Le sport leur offre l'occasion d'un challenge à remporter sur eux-mêmes, de progrès à accomplir avec leurs corps, et d'idéaux à partager avec l'ensemble de leur communauté » [Ripoll, 2016].

Illustration : Libération par le sport du corps du nageur paralympique Antonios Tsapatakis ici debout, face à son fauteuil, sous l'eau.

Le sport de haut niveau est le miroir grossissant du fonctionnement de l'individu. Les personnes en situation de handicap souhaitent à la fois donner un sens à leur handicap, en obtenant une réussite, et une reconnaissance sociale, via la valorisation de leurs capacités fonctionnelles (Fig. 2.3). L'identité paralympique offre une visibilité sociale réparatrice face

aux blessures commises à ces proches à cause du handicap acquis. Cela se retrouve dans la proportion de participants aux Jeux Paralympiques entre les sportifs ayant un handicap inné ou acquis, par exemple de 1 pour 9 aux Jeux de Londres. Toutefois, si pour un valide le statut de champion des Jeux dépasse toutes les barrières qu'elles soient ethniques ou sociales, un handi-sportif participant aux Jeux Paralympiques est perçu par les valides comme une personne handicapée faisant du sport, et en premier comme sportifs par leurs pairs [Ripoll, 2016, Marcellini and Villoing, 2014]. Si tous rendent hommage aux capacités du corps, les handi-sportifs peuvent se retrouver tiraillés entre plusieurs de ces identités qui se confrontent [Marcellini and Villoing, 2014]. Ils ont désormais à la fois une identité communautaire de personne en situation de handicap, une identité sportive d'athlète, et une identité médiatique de héros, bien qu'eux-mêmes préfèrent se définir comme athlètes avant tout [Noël, 2012]. En effet, contrairement aux valides qui visent uniquement la première place pour obtenir des profits ou pour la gratification symbolique, une personne en situation de handicap qui se réalise avec son handicap a souvent bien plus de valeur. Celle-ci recherche plus l'accomplissement de soi que la réussite de la compétition. Elle pratique du sport par auto-détermination, pour la satisfaction que celui-ci lui procure [Deci and Ryan, 1985]. Les résultats sportifs sont secondaires pour les personnes en situation de handicap qui en sont peu affectées [Ripoll, 2016]. Ainsi d'après le sprinter paralympique Timothée Adolphe : «Le titre arrive plus comme une conséquence de sa performance que parce qu'on l'a visé». Les personnes en situation de handicap s'affirment par leurs corps altérés si singuliers, ce qui leur permet de se réaliser socialement. D'ailleurs assez paradoxalement « c'est dans la compétition où le handicap est le plus visible qu'il pèse le moins. » [Ripoll, 2008]. Pour devenir un sportif champion de haut niveau le handi-athlète doit avoir un accompagnement psychologique solide de la part de son entourage et il doit avoir la faculté de s'imaginer capable. Il développe ainsi la résilience qui lui permet d'accepter son handicap comme une part de lui-même. Il doit avoir envie de développer son accomplissement personnel mais également faire preuve d'humilité et de résistance face à la pression sociale et au stress [Ripoll, 2016]. Le sentiment d'accomplissement provient de la motivation qui découle des besoins d'autonomie, de compétence, et d'appartenance sociale. En effet, la pratique sportive confère ce sentiment d'accomplissement et tout particulièrement chez la personne en situation de handicap. Ces derniers sont moins autonome que les valides qui en dénie les compétences physiques.

Une étude utilisant l'échelle de Likert sur l'impact de la pratique sportive chez les personnes en situation de handicap a montré que les pratiquants ont un sentiment d'accomplissement de 5,5/7 et une sensation de bonheur de 5,7/7 contre 5,5/7 et 5,6/7 pour des sportifs de haut niveau [Ripoll, 2016]. L'aspect mélioratif psychologique de la pratique sportive régulière reste peu contestable mais l'équilibre physique entre pratique bénéfique et pratique nocive est à définir pour chaque sportif. En effet, la pratique de haut niveau consiste à



FIGURE 2.4 – « Le champion est un être doué que l'on va fatiguer intensément, de façon à obtenir un rendement maximal de la mécanique humaine : ce n'est pas un homme dont on va chercher à optimiser la santé et le bien-être ». Paul Yvonnet, [Yvonnet, 1998].

Illustration Londres 2012, Yohansson Nascimento arrivé à la dernière place du 100 m homme après s'être sérieusement blessé.

soumettre un handi-sportif naturellement talentueux dans sa discipline à un entraînement intensif, éprouvant leur résistance physique et psychologique, afin de gagner des compétitions pour une gloire éphémère (Fig. 2.4). Si leur mode de vie est plus sain, la vie des athlètes de haut niveau est entrecoupée de périodes de blessure et de convalescence ainsi que des périodes de doutes et d'échecs liées à leur pratique sportive. L'athlète se retrouve confronté en permanence aux douleurs et aux blessures physiques chroniques ainsi qu'à des troubles psychologiques variés allant du stress aux problèmes identitaires et aux addictions comme les drogues, l'alcool, la dépendance aux émotions fortes dont l'adrénaline, ou encore le dopage bien que d'après le sociologue Paul Yvonnet : « le premier risque est celui du sport de haut niveau lui-même ». De plus la reconversion à la fin d'une carrière d'athlète peut être difficile. Certains sports comme les sports de combats diminuent l'espérance de vie à cause des douleurs articulaires ou tendineuses, de la perturbation du système nerveux ou lymphatique, ou encore des problèmes cardiaques [Queval, 2001].

Peu d'études ont du recul sur les effets des entraînements sur le corps des personnes en situation de handicap [Marcellini and Villoing, 2014]. Toutefois, il a été démontré que la sollicitation excessive des muscles supérieurs peut entraîner une fatigue chronique pouvant aller jusqu'à la fracture ou causer des blessures les handicapant davantage dans leurs vies quotidiennes. Malgré une présence perpétuelle des soins dans le quotidien des personnes en situation de handicap, les handi-sportifs ne prennent pas souvent la mesure des problèmes de santé causés par leur pratique physique [Barth et al., 1999]. Les sportifs de haut niveau sont perçus comme la proue de la société en ce qui concerne la résistance physique et mentale. À l'image d'un dispositif médical, social ou technique, le sport devient une compétence nécessaire pour devenir et être à la fois indépendant et autonome [Marcellini and Villoing, 2014].

Aussi il peut être difficile d'accepter les limites physiques de son corps qu'elles soient dues à un handicap comme à la vieillesse.

D'après la théorie de l'auto-détermination, les motivations poussant chacun à agir durablement peuvent être intrinsèques en recherchant l'accomplissement de soi et la maîtrise dans toutes les situations sportives afin de s'améliorer, les échecs étant constructifs et non dramatiques. Les motivations à l'action peuvent également être extrinsèques avec l'objectif de satisfaire son égo via des performances remportées sur les autres, l'échec étant un drame car considéré comme une défaillance personnelle [Ripoll, 2016]. Ainsi pour l'athlète qui cherche l'accomplissement de soi, la pratique sportive favorise son équilibre alors que s'il pratique pour son égo, chaque échec le fragilise. L'univers de la compétition à haut niveau peut se révéler dangereux pour des personnes à la psychologie fragile par le stress et l'angoisse de la compétition, par la douleur et les échecs liés à la performance, ou encore par les troubles de la motivation [Marcellini and Villoing, 2014].



FIGURE 2.5 – « Le profil des sportifs sélectionnés aux Jeux paralympiques de Londres ne trompe pas. Près de 90 % d'entre eux ont acquis leur handicap et ont connu un itinéraire de vie accidenté. La pratique compétitive est idéale pour se reconstruire, et bénéfique pour retrouver son équilibre ». Gérard Masson, président FFH.

Illustration : L'américain Regas Woods à l'épreuve de saut, Rio 2016. Cet athlète est cofondateur de l'organisation « Never Say Never Foundation » qui aide des enfants à surmonter l'adversité en développant une attitude positive par le sport.

Si la pratique sportive permet une revanche pour leur entourage avant que pour eux-mêmes, les handi-sportifs souhaitent ensuite faire honneur à ceux qui ont partagé leurs difficultés. Une des suites logiques à la pratique sportive de haut niveau dans le handi-sport est le militantisme. En effet, le lien social développé est mis en avant par l'altruisme et le militantisme. Le fait d'exposer son handicap et sa réussite grâce à son handicap et non malgré lui est un

puissant vecteur de résilience. Cette exposition les met dans le rôle de porte-parole d'une communauté souvent stigmatisée. Les handi-athlètes s'engagent majoritairement pour faire évoluer les conditions environnementales et sociales des personnes en situation de handicap (Fig. 2.13). Cet engagement est à la fois militant pour le handicap et altruiste car les handi-sportifs aident leur prochain en devenant la personne dont ils avaient besoin, l'engagement altruiste étant le garant de la résilience. Partager son histoire permet aux personnes en situation de handicap de récupérer l'estime de soi. Aussi « Si rares sont les sportifs valides qui militent, rares sont les sportifs handicapés qui ne le font pas. » [Ripoll, 2016].

L'intérêt de la pratique sportive régulière pour les personnes en situation de handicap détaillée ci-dessus n'est plus à démontrer. Nous allons désormais nous pencher sur les verrous qui empêchent la pratique physique des personnes en situation de handicap, et qui poussent les anciens sportifs à se battre pour les faire tomber.

2.2.2 Freins à la pratique sportive

La personne en situation de handicap souhaitant prendre soin de son image, sa santé, et de son bien-être physique et psychologique par la pratique sportive doit faire face à de multiples obstacles à la fois physiques et sociaux. Plus le handicap physique est important et plus les contraintes physiques de l'environnement peuvent brider l'accès à une pratique sportive. La personne en situation de handicap doit en premier dépasser ses propres craintes ainsi que celles du personnel médical de se mettre en danger ou se blesser, comme le grimpeur Alain Robert dont les médecins croyaient qu'ils ne ferait plus jamais de l'escalade (Fig. 2.6). Les médecins doivent en effet donner leur autorisation pour la pratique sportive, de même que les assurances. À noter que dans notre société, la pratique sportive est conditionnée par l'accord d'un médecin. Il n'est pas automatique.

Ensuite pour pratiquer une activité physique la personne en situation de handicap a besoin de matériel adapté. Les contraintes matérielles vont réduire la possibilité de pratiques sportives pour les handicaps moteurs qui sont très techno-dépendants. Afin de limiter les lésions cutanées, ils ont besoin d'équipements adaptés à chaque pratiquant. Il ne s'agit pas d'adapter les pratiquants aux équipements. Une lésion peut mettre plusieurs semaines à guérir et imposer une station horizontale à l'individu pour une longue période. Les équipements doivent donc être adaptables et ajustables à la morphologie de chacun. Les fabricants de matériel de sport adapté sont rares et chers. Il faut également trouver un technicien professionnel compétent et accessible qui pourra régler le matériel sportif à la mesure du paralysé moteur. Peu de spécialistes sont capables d'ajuster correctement l'équipement sportif adapté à un handicapé moteur. De préférence le matériel sera donc déjà pensé, existant, et simple d'utilisation et de réglages. Il doit être construit dans des matériaux solides, imaginé à la fois pour le confort et la sécurité des usagers tout en restant accessible financièrement. Ce dernier point est d'autant plus important que la présence d'une personne en situation de handicap

dans une famille à des conséquences financières lourdes avec l'ajout de coûts d'équipements spécialisés exorbitants, une prise en charge de soins quotidiens, de nombreux déplacements vers des spécialistes, et des difficultés organisationnelles pour permettre aux deux parents de travailler par exemple [Gaillard, 2007]. Le matériel de sport est souvent non-abordable financièrement chez les sportifs non-professionnels paralysés moteurs. En France il y a une très faible professionnalisation des sportifs de haut-niveau, particulièrement dans l'univers du handicap faute de pouvoir vivre de la performance. La discrimination financière de la pratique sportive des paralysés moteurs est ainsi frappante. Chaque fauteuil de sport conçu pour l'athlète représente à lui seul le coût d'une voiture. Les prix d'un fauteuil roulant adapté peuvent atteindre plus de 50 000 euros. Le matériel nécessaire à la pratique sportive est non-remboursable par la sécurité sociale car il est perçu comme un matériel d'amusement de luxe secondaire et non une nécessité pour la santé. En France, il est toutefois possible d'obtenir des aides matérielles [Ripoll, 2016]. Il est néanmoins difficile pour un novice de pouvoir tester différents sports : chaque fauteuil nécessite du matériel ajusté avec un calibrage idéal pour de réels progrès dans un domaine sportif. Pratiquer un sport avec du matériel adapté rend la pratique amusante et attractive. L'aspect financier est alors multiplié par le nombre de pratiques de l'individu. Au-delà de cet aspect, un accro au sport en situation de handicap moteur peut rencontrer des problèmes de stockage du matériel qui se multiplie avec le nombre de pratiques.

La pratique sportive peut être facteur d'exclusion avec les difficultés logistiques d'encadrement compétent ou de capacité et de volonté d'accueillir un public en situation de handicap [Gaillard, 2007]. En effet les sports adaptés sont parfois peu ou mal connus, ce qui freine leur pratique et la progression des pratiquants. Les entraîneurs sont peu ou mal formés, peu intéressés, ou inquiets du risque de blessures à cause de leur manque de connaissance dans ces pratiques sportives. Le contact avec des personnes en situation de handicap renvoie l'individu à des questions sur sa propre santé, et sur sa vulnérabilité. Par méconnaissance les valides ont souvent peur de blesser physiquement ou verbalement les personnes en situation de handicap, malaise qui freine les interactions. Les entraîneurs ne maîtrisant pas les sports adaptés refusent parfois de les mettre en place afin de s'éviter des situations embarrassantes pouvant remettre en cause leurs capacités, comme l'impossibilité d'arbitrer un sport dont il ne connaissent pas les règles. Parfois ils préfèrent rediriger les pratiquants vers des pratiques qu'eux-mêmes maîtrisent ou valorisent. Un sport non-valorisé perd en accessibilité et est moins pratiqué. C'est le cas du cricket, moins accessible en France que le rugby du fait du manque de connaissances générales sur ce sport. Actuellement l'intégration des personnes en situation de handicap se passe dans des clubs ordinaires et non plus dans des structures réservées [Marcellini and Villoing, 2014].

Face au manque d'offres sportives, les personnes en situation de handicap se retrouvent dans un ghetto social. Certaines disciplines peuvent se pratiquer avec des aménagements simples comme des signaux visuels pour les déficients auditifs, tandis que d'autres nécessitent plus

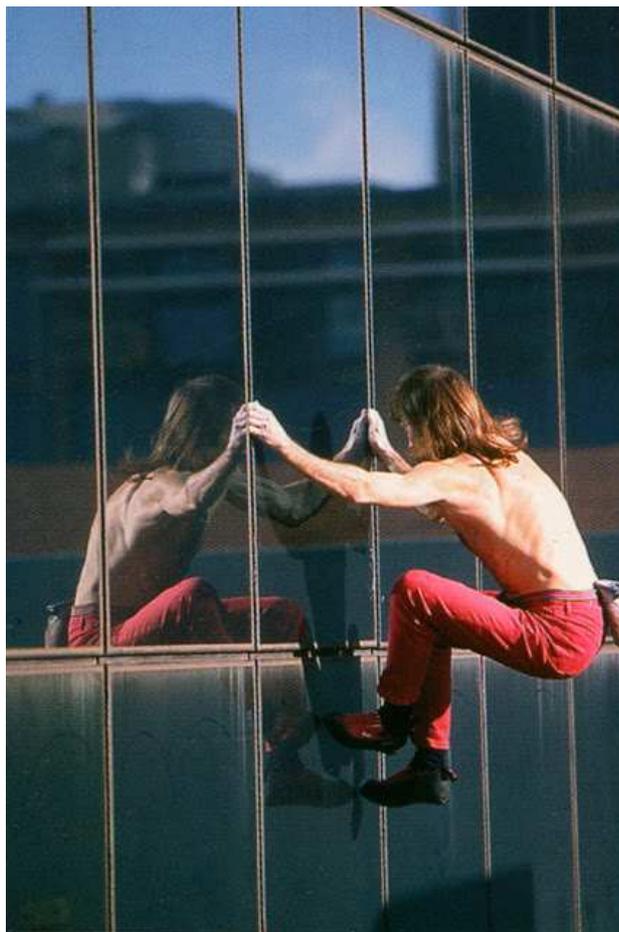


FIGURE 2.6 – « Il faut être solidement armée pour résister à cette pression et résilient pour passer de la honte à la fierté. » Simone Korff-Sausse.

Illustration : Alain Robert, le Spider-man français, escaladant le siège de la banque Hang Seng de 42m de haut à Hong Kong en 1994, et ce malgré son épilepsie, ces vertiges et ses dysfonctionnements articulaires suite à une chute grave d'escalade en 1982.

de réflexion. Certains sports ne sont pas adaptés ni repensés pour le Handicap, restreignant le choix des disciplines sportives. Il faut parfois revoir l'aménagement matériel comme des raquettes plus longues au tennis de table ou imaginer un terrain adapté, comme les tapis de mousse sur le terrain du cécifoot. Parfois il est même nécessaire de modifier les règles du jeu standard avec par exemple le deuxième rebond possible au tennis. Il peut aussi être dangereux ou impensable d'effectuer certains sports, mais pas impossible. On peut citer en contre-exemple l'américain Aaron Fotheringham pratiquant de la rampe avec son fauteuil roulant comme les utilisateurs de skate-board.

Une fois le sport et le matériel sélectionné, la personne en situation de handicap peut encore rencontrer des problèmes d'accessibilité assez importants allant du chemin d'accès à la zone de pratique sportive en passant par les transports pour s'y rendre. Si l'on prend

l'exemple du trajet d'un individu en fauteuil roulant, il doit pouvoir sortir de chez lui, se déplacer sans encombres jusqu'au point de pratique, pénétrer dans le lieu de pratique, avoir accès à des vestiaires adaptés, et avoir un terrain de pratique adapté. Or, bien souvent, le chemin est semé d'embûches : pas d'accessibilité en transports en commun, absence de surface de circulation plane intérieure et extérieure, absence ou encombrement du bateau pour se placer sur le trottoir, pas ou peu de places de stationnement adaptées, présence de marches à l'entrée sans rampe d'accès, vestiaires trop hauts, toilettes non conformes. Si beaucoup de ces obstacles sont contournables, les éviter devient vite énergivore. Se déplacer devient une épreuve stressante et éreintante et les personnes en situation de handicap moteur sont épuisées avant même de pratiquer une activité physique. Certaines personnes doivent aussi avoir un accompagnement humain dans leur déplacement qui doit alors être disponible. Ces contraintes peuvent rendre impossibles la pratique de certains sports existants par les handi-sportifs et souvent, la prise en charge autour de la pratique pose plus de problème que la course elle-même [Gaillard, 2007]. A noter qu'il n'y a pas, ou peu, d'aménagements sociaux et urbains en France prévus pour les personnes en situation de handicap et que l'application des lois d'accessibilité universelle datant de 2005 est encore trop souvent repoussée [Ripoll, 2016].

Le handicap peut aussi être social avec des problèmes d'insertion via un manque de capacité d'adaptation qui peut être dû à des expériences passées négatives avec l'environnement comme la justice, la scolarité ou la drogue [Gaillard, 2007]. Or la pratique sportive multiplie les contraintes sociales. Les pratiquants se retrouvent confrontés au regard des autres, éventuellement à leur rejet, que ce soit dans la rue ou sur leur lieu de pratique sportive. Cette stigmatisation est alors une barrière psychologique supplémentaire entre le pratiquant et la pratique particulièrement présente chez les femmes en situation de handicap [Noël, 2012]. Bien souvent la pratique sportive est séparée entre valides et personnes en situation de handicap, et les accompagnateurs ne peuvent ou ne souhaitent pas participer aux activités proposées par manque de temps ou à cause des pratiques non-mixtes valides-handicapés en club. La création d'un club handisport permet de passer d'une pratique spontanée à une pratique organisée mais cela oblige à créer une relation de confiance entre membres et organisateurs, à s'imposer face aux valides à nommer et parler du handicap [Gaillard, 2007]. Or la création d'un club est chronophage et les personnes en situation de handicap se retrouvent déjà confrontées à des contraintes temporelles importantes car en plus du temps quotidien rogné par le handicap, les créneaux horaires intéressants sont souvent réservés aux individus valides masculins. Contrairement à l'idée répandue d'absence de travail et de contraintes horaires, la majorité des personnes en situation de handicap sont actives. Des créneaux horaires de pratique en journée ou trop tard découragent l'activité physique. La séparation entre pratiques sportives valides et adaptées sous-entend qu'une normalité existe, or la norme est une notion individuelle abstraite propre à chacun qui dépend du

fonctionnement entier de l'organisme. Le normal n'est que l'incarnation d'une norme par un individu [Canguilhem, 1966]. Aussi il y a une différence de degrés quantitative entre normal et le pathologique, et non une différence de nature. Le handicap peut être perçu comme un phénomène physiologique et social, et la maladie comme la variation d'une fonction physiologique en excès ou en défaut. Néanmoins la séparation entre personnes en situation de handicap et valides permet un entre-soi communautaire. Cette séparation permet aux personnes en situation de handicap de se retrouver dans un environnement amical confortable, sans confrontation avec le monde extérieur au handicap, où elles se sentent à égalité avec les autres [Gaillard, 2007]. A égalité, mais à part. La question du cloisonnement entre pratiques sportives valides et adaptées reste ouverte.

Nous constatons ainsi que les principaux freins à la pratique d'une activité physique pour les personnes en situation de handicap sont l'accessibilité ou l'inexistence de certains équipements, les difficultés de transports, les problèmes d'accompagnement humain, l'adaptation de l'activité sportive au handicap, le coût du matériel, le manque de formation des éducateurs, la réticence des clubs et la gêne sociale du handicap [Noël, 2012].

2.3 Le transfert technologique

Rendre plus équitable l'accès à la pratique sportive chez les personnes en situation de handicap nécessite de penser aussi bien aux aménagements des lieux de pratique et à leur chemin d'accès, que de développer des jeux inclusifs avec des entraîneurs formés, et d'adapter et de rendre accessible financièrement le matériel [Marcellini and Villoing, 2014].

L'innovation est la recherche constante de l'amélioration de l'existant par des décisions complexes et variées. L'invention est créatrice de nouveautés, et contrairement à elle l'innovation débouche sur une première transaction commerciale réussie [MGK, 1941]. Ses rouages dépendent des facteurs de l'innovation, du public visé, et des enjeux. Innover dans la conception d'appareillages adaptés est fondamental pour rendre la pratique sportive accessible au plus grand nombre. Avant d'être des outils performants pour les compétitions, ces dispositifs doivent répondre à plusieurs critères de sécurité, de confort, de facilité d'utilisation et de réglage. Il doivent être également résistants et bon marché [Noël, 2012]. Pour innover dans le domaine du handicap il est important de partir d'abord de l'expertise et des besoins des usagers, chacun avec ses propres difficultés. Les dispositifs sont rejetés s'ils ne répondent pas aux attentes des communautés, comme cela a été le cas des appareils auditifs pour la communauté sourde ou les exosquelettes pour les personnes en fauteuil roulant. Pour faciliter le transfert technologique dans le domaine du handicap il est nécessaire de comprendre qui sont les partenaires de l'innovation et leurs moyens d'actions respectifs et communs.



FIGURE 2.7 – « Les êtres différents sont tenus de construire la légitimité qui leur est d'emblée refusée ». [Le Breton, 1999]

Illustration : Course de prothèse de bras au Cybathlon 2016.

Au siècle dernier, les nouveautés technologiques se développaient uniquement de manière

linéaire, avec une phase technique où un entrepreneur dynamique était à la fois inventeur et vendeur et une phase commerciale dépendant du marché économique et de ses débouchés. Le succès dépendait alors des qualités de l'entrepreneur à s'adapter aux variations sociales du public et de ses concurrents. L'entrepreneur devait prendre en compte les variations techniques comme la découverte de nouveaux matériaux par exemple et, ce, malgré la difficulté supplémentaire de séparation des phases techniques et commerciales. Ces entrepreneurs devaient alors s'entourer d'une multitude de personnes efficaces pour multiplier les réussites. La seule adaptation possible passait par la complexification progressive du projet [Akrich et al., 1988].

De nos jours avec l'industrialisation et la mondialisation, la technologie de pointe se transfère majoritairement via un modèle tourbillonnaire. Le découpage et le séquençage du travail, nécessaire à une production à grande échelle, nécessitent une communication entre de nombreux partenaires aux rôles variés et diversifiés. Ces services participent collectivement au processus progressif d'innovation et donc au succès des dispositifs technologiques. Ils peuvent être membres de laboratoires de recherche ou de centres de développement industriel comme des scientifiques et des ingénieurs, testeurs de produit, tels les usagers et les clients majoritaires, ou membres des services de planification des firmes. Ils peuvent également être membres d'administrations publiques ou d'associations, membres d'unités de production comme des responsables de la fabrication ou membres du secteur de la distribution comme les services commerciaux, les responsables marketing, publicitaires ou encore les responsables emballage [Akrich et al., 1988]. Dans ce modèle organisationnel du travail le succès d'une innovation technologique dépend de l'interaction régulière de cette multitude d'acteurs aux compétences et aux projets hétéroclites. Ainsi, afin de réussir pleinement l'intégration d'innovations en lien avec le handicap, il est nécessaire d'avoir une communication entre les différents acteurs qui doivent s'investir dans le projet. L'accompagnement par une institution favorise des échanges dynamiques [Gaillard, 2007]. L'adaptabilité du rôle des acteurs et le décloisonnement possible de leurs travaux diminuent les contraintes, et augmentent les chances de réussite du projet. Comme pour le travail en recherche, l'importance accordée aux détails favorise également le succès. Le résultat peut toutefois être différent ou illogique par rapport aux attentes de l'équipe, avec par exemple un autre public intéressé que le public ciblé. Par exemple, le botox était destiné à des applications neurologiques, or il est majoritairement utilisé dans le domaine de la cosmétique.

Face aux problèmes rencontrés par les personnes en situation de handicap pour accéder à la pratique sportive, les partenaires du transfert technologique ont des leviers qui pourraient faciliter l'accès à la technologie de pointe. Nous allons voir que certains leviers sont faciles à mettre en place que d'autres et qu'une réflexion commune des différents acteurs permet l'apparition d'un cercle vertueux bénéficiant au plus grand nombre. Nous verrons également qu'une réflexion sur le handicap ne peut pas se faire sans les personnes en situation de han-

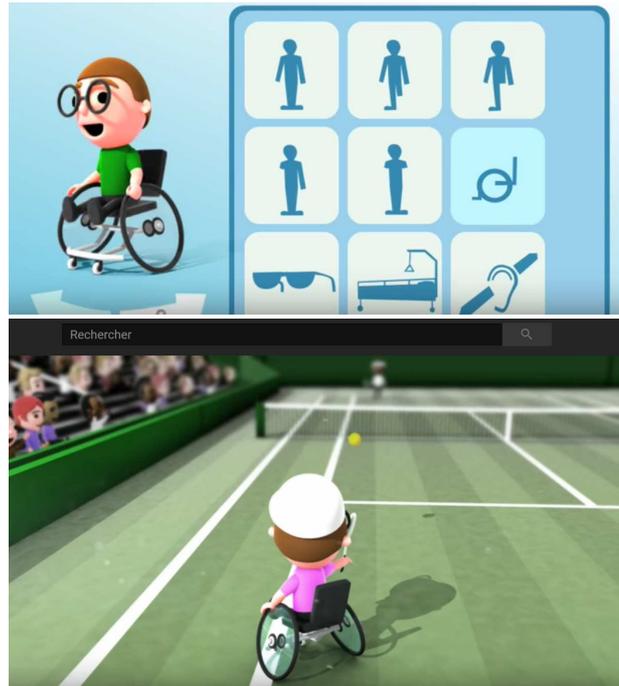


FIGURE 2.8 – « L’innovation ressemble à un phénomène de couplage d’une nature particulière puisque les deux éléments mis en relation - le marché et la technologie - évoluent de façon imprévisible ». L’économiste de l’innovation C. Freeman [Freeman and Soete, 1997]. Illustration : Le jeu vidéo Sibilliis de 2009 sur Wii n’a jamais été commercialisé.

dicap comme pour l’évènement sportif Cybathlon (Fig. 2.7) ou encore l’échec du lancement commercial du jeu vidéo adapté Sibilliis (Fig. 2.8).

2.3.1 Partenaires du transfert technologique

2.3.1.1 Rôle des entreprises

L’innovation sportive est indispensable à l’amélioration des performances [Fuss et al., 2013]. Les fabricants des dispositifs technologiques façonnent et diffusent les objets de demain pour la pratique handi-sportive. Ils font la passerelle entre les idées issues du processus d’innovation et les consommateurs désireux d’utiliser les dernières technologies. Les entreprises doivent pouvoir concevoir des dispositifs rentables tout en convaincant à la fois le marché et les industriels de l’intérêt de leur produit.

Un des problèmes majeurs des entreprises pour l’investissement dans le domaine du handicap et du handisport est la taille du marché qui n’est pas perçue comme rentable. Le coût des produits en lien avec le handicap est exceptionnellement élevé dû au micro-marché. Le marché du matériel spécialisé dans le handicap pourrait pourtant s’agrandir avec les indus-

tries mécaniques. Par exemple, l'industrie automobile pourraient concevoir ou améliorer les dispositifs présents dans les fauteuils électriques (clignotants, sièges chauffants, élévateurs, caméra de recul, pneumatiques). Les investissements pourraient augmenter et la production serait à plus grande échelle, ce qui diminuerait les coûts du produit final. L'automatisation de la production semble toutefois une nécessité absolue dès lors que l'on souhaite casser les prix, aussi il est important d'avoir des ingénieurs de fabrication dans l'équipe dès la phase de conception. Autre exemple, les transformations des villes pour l'accessibilité du handicap moteur peuvent être coûteuses : une demande commune des personnes en fauteuil, des personnes âgées et des utilisateurs de poussettes peut favoriser l'installation d'ascenseurs adaptés dans les bâtiments publics.

Le vieillissement de la population est un marché en pleine expansion appelé « marché de l'or gris ». Cent millions de séniors supplémentaires sont attendus dans le monde à l'horizon 2030, avec une augmentation des débouchés commerciaux à la clef [oxfamfrance.org]. Par exemple les prothèses et appareillages destinés aux séniors se sont développés, avec des prothèses auditives très performantes, des congélateurs à poignée à pression, ou encore des casques audio sans fil pour écouter la télévision sans gêner son entourage. Avec la société occidentale prônant le culte du corps sain, il est possible que l'augmentation du nombre de personnes âgées joue en faveur des personnes en situation de handicap. Avec la diminution de la stigmatisation sociétale du handicap et la mise en avant de la pratique handi-sportive, notamment en France via les Jeux de Paris 2024, il semble logique d'affirmer que les industriels vont s'emparer prochainement des questions du handi-sport. Des entreprises spécialisées dans les équipements ou les vêtements de sport, comme le Coq sportif, pourraient développer une gamme de produits pour personnes en situation de handicap (Fig. 2.9). Le développement de produits de première qualité pour les compétitions de haut niveau permet de construire différentes gammes de produits financièrement plus accessible au grand public, comme lors du développement du matériel handiski [Marcellini and Villoing, 2014, Noël, 2012]. Élargir et agrandir le marché permet d'industrialiser la production et ainsi de réduire le coût d'achat. La sortie du marché de niche qu'est le handicap permettrait dès lors de diminuer les coûts et d'augmenter le nombre de pratiquants sportifs.

Une entreprise a comme défi de chercher des solutions techniques pour les besoins des consommateurs du marché qu'elle vise. Elle peut adopter différentes stratégies pour diffuser son innovation technologique : elle peut suivre le modèle de diffusion ou le modèle de l'intéressement. Le modèle de diffusion est l'introduction d'un dispositif innovant tel quel dans la société, sans étude socio-économique. Le dispositif se répand dans la société par contagion grâce à ses qualités intrinsèques, comme la diffusion du fauteuil roulant électrique. L'entreprise peut conserver l'intransigeance technique de son innovation si elle maîtrise le contexte socio-économique. Il faut en effet des ressources et de la patience pour diffuser des innovations complexes comme l'exosquelette. Le modèle de l'intéressement est pour sa part

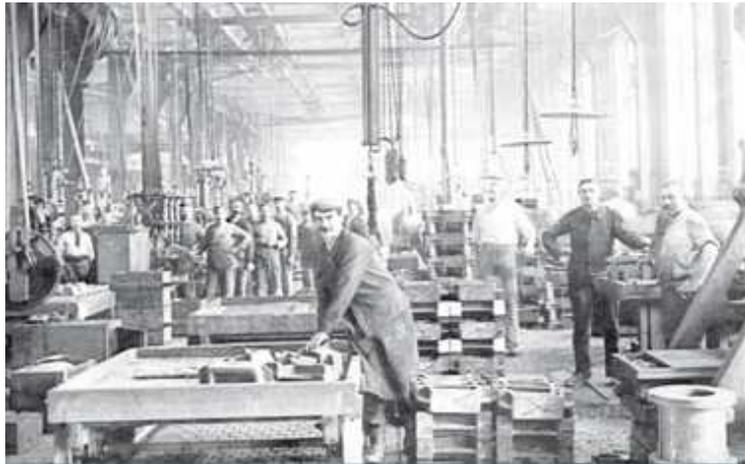


FIGURE 2.9 – « Ce sont ses qualités intrinsèques qui servent ensuite à expliquer la plus ou moins grande vitesse de diffusion de l'innovation. Celle-ci, comme dans un phénomène épidémiologique, convainc de plus en plus d'utilisateurs potentiels ». [Mansfield, 1961]

Illustration : Ateliers du coq sportif créé en 1885 et fabriquant de vêtements des équipes sportives françaises de haut niveau.

un immense travail collectif, participatif et collaboratif. De nombreux alliés s'impliquent en mélangeant leurs savoirs-faire dans différents registres et adaptent activement l'innovation à l'environnement pour la rendre adoptable. Le domaine du handicap ayant autant de besoins différents que d'individus, la piste d'innovation à privilégier semble être le modèle de l'intéressement. Ainsi, comme pour le développement du fauteuil d'athlétisme, ces alliés font partie de différents secteurs dont la médecine, le sport, l'économie, la physique fondamentale ou encore les savoirs de la gestion et de la technologie. Ils peuvent être utilisateurs comme porte-parole, intermédiaires, membres de la direction, ouvriers, ou encore contremaîtres et ingénieurs débusquant les défauts pour adapter le dispositif à chaque athlète.

Pour créer un dispositif innovant adapté au sportif en situation de handicap, les concepteurs se basent sur les objets existants afin de s'en démarquer ou s'en inspirer. Ils utilisent également d'autres points de vue implicites dont le leur et celui de leurs proches. L'avis d'experts du domaine est sollicité comme celui des spécialistes du handicap et des concepteurs d'outils adaptés, dont les ingénieurs de fabrication réfléchissant aux applications des dispositifs. Toutefois, les ingénieurs ont parfois tendance à sur-représenter l'utilisateur au risque de le stigmatiser. Ils sollicitent en outre le point de vue explicite des usagers par des questionnaires sur le produit à venir, ou lors des retours de produit au service après-vente. Des enquêtes de marché ou de satisfaction en ligne sont envoyées directement aux usagers, comme lors de l'achat de prothèses auditives [Akrich, 2013]. Par exemple, le retour des perchistes est primordiale après un échec de leur matériel pour concevoir de nouvelles perches adaptées au sauteur (Fig. 2.10).



FIGURE 2.10 – « L'innovation c'est l'art d'intéresser un nombre croissant d'alliés qui vous rendent de plus en plus fort » [Akrich et al., 1988].

Illustration : La perche du Cubain Lazaro Borges casse aux Jeux de Londres 2012.

Le transfert d'un dispositif technique innovant à grande échelle est empli d'incertitudes, il change les habitudes et provoque une instabilité aux conséquences imprévisibles. Le timing des décisions, comme la présentation du bon dispositif sur le marché, est important. Par exemple les produits technologiques en lien avec le handicap devaient être invisible à une époque, or ils sont valorisés quelques décennies plus tard avec l'avènement des biotechnologies et de l'être humain « augmenté ». Les appareils auditifs peuvent se confondre avec les casques audios, tout comme les fauteuils roulants verticalisateurs avec les gyropodes. L'entreprise doit analyser et être à l'écoute du marché pour choisir quand et comment satisfaire la demande et les besoins de ces utilisateurs anonymes et variés. Pour questionner les utilisateurs, ou des intermédiaires les représentant, elle doit identifier correctement le public visé afin de le préparer au produit et obtenir des retours cohérents pour le réajuster si besoin.

En effet avant de produire un dispositif technique handi-sportif à grande échelle il est pertinent de tenir compte de la vision globale des directions financières sur le marché, tout comme il est important de connaître voire d'inverser les attentes de l'opinion publique en rendant l'innovation plus attractive. De plus, une innovation controversée avant son lancement devra fournir a minima les mêmes avantages que des produits existants et à des coûts abordables pour tous, comme l'exosquelette. Il est donc stratégique de communiquer sur son existence et son intérêt. Cette communication doit se faire auprès des médias et des décideurs politiques en priorité, elle doit être suivie de campagnes d'information de l'État ou des associations. Par exemple l'État peut faire des reportages sur les méthodes de fabrication de

dispositifs sportifs ou sur les athlètes s'entraînant pour les prochains Jeux Paralympiques. Ces reportages peuvent être succédés par des campagnes publicitaires de revendeurs présentant le dernier modèle de tenue sportive ou de matériaux adaptés aux compétitions.

Ensuite l'entreprise doit disposer de moyens techniques et humains suffisants pour mener à bien son projet avec si possible les experts scientifiques du domaine et le meilleur outillage technologique possible. Elle doit également surveiller les innovations susceptibles de faire basculer la stratégie de l'entreprise et les travaux de recherche ainsi qu'avoir des juristes formés à la mise sur le marché du produit pour optimiser la commercialisation. Par exemple, les équipes de recherche de chaque pays collaborant autour des Jeux Paralympiques préservent leurs découvertes innovantes le plus longtemps possible hors du marché commercial avant la compétition afin de favoriser les chances de victoire de leur champion. L'entreprise partenaire est mise en avant par les équipes et tout particulièrement en cas de victoire avec ses produits.

Il est primordial pour réussir une innovation de l'adapter afin de l'intégrer et d'être soutenue par le réseau d'acteurs existants qui amplifiera son aura et lui permettra d'exister. Pour perdurer, l'innovation doit apporter de l'intérêt aux acteurs locaux qu'il est nécessaire de consulter afin de rendre les réparations et les transformations accessibles localement, ou encore de s'assurer des problèmes et des besoins propres à l'environnement des utilisateurs. Il est donc pertinent d'interroger les usagers sur l'utilisation et leurs idées sur l'éventail des possibles. Ces derniers jouent un rôle dans l'innovation et détournent variablement l'utilisation d'objets existants de leurs usages et leurs fonctionnalités d'origine selon la flexibilité du dispositif. Par exemple, ils remplacent la poignée d'un tiroir par une cuillère à soupe (Fig. 2.11) ou utilisent un sèche-cheveux tantôt pour dégivrer un réfrigérateur tantôt pour raviver un barbecue. De nouveaux choix techniques de conception ou de design de l'objet peuvent ainsi apparaître, laissant place à un dispositif neuf ou transformé. Ainsi l'usage de patins aux roues alignées entre deux lames de métal inventés en 1965 par Yoshisada Horiuchi afin d'entraîner durant l'été l'équipe japonaise de hockey sur glace a été détourné de son usage initial pour développer les rollers en ligne [Lewisch, 1996]. L'innovation peut également venir d'une adaptation parfois simple d'un objet existant, comme l'ajout sur un arc d'une boule permettant à une personne sans préhension d'utiliser sa bouche afin de manier l'arc. L'extension d'utilisation d'un objet offre également de multiples possibilités comme l'élastique utilisé dans le sport permettant la création d'exercices spécifiques [Akrich, 2013].

Une entreprise doit pouvoir vendre un produit de manière rentable afin de réussir à fournir au plus grand nombre des produits technologiques sportifs adaptés aux différents handicaps. Après une première analyse stratégique du coût complet de l'innovation, qui s'étend de l'achat de biens (locaux, matériaux) aux salaires du personnel, une analyse scientifique est nécessaire pour diminuer les coûts de l'innovation sans perdre les propriétés des matériaux utilisés. L'entreprise doit s'entourer d'alliés technologiques tels de bons maté-



FIGURE 2.11 – « Le coût avantageux ne peut être au mieux que le résultat chèrement acquis d’une série de décisions difficilement imposées et non la cause immédiate de ces décisions » [Foray and Le Bas, 1986].

Illustration : Détournement d’utilisation d’une cuillère à soupe en poignée de tiroir par un usager pour faciliter sa préhension.

riaux en carbone et d’alliés humains comme une opinion publique favorable par le biais de journalistes. Un pôle de recherche peut réunir tous les ingrédients humains et techniques nécessaires au succès de son dispositif, sans certitude du succès commercial. Il faut en effet pouvoir se fier à ces deux alliés fondamentaux mais également anticiper les variations de l’environnement. Par exemple, le travail de chercheurs avec les entraîneurs et les athlètes en fauteuil permet de cerner le compromis socio-technique en matière de gants pour les usagers. Ainsi pour avoir des gants techniques sur mesure et reproductibles facilement, les gants de l’athlète américaine Arielle Rausin conçus avec l’université de l’Illinois sont imprimés sur mesure à l’imprimante 3D à partir d’un moule de sa main. Cela permet de lui recréer à l’infini exactement les mêmes gants sans micro-variation pouvant affecter l’efficacité de sa bio-mécanique, qui à chaque changement de gants l’obligeait à réapprendre le mouvement. Elle permet également de diminuer considérablement le temps d’attente de fabrication ainsi que le coût d’une paire de gants qui est passé de 250 à 8 dollars [ingeniummanufacturing.com].

Pour accélérer le processus d’innovation, il est bénéfique de développer un lieu à financement

continu regroupant au même endroit les divers acteurs nécessaires. Ces acteurs travaillent sur l'innovation avec des objectifs simples et clairs, favorisant la communication et donc le compromis. Par exemple, les communautés des usines-état et des vallées scientifiques type Silicon Valley sont des microcosmes isolés de toutes distractions. Elles sont soudées autour d'un projet commun dans un univers réduit idéal pour tester le dispositif avant son expansion dans l'environnement extérieur. En effet, tout comme la société, les vallées scientifiques sont des univers riches et complexes. L'innovation doit être adaptée pour les utilisateurs et les intermédiaires, et elle doit avoir les porte-paroles adéquats. Par exemple, pour le développement de la langue des signes, l'Abbé de l'Épée a dû d'abord convaincre ses élèves et son école avant de répandre sa méthode hors des murs. Le choix du porte-parole est stratégique car il communique sur le projet pour trouver des alliés qu'il fait interagir ensemble jusqu'à adapter le dispositif à la société. Ainsi, si le projet est de développer la vente de livres pour dyslexiques, le porte-parole fera interagir les représentants du produit, les professionnels de santé, les dyslexiques et leurs familles, les revendeurs, les écrivains, et bien d'autres. Un lien humain est nécessaire afin de négocier et d'adapter la direction de recherche du travail commun pour le développer et construire un marché. Seul le résultat dira si les alliés choisis étaient légitimes, comme lors de la fabrication de fauteuils d'athlétisme (Fig. 2.12). Néanmoins certaines innovations deviennent avantageuses, non pas grâce à leurs caractéristiques propres, mais par l'obstination des inventeurs à transformer l'environnement jusqu'à en obtenir des avantages rentables. De fait, la transformation complète de sites industriels pour robotiser la main d'œuvre ne sera amortie qu'après des dizaines d'années [Molet et al., 1989].



FIGURE 2.12 – L'enjeu est dans tous les cas d'identifier les utilisateurs les mieux placés pour transformer l'innovation et la porter au devant de ce que demanderont les usagers. Intéresser et transformer sont les deux faces d'une même réalité.

Illustration : Conception d'un fauteuil d'athlétisme par les ingénieurs d'Ox en collaboration avec son usager Tomoki Suzuki.

Même avec un public averti et un environnement favorable, une innovation peut subir des

contraintes inattendues, telles la hausse du coût d'un matériau indispensable à sa fabrication ou du carburant permettant de réunir et d'acheminer le dispositif. Une analyse socio-technique, qui décrit à la fois les propriétés intrinsèques et les effets d'un objet ainsi que les milieux où il se déplace, peut être utilisée. Elle permet de comprendre les raisons de l'échec ou du succès de l'innovation afin de transformer sa stratégie économique en actions de recherche [Akrich et al., 1988]. L'important est de chercher en permanence le bon compromis socio-technique entre les caractéristiques techniques du produit et les revendications sociales des usagers et des alliés, comme trouver un matériau aux propriétés mécaniques d'intérêt à un moindre coût. Ainsi l'évolution darwinienne du fauteuil roulant présente des sélections et des variations hybrides développées en fonction des besoins et des attentes de la société. Par exemple, l'apparence visuelle des prothèses de jambe prennent un aspect robotique dans le sport, contre des variations diversifiées esthétiques ou discrètes dans la société civile. De même, le succès d'une innovation peut parfois survenir en modifiant le destinataire originel du produit. Ainsi le robot de téléprésence, pensé à la base pour la télé-présence en entreprise et en école, est pour l'instant un échec en trois ans d'utilisation au sein de l'ENS de Lyon. Ce même robot a trouvé un public inattendu auprès des enfants-bulle et de leurs familles en hôpitaux. Les multiples critiques à l'égard de ce dispositif peuvent servir à améliorer et diversifier ces prototypes.

2.3.1.2 Rôle de l'État

L'État a différents rôles dans le transfert et la diffusion d'innovations technologiques en lien avec le handicap. Ils s'étendent de la promotion publicitaire pour convaincre la population des bienfaits des pratiques sportives à la mise en place d'un arsenal législatif garantissant la sécurité des usagers dans leurs pratiques. L'État crée également des événements sportifs et instaure des dispositifs pour pousser chaque membre de la société à agir en faveur du handicap.

L'État a depuis un siècle mis en avant l'intérêt et les aspects mélioratifs de la pratique sportive valorisés par la société. Comme la pratique sportive prévient des risques sanitaires, l'État fait en sorte de (re)construire et développer un comportement sportif durable dans le parcours de vie des individus. Pour cela l'État a un rôle communicatif sur le handisport auprès des différents membres de la société. Les campagnes d'informations de l'État permettent d'informer les individus d'une situation et de la mettre en avant de manière positive, comme présenter la semaine annuelle du handicap. L'État peut également aider à mettre en contact et maintenir le lien entre demandeurs et créateurs, comme par exemple animer des discussions entre organisateurs et associations pour inclure le handisport à un événement sportif.

En plus de valoriser l'image du handicap et de favoriser les interactions sur ce domaine,

l'État met en place des politiques de développement des fédérations sportives axées sur le sport-santé. Ces fédérations doivent intéresser aux pratiques physiques traditionnelles et innovantes, adaptées selon les capacités physiques et les risques médicaux liés aux pathologies et à l'âge des pratiquants. Les fédérations doivent également tenir compte du parcours de soins, des besoins, des attentes mais également des ressources des pratiquants. Par exemple, une séance de sport peut être tout aussi efficace qu'une séance chez le professionnel de santé comme le kinésithérapeute avec un impact mélioratif supérieur, sauf que l'un est remboursé et l'autre non [Perrier and Perrin, 2017].

L'État peut investir pour favoriser la pratique sportive en la rendant accessible financièrement. Pour cela il peut mettre en place des subventions d'État ou encore développer le sport sur ordonnance chez les personnes atteintes d'affection longue durée (ALD). La prescription médicale d'une pratique sportive aux personnes atteintes de maladies chroniques par un médecin permet le remboursement total ou partiel par la Sécurité Sociale ou par certaines mutuelles. Ce dispositif permet aussi le remboursement générique partiel de certains matériels handisports, comme les fauteuils multi-sports et les tricycles, par les organismes de prise en charge si le fournisseur est formé, compétent et déclaré auprès de l'autorité compétente [handisport.org]. L'État peut également instaurer des avantages ou des pénalités financières auprès des entreprises pour les pousser à développer des gammes de produits adaptés aux handicaps, ou encore pour augmenter l'embauche des personnes en situation de handicap.

L'État est entre autre garant des formations diplômantes existantes depuis la première promotion STAPS avec spécialisation « Réadaptation par le sport » de 1982, ainsi que de la réglementation et la nécessité d'homologation du matériel permettant de s'assurer de la sécurité des utilisateurs [Marcellini and Villoing, 2014]. Toutefois l'État ne peut créer des législations sans tenir compte des pratiques des individus. Par exemple une loi obligeant le port du casque à vélo, matériel sécurisant les pratiquants, doit prendre en compte la multiplication des accidents due à l'augmentation de la dangerosité des voitures. En effet, les automobilistes roulent plus vite auprès des cyclistes casqués car ils estiment qu'ils sont en sécurité, et par ailleurs les cyclistes les moins motivés reprennent la voiture par manque d'envie de s'équiper du casque. Une implication de l'État pourrait néanmoins leur permettre de réinvestir l'espace public en faisant appliquer et en développant les lois sur l'accessibilité. Par exemple, l'État peut obliger l'installation d'appareils destinés aux personnes en situation de handicap sur les parcours de santé existants.

L'État peut également avoir son rôle à jouer en mettant en avant sur la scène internationale ses compétences en matière de savoir-faire technologique et de prise en charge des personnes en situation de handicap. La promotion et mise en valeur du handisport par l'État demande un investissement long terme et passe en effet par des facteurs évènementiels

visant l'innovation. Le soutien financier et la mise en avant par les États de compétitions internationales contribuent à améliorer l'image du handicap mais également à mettre en avant la technologie de pointe comme avec les Jeux Paralympiques. Les améliorations technologiques au profit de compétitions sportives paralympiques de haut niveau se propagent progressivement dans la société civile. Elles apportent un gain considérable au quotidien : par exemple la masse du fauteuil qui est passée de 40 Kg à 10 Kg en quelques décennies [Marcellini and Villoing, 2014]. La transformation du fauteuil d'athlétisme a permis de pousser les questions de l'aérodynamisme à son paroxysme, et donc de chercher à limiter la résistance au roulement de tous les fauteuils PMR (Personnes à Mobilité Réduite).

Les transformations technologiques optimisent la relation entre l'athlète de haut niveau et son matériel de compétition dans une logique de performance. En effet, la performance prévaut au détriment du bien-être de l'athlète. L'innovation s'effectue en premier sur la masse et la stabilité du matériel, puis éventuellement sur le confort de l'athlète. Le risque de blessure est néanmoins toujours pris en compte pour ne pas pénaliser le travail. De nos jours, le matériel utilisé pour les courses d'athlétisme est en passe d'atteindre un optimum. La recherche utilise du matériel de pointe axé désormais sur le positionnement des athlètes, quitte à réduire leur confort. Organiser la recherche étatique, avec ou non des partenariats d'entreprises et des associations, permet d'éviter une évolution empirique de l'innovation sportive. Une alliance permet toutefois d'obtenir des résultats plus rapides, destinés directement au bon public. Les défiscalisations proposées par l'État permettent de pousser de grandes entreprises à l'investissement et à l'innovation du matériel sportif, comme EDF qui est un partenaire financier de l'équipe Française des Jeux Paralympiques.

D'autres moyens d'actions étatiques sont également à envisager pour augmenter la pratique handisport, comme la création de labels pour l'accessibilité des personnes en situation de handicap. Différentes administrations peuvent contribuer à l'accessibilité comme les villes, les départements et les régions, dont les labels augmentent leur attractivité. Les sponsors des athlètes de haut niveau pourrait également participer à l'amélioration de l'accessibilité pour permettre à leurs champions d'avoir accès à des environnement où ils peuvent s'entraîner. Beaucoup de faibles aménagements peuvent en effet contribuer à augmenter l'accessibilité de lieux dédiés au sport comme les rampes, les plans inclinés et les bandes réfléchissantes. Par exemple, pour réduire les problèmes de déplacements urbains les villes comme Lille, Nantes ou encore Evry ont choisi de supprimer partiellement ou entièrement les trottoirs surélevés. Toutefois, la mise en place d'aménagements plus conséquents comme des ascenseurs est parfois trop coûteuse pour les villes. L'État ou les régions pourraient fournir les moyens aux villes et aux communes de se rénover tout en rendant cette proposition obligatoire via la loi et en s'assurant de son application. Elle peut appliquer la même méthode pour lutter contre la discrimination aux transports en commun constatée entre les valides et les paralysés moteurs. Les villes devraient fournir des offres de transports publics adaptées, ou

des transports spécialisés priorisant les besoins selon le handicap. Autrement ces transports spécialisés se retrouvent saturés par des usagers aux besoins moindres, comme les personnes âgées à Nice.

Des structures d'État et des associations peuvent également fournir une aide aux individus ou aux clubs pour réduire les coûts financiers et temporels de la pratique handi-sportive, ou encore pour augmenter la possibilité matérielle de tester les sports ou les fauteuils polyvalents et spécialisés. La Sécurité Sociale fournit un droit à la prestation de compensation, la Maison Départementale des Personnes Handicapées (MDPH) peut aider financièrement pour les frais liés au handicap restant à charge. Les associations sportives peuvent pour leur part obtenir des subventions territoriales (CNDS) afin d'acquérir du matériel destiné à la pratique handi-sportive, tandis que les comités et clubs affiliés à la FFH peuvent bénéficier d'un financement fédéral. Le soutien de l'association *les Bouchons d'amour* permet l'achat de matériel par la vente des bouchons collectés sur le territoire [cnds.sports.gouv.fr ; handisport.org]. Des subventions pour l'acquisition de matériel, au montant variable selon la zone géographique, peuvent également provenir des comités régionaux et départementaux handi-sport. Des fondations d'entreprises privées et des clubs de services des communes ou départements comme l'Inner Wheel, le Rotary club, les Kiwanis, ou le Lions Club participent aussi [handisport.org]. Les politiques peuvent également encourager le développement de sports de nature et l'aménagement de structures sportives adaptées au handicap afin de favoriser la pratique de proximité dans une optique de développement durable [Brundtland et al., 1988].

2.3.1.3 Rôle des associations

Le rôle des associations dans le transfert de la technologie de pointe auprès des individus est variable. Les associations défendent le droit et l'accès des personnes en situation de handicap à la pratique sportive et militent pour faire évoluer le regard sur le handicap. Grâce à leurs réseaux, les associations font la promotion de la pratique sportive. Elles organisent des événements et aide les particuliers à avoir accès au sport.

Les associations comme la FFH (Fédération Française de Handisport) forment un réseau d'entraide important autour du handisport. La pratique sportive actuelle des personnes en situation de handicap n'est plus uniquement à visée rééducative. Elle est mise en avant pour l'entretien physique du corps, le loisir et la compétition. Les associations font alors la passerelle entre les personnes en situation de handicap, leurs familles, les États, et les entreprises. En effet, souvent des personnes en situation de handicap en quête de sensations bricolent des dispositifs existants pour pratiquer des sports extrêmes. La diffusion par les associations de ces pratiques sportives permet de les démocratiser au plus grand nombre : Ces sports sont ainsi encadrés, puis régulés par les institutions pour sécuriser la pratique. Les associations forment des alliances avec des producteurs industriels de matériel médical

et sportif pour créer des matériaux adaptés pour ces nouvelles pratiques sportives, telles le kite-surf ou le fauteuil Tout Terrain.

Les associations sont un partenaire privilégié pour apporter de la cohérence dans tous projets d'inclusion du handicap. Par exemple, pour relier de manière correcte l'univers sportif et l'univers du handicap, il est nécessaire de créer des partenariats entre les fédérations, les associations de loisirs, et les partenaires financiers. Sans connaissance approfondies de l'univers du handicap, les tentatives de prises en compte de ce dernier rencontrent un succès limité. C'est particulièrement flagrant dans le Bâtiment où des constructions longues et coûteuses ne sont pas utilisables ou trop stigmatisantes. Par exemple, installer des rampes d'accès à une douche la rend adaptée, mais ces douches sont trop stigmatisantes pour être acceptées par des personnes en situation de handicap comparées aux douches italiennes, adaptées et invisibles. De même, certaines rampes d'accès à des bâtiments ayant une pente supérieure à 6 % ou trop longues ne sont pas utilisables par les personnes en fauteuils manuels.

L'environnement doit parfois être repensé entièrement pour faciliter l'accessibilité au handicap tout en évitant la stigmatisation et en favorisant l'autonomie. La coopération et l'investissement de groupes actifs divers peuvent être menés par les associations dédiées au handisport. Dans le cas des domaines aquatiques, la FFH peut par exemple agir en trinôme avec les diverses écoles sportives de plongée et les usagers afin de former les professionnels sportifs, et accompagner les régisseurs pour transformer les zones balnéaires.

En plus d'être un locuteur pertinent, les associations sont le relais idéal de la mise en place d'une volonté gouvernementale tournée vers le handicap. Leur poids associatif est important auprès de l'État ce qui leur permet d'obtenir des aides comme des emplacements ou des subventions pour acquérir du matériel. Ainsi, grâce à la diminution des coûts du matériel via des subventions, un individu ou un club pourra être en capacité financière d'investir dans du matériel afin d'effectuer une pratique sportive. L'aspect collectif de la pratique en club présente en effet l'avantage d'avoir du matériel prêté ou à disposition comme d'avoir l'accès à un local pour stocker son équipement sportif. Le regroupement permet d'obtenir plus facilement, et pour un plus grand nombre d'individus, une aide financière pour l'acquisition de matériels sportifs ou pour la création d'un espace sportif adapté. Cela permet également la multiplication des clubs qui vont alors être présents dans des endroits isolés, la proximité et la facilité d'accès favorisant la pratique sportive. Pour les zones à forte densité de population, les associations peuvent conseiller l'État et les collectivités à favoriser la pratique sportive en réaménageant l'espace urbain pour le rendre plus sécuritaire et plus accessible à tous. Par exemple, les communes peuvent installer des dispositifs évitant l'empiétement de véhicules autour des zones d'accès, ou encore d'en rénover le bitume.

Pour les zones reculées ou ne disposant pas de clubs permettant l'accès à un espace de pratique sportive, la création et l'aide au financement de « home training » adaptés pourraient favoriser la pratique sportive à domicile. Certains matériaux existants, comme les consoles de

physio-gaming, doivent en effet être repensés selon les besoins des utilisateurs pour innover auprès des personnes en situation de handicap. L'innovation doit se faire avec les individus concernés grâce aux associations. Avec la pratique en ligne, il est possible de faire du sport avec des proches à distance, ou encore de se créer un nouveau réseau de connaissances. Le matériel doit être pensé pour le handicap sans être stigmatisant et sans séparer la pratique valide de la pratique handi-sportive. Par exemple, il est possible d'adapter un dispositif de jeu existant à une personne en situation de handicap, comme les règles du handi-tennis.

Un des points majeurs pouvant pousser l'individu à la pratique est le soutien psychologique apporté par la pratique collective. Un travail pour le sport inclusif effectué auprès des valides pourrait également diminuer la stigmatisation de la pratique. Les actions des associations permettent de promouvoir les pratiques sportives et le handicap auprès des valides comme des personnes en situation de handicap. Les associations peuvent communiquer sur des événements en lien avec le handisport pour relayer l'information et augmenter l'aura de ces événements. Les associations peuvent également organiser ces événements pour sensibiliser à l'intégration sportive, comme les journées nationales du handisport organisées annuellement par la FFH (Fig. 2.13). Les grandes associations comme la FFH peuvent même prêter pour des événements ou prêter durablement aux clubs sportifs du matériel aux personnes en situation de handicap.

De plus les associations participent depuis le début de ce siècle à la mise en place d'espaces inclusifs permettant la pratique sportive [Fougeyrollas, 2010]. La mise en place par les associations de labels pour les environnements adaptés aux handicaps peut contribuer au développement de la pratique sportive. Le choix d'un lieu de séjour touristique assurant à la fois l'autonomie, l'accessibilité, et le confort des usagers crée un attrait décisif. Cet investissement pourra éventuellement être rentabilisé, et un label pourrait augmenter l'attractivité du lieu. Il existe actuellement le label « Espace loisir handisport » où les encadrants sont formés au handicap, le matériel est adapté, et où tout l'espace est tourné vers une logique d'autonomie de l'individu [Marcellini and Villoing, 2014].

Les associations en lien avec le handisport veulent favoriser la pratique sportive des personnes en situation de handicap. Les handi-sports les plus valorisés sont ceux ayant une faible nécessité en matériel technique, privilégiés dans les centres de soins ou les clubs, mais également ceux où la force physique est mise en avant, comme un vestige historique des liens étroits avec les anciens combattants. Or la mise en avant de la performance axée sur la puissance dessert les personnes ayant les capacités ou la force physique réduite, tel les personnes en situation de handicap, mais également les femmes, le genre ayant une place privilégiée dans l'histoire des discriminations. De fait, en situation de handicap, il y a nettement moins de femmes qui pratiquent un sport que d'hommes, alors qu'elles sont plus nombreuses (26,28 % contre 23,47 %) [Ravaud and Ville, 2003, Marcellini and Villoing, 2014]. Le sport reste ancré à l'image de la masculinité, il est même utilisé par les hommes pour affirmer



FIGURE 2.13 – « Ce qui nous intéresse avant tout, c’est de faire des activités physiques et sportives à des personnes handicapées. » G. Masson, président FFH, [Marcellini and Villoing, 2014]

Illustration : Brochure sur les journées nationales du handisport 2020.

ou réaffirmer leur identité sexuelle et leur virilité. Malgré des avancées législatives en faveur d’une diversité et d’une mixité sportive, les discriminations subsistent entre les êtres humains qui sont considérés comme des « Organismes Culturellement Modifiés » [Héas, 2010].

La transformation ou la mise en avant de sports plus en lien avec la différence avec une mise en valeur des capacités de chacun pourraient aider à faire reculer ces discriminations persistantes. En effet, ce n’est pas le sport en tant que tel qui a des vertus de sociabilisation, de renforcement du lien social et d’intégration, mais il peut permettre une (re)construction identitaire originale de personnes reconnues handicapées par la société. Certains sports spéciaux, valorisés et intégrés, permettent même de renforcer son identité relative au handicap comme le tornball pour les déficients visuels. Le tornball est un sport où les participants sont aveuglés. La personne habituée à cette déficience sensorielle s’en retrouve avantagée, et les valides sont déstabilisés. La reconnaissance de leurs capacités et la possibilité de sortir de la comparaison valides/invalides favorisent la création de leur identité en temps que personne en situation de handicap, et de passer outre ledit handicap. La pratique sportive n’aura toutefois un impact sur l’insertion sociale et la restauration identitaire que si cela a du sens pour les personnes en situation de handicap [Le Breton, 2011]. Les associations

ont et doivent conserver leur premier objectif qu'est leur rôle sociétal et doivent redoubler d'imagination pour déployer la pratique sportive.

2.3.1.4 Rôle des médias

Les médias ont un rôle de diffuseur des images et des représentations du handicap. Ils communiquent sur les sportifs en situation de handicap et sur leurs dernières innovations technologiques [Marcellini and Villoing, 2014]. Par bien des aspects, la médiatisation a un impact positif sur la pratique handi-sportive. Néanmoins les enjeux liés à cette médiatisation sont responsables de comportements nuisibles au bien-être des athlètes.

La médiatisation permet de mettre en avant le champ social du handicap, jusque là invisible. La visibilité déclenche une indignation et une reconnaissance de leurs conditions de vie jugées intolérables, comme cela l'a été historiquement pour l'homosexualité, les réfugiés, ou la condition de la femme. La mise en lumière du handicap par la médiatisation peut alors entraîner un cercle vertueux dans la considération et la prise en charge du handicap, comme avec les sketches télévisés de l'humoriste Jérémy Ferrari (Fig. 2.14). Il subsiste encore une importante barrière pour l'accès à la culture des personnes en situation de handicap, avec par exemple très peu d'émissions sous-titrées ou signées à l'exception du direct de l'assemblée nationale et de quelques émissions de France 3 et ARTE.

La médiatisation permet de présenter et de populariser les handicaps et les dispositifs techniques adaptés à de potentiels utilisateurs répartis sur le globe. L'image dépeinte entre en résonance et nous crée un univers mnésique visuel, sensitif et émotionnel sur le sujet [Marcellini and Villoing, 2014]. La médiatisation du sport pousse les individus à la pratique physique, d'où l'importance de la mise en lumière du sport adapté. Les personnes en situation de handicap dans notre société basée sur la performance souhaitent se dépasser, pour prouver quelque chose aux autres ou à soi-même. L'individu voit son intérêt pour la pratique sportive croître en s'emparant des notions de bien-être physique, psychologique et psycho-sociale qui s'en dégagent. La performance favorise la déstigmatisation du handicap et permet également à l'individu de se reconstruire une identité par son opposition entre le corps en situation de handicap et le corps sportif [Marcellini and Villoing, 2014].

À la question de comment mettre sur le devant de la scène médiatique le handicap, les Jeux Paralympiques apportent une réponse. La médiatisation croissante du handisport et des Jeux Paralympiques agit sur la pratique physique. Le point de vue et les messages sur les athlètes paralympiques sont un chemin d'accès à une normalisation du handicap. Le bond médiatique du sport avec les publicités et la création de stars sportives valorisent la pratique, tout comme les résultats sportifs positifs sont la vitrine de la qualité et l'efficacité des produits sportifs proposés.



FIGURE 2.14 – « **Ceux qui naissent à peu près sains bénéficient de toutes les faveurs. Un petit défaut d’esprit, un grain de légèreté en trop, une faille dans l’organisation atteint des châtements inexplicables.** » Jacques Charonne, écrivain.

Illustration : L’humoriste Jérémy Ferrari dénonçant les manquements éthiques télévisuels dans une émission fictive « handicap, handi pas cap ? » en 2014, avec David Foppolo.

Il n’existe à ce jour aucune obligation des médias d’accorder du temps d’audience aux Jeux Paralympiques (J.P) ou au handisport. Malgré tout, la médiatisation est bien un outil qui peut faire avancer le regard sur le handicap car elle permet de transmettre les modèles culturels dominants et leurs valeurs [Marcellini and Villoing, 2014]. Ce combat de communication est ancien, le dynamisme et l’endurance des organisateurs des Jeux pour personnes en situation de handicap depuis les premiers Jeux de Stoke-Mandeville de 1948 s’est vu récompensée par des premiers sponsors pour J.P en 1992. En plus de 40 ans les résultats positifs français lors des J.P et la proximité géographique des épreuves ont contribué à l’augmentation de l’intérêt médiatique pour le suivi des Jeux et du nombre de reportages sur les champions [Noël, 2012]. La réduction du nombre de catégories après les Jeux de 1988 a professionnalisé les J.P. La logique « tous gagnants » mêlant compassion et pitié s’est tournée vers une dimension plus compétitive avec une vision positive du sportif, ce qui fait évoluer la manière de médiatiser le handisport. Ainsi, lors des Jeux d’Atlanta, les résultats présentés en France et en Allemagne par les journaux principaux concernaient uniquement les sportifs nationaux, et la manière de parler des handi-sportifs était alors assez infantilisante et triviale [Schantz and Gilbert, 2001, Marcellini and Villoing, 2014].

En effet la médiatisation est tout aussi importante que la manière de montrer. D’après DePauw, nous pouvons regrouper en trois catégories le handisport dans les médias : totale invisibilité du handi-sportif, visibilité en tant qu’athlète, ou visibilité en tant que personne handicapée [DePauw, 1997]. Ainsi entre 2000 et 2008, les photos prises aux J.P dans la catégorie « visibilité en tant qu’athlètes » sont passées de 60 % à 38 % au profit de la catégorie

« visibilité du handicap » qui est passée de 18 % à 38 %. Il y a néanmoins eu une augmentation du nombre de photos hors compétition plus passives ou en portrait, augmentation qui pourrait être due à une déstigmatisation ou à une invisibilisation du handicap. Cependant, certains records mondiaux supérieurs aux valides passent même inaperçus, comme le record mondial d'haltérophilie de la catégorie des 60 Kg qui a été battu de 12 Kg par une personne en situation de handicap en 2004, plaçant le nouveau record à 202 Kg. Les personnes en situation de handicap ne sont ainsi pas encore perçues comme des athlètes à part entière et sont toujours considérées comme des handicapés, même si cette tendance s'inverse depuis les Jeux Olympiques (J.O) de Londres de 2012. Les J.O et les J.P ont, depuis, les mêmes comités d'organisation à quelques semaines d'intervalle. Les épreuves se déroulent dans les mêmes infrastructures, ce qui a accentué la couverture médiatique autour des Jeux Paralympiques [Marcellini and Villoing, 2014]. Les communiqués de presse paralympiques officiels reconnaissent la performance sportive sans pour autant nier l'expérience vécue du handicap. Cette reconnaissance médiatique est nécessaire et centrale pour permettre aux sportifs de haut niveau de vivre annuellement de leur passion en devenant un terrain de choix pour les sponsors qui développent des partenariats.

Ainsi l'accueil des Jeux Paralympiques et Olympiques par un pays lui apporte de la publicité, de la fierté et des profits, et permet également de faire la promotion du handicap. Il a été montré qu'accueillir ou se préparer à héberger les J.P est un réel bénéfice social pour les personnes en situation de handicap car cela augmente significativement et durablement la médiatisation des handi-athlètes dans les pays organisateurs. Ainsi les journaux Grecs sont passés de 4 photos sur les J.P de Sydney en 2000 à 22 en 2008 aux Jeux de Pékin, sachant qu'Athènes a accueilli les Jeux de 2004. De même, les championnats d'athlétisme handisport de 2013 à Lyon ont été exceptionnellement diffusés tous les après-midi sur France TV. Annuellement, en France, le seul sport médiatisé est le football, la diffusion des J.O fait figure d'exception [Marcellini and Villoing, 2014]. Nous pouvons supposer que l'arrivée des Jeux de Paris en 2024 va modifier les rapports du pays avec le handicap. Par exemple au Royaume-Uni, la couverture médiatique et la représentation du handicap avant et pendant les derniers Jeux paralympiques de 2012 et 2014 se sont améliorées qualitativement et quantitativement. Les sujets en lien avec les J.P sont depuis plus étendus et plus profonds. Le gain médiatique profite à tous les handicaps et est utilisé par les personnes en situation de handicap pour mettre en avant leurs revendications. Le développement des médias sociaux permet aux athlètes de s'exprimer directement et librement sur leur vision de la pratique sportive et leurs objectifs, permettant une objectivisation du handicap. Le développement de chaînes dédiées au handisport, comme ParalympicsTV sur Youtube, offre une visibilité inégalée jusqu'alors et aide entre autre à remédier au déséquilibre de la couverture des événements sportifs entre pays riches et pays pauvres [Beacom et al., 2016]. Cette visibilité universelle inédite peut stimuler des pays en voie de développement à s'équiper pour la pratique du handisport. La diminution des couplages financiers par rapport aux médias

traditionnels augmente la diversité des pratiques sportives présentées. De plus, plutôt que d'adopter une logique de performance cherchant la comparaison avec les valides, la mise en avant médiatique de nouveaux sport adaptés et inclusifs, comme le cecifoot, permet de renverser les regards sur le handicap [Marcellini and Villoing, 2014]. C'est aussi pourquoi il est important de mettre en avant les Jeux Paralympiques sans risquer d'invisibiliser le handicap. Cela pourrait passer par exemple par un tirage au sort sur l'ordre de passage entre J.O et J.P.



FIGURE 2.15 – « **Mal nommer un objet, c'est ajouter au malheur de ce monde.** » Formulation apocryphe d'Albert Camus.

Illustration : Un juge essaie par réflexe de serrer la main à l'archer double amputé médaillé d'or Matt Stutzman en 2015 à Toronto [Parain, 1945].

La médiatisation présente toutefois des revers : comme un projecteur, elle surexpose un sujet à sa lumière aveuglante, laissant dans l'obscurité les alentours. Longtemps les Jeux Paralympiques ne donnait pas satisfaction aux athlètes par manque de reconnaissance, ils étaient alors dans l'ombre des athlètes olympiques. Les *démonstrations* d'athlétisme en fauteuil aux J.O faisaient exister le handicap par hyper-médiatisation. Les handi-sportifs préféraient alors se disputer pour les effectuer plutôt que de concourir assez anonymement aux Jeux Paralympiques. Les tensions et jalousies de la part des autres sports ont accéléré la suppression de ces démonstrations en 2004 par le Comité International Paralympique, malgré l'atout médiatique général qu'elles présentaient pour l'image du handicap. Le risque effectif de la médiatisation des compétitions sportives est de prioriser uniquement le spectaculaire et la performance, montrant ainsi la puissance où les sports peuvent être comparés aux valides. La diversité du handisport, qui fait sa richesse et sa force, pourrait être mis à mal. Certains sports moins reconnus ou des catégories de handicap plus lourdes pourraient être complè-

tement masquées par d'autres plus attractives ou plus compréhensibles. Il est effectivement souvent nécessaire de mettre en perspective les capacités physiques des handi-athlètes pour comprendre pleinement les performances. Le choix des sports mis en avant et ceux en retrait influe sur la perception sociale du handicap.

Malgré la collaboration avec le comité international paralympique, les représentations médiatiques du handicap restent stéréotypées avec des discours hyperboliques et sensationnalistes. Les exploits sportifs ne sont pas au centre de l'attention et les athlètes devenus autonomes sont présentés comme des bêtes de foire (Fig. 2.15). Les médias traditionnels cherchent en effet à vendre au maximum leurs histoires. Le récit spectaculaire de l'athlète handicapé triomphant sur l'adversité grâce à ses capacités physiques et mentales avec l'appui des progrès médicaux est mis en avant au détriment de ses capacités sportives. Les images privilégiées sont uniquement celles des performances sportives esthétiques axées sur des mouvements corporels déterminés et contrôlés, montrant l'excellence et la compétence de l'athlète [Beacom et al., 2016]. De plus, il est nécessaire d'expliquer le lien entre le vécu des athlètes et leurs performances sportives lorsque le récit personnel est mis en avant.

Les médias se basent sur des discours culturels qu'ils alimentent à leur tour, or ces images sont loin de refléter les difficultés quotidiennes de la majorité des personnes en situation de handicap. Les médias risqueraient d'être utilisés pour véhiculer un idéal de vie pourtant creux en applications. Par exemple, au vu des transformations de notre société vers le tout-inclusif, nos médias pourraient contenir dans plusieurs années du handi-washing publicitaire de la part d'entreprises souhaitant mettre en avant leurs qualités d'inclusion, avérées ou non. En effet, une technique couramment utilisée en (neuro)marketing est de vanter non pas les propriétés intrinsèques du produit, mais de mettre en avant son utilisation comme un style de vie agréable et à la mode. La diffusion par les médias d'une image biaisée de notre environnement fausse notre perception et freine notre adaptation à la réalité. Les méfaits d'une absence de médiatisation ou d'une mauvaise médiatisation peuvent avoir des conséquences néfastes sur le mode de vie ou la psychologie de l'individu. Une sur-médiatisation peut en revanche être dangereuse pour l'intégrité physique des athlètes. En effet, le domaine du handicap est encore peu médiatisé et il a jusqu'ici moins d'enjeux. Toutefois, avec le gain en visibilité des J.P, les sponsors sont plus exigeants et veulent des résultats, des médailles, ou encore des droits à l'image [Marcellini and Villoing, 2014]. L'augmentation des enjeux pousse les athlètes à prendre des risques pour leur santé, que ça soit par un sur-entraînement ou par la prise de produits dopants.

2.3.1.5 Actions communes

Nous avons vu que les acteurs du transfert de la technologie de pointe dans le handisport ont des rôles précis à jouer. Une réflexion commune autour du handicap permet l'amélioration des conditions sociales et matérielles des individus liés aux personnes en situation de

handicap. Les bénéfices du transfert technologique s'étendent des usagers et leurs familles aux enseignants sportifs en passant par les concepteurs, les fabricants, les distributeurs et l'environnement géographique des lieux d'usage. Grâce à son cercle vertueux, c'est parfois des secteurs de l'économie entière qui se développent et vivent de ces innovations, comme le tourisme de masse fait vivre les zones côtières et montagnardes. Créer la motivation chez les personnes en situation de handicap tout en ayant les moyens d'y répondre nécessite une coordination entre différents acteurs pour augmenter l'efficacité du transfert technologique. Par exemple, les facultés doivent assurer la formation du personnel encadrant les pratiques handi-sportives, les administrations locales et les clubs de sport sont chargés d'aménager des zones adaptées pour la pratique et les fabricants de matériels handi-sport doivent avoir du matériel adapté aux différents handicaps. L'État doit faire des campagnes de sensibilisation au handi-sport auprès des utilisateurs potentiels et leurs proches.

Autre exemple, les associations, avec le soutien de l'État, pourraient instaurer des journées de sensibilisation au handisport au sein des écoles, dans le cadre de la semaine du handicap créées pour sensibiliser à la question de l'intégration sportive. La distance entre valides et personnes en situation de handicap peut être gommée : les valides peuvent découvrir ou approfondir le handisport et ces activités peu connues. Les handi-sportifs peuvent expliquer les difficultés rencontrées dans leur pratique du fait de leur handicap. Les associations organisent déjà des journées portes ouvertes comme les journées nationales handisport pour présenter les différents sports, et permettre à tout public de tester différentes disciplines sportives. En effet, si un individu apprécie le sport testé, il a beaucoup plus de chances de s'y intéresser par la suite. Durant ces événements, les entreprises partenaires en lien avec le handisport ou le matériel médical peuvent faire découvrir et tester au public leurs gammes de matériaux et leurs innovations, comme par exemple montrer les avantages et les inconvénients entre des fauteuils polyvalents et les fauteuils spécialisés. Faire participer des professionnels de santé à ces événements permet également d'utiliser ces journées comme vitrine de leurs savoir-faire. Les « sportifs du dimanche » peuvent venir découvrir d'autres disciplines sportives, régler correctement leurs équipements sportifs ou encore connaître les précautions d'usage. Les politiques territoriales en matière de handicap sont également mises en avant tandis que divers acteurs du handicap peuvent se rencontrer. Des séminaires, formations, conférences et débats organisés permettent de faire progresser les idées dans ce domaine. Ainsi ce cercle vertueux satisfait tout le monde car il est possible de tester différents sports et différents matériaux, d'échanger sur la pratique sportive avec des professionnels sportifs et des professionnels de santé, et découvrir les nouveautés des revendeurs de matériaux spécialisés. Les équipes de recherche pourraient également y participer pour présenter les trajectoires de recherche tout en recueillant l'avis et les idées des intéressés. A noter toutefois qu'une communication autour de l'évènement est indispensable pour attirer les foules et en faire un succès, quitte à l'intégrer à une journée festive ou à un autre évènement sportif à succès pour mettre en avant l'aspect mélioratif.

Les évènements sportifs pour le handicap doivent toujours se faire avec les personnes en situation de handicap. En effet, même avec d'excellentes intentions, des erreurs grossières d'installation comme celles du Cybathlon peuvent dissuader les personnes en situation de handicap de participer à nouveau à l'évènement si intéressant soit-il (Fig. 2.16). Le Cybathlon est une compétition technologique d'athlètes en situation de handicap mettant en valeur les savoirs-faire des pays participants qui a lieu tous les 4 ans à Zurich en Suisse depuis 2016. La compétition oppose les participants dans des épreuves de la vie courante comme visser une ampoule avec une prothèse de bras ou avancer en fauteuil roulant sur un escalier. L'objectif est de favoriser les rencontres entre laboratoires pour échanger autour de l'innovation, tout en présentant au grand public les nouveautés de la recherche. Ces rencontres nécessitent d'être organisées avec les personnes en situation de handicap qui peuvent repenser l'optimisation des technologies et l'accessibilité de l'évènement aux différents handicaps en tant qu'utilisateurs. Les équipes françaises nous ont par exemple rapporté la présence d'une seule toilette adaptée au handicap situé à l'opposé des vestiaires.



FIGURE 2.16 – « Parmi les moyens les plus efficaces de pousser la recherche à développer les évolutions technologiques dans le domaine du handicap, et de les rendre accessibles à la société civile, se trouvent la guerre et les compétitions internationales ». Réflexion commune.

Illustration : Course en exosquelette au Cybathlon 2016. L'armée est le premier financeur de la recherche sur les exosquelettes.

2.3.2 Vers une autre construction du handisport ?

La pratique sportive est divisée entre le sport antique pratiqué par l'individu pour sa santé, et le sport-spectacle moderne et compétitif. Ces deux systèmes à la fois opposés et complémentaires ont pour valeur centrale commune l'égalité. Le terme *sport* provient de l'éducation physique de l'Antiquité où la pratique est à visée médicale, pédagogique et militaire. D'après Hippocrate, la pratique apporte bien-être, l'épanouissement et équilibre. Son rôle libérateur permet d'oublier ses problèmes et de s'y opposer tout en se socialisant par l'appartenance à un groupe de partenaires de jeux [Gaillard, 2007]. Le sport de l'individu est un sport amateur de masse où la seule compétition est avec soi-même. Le sport moderne est né pour sa part fin du XVIIIe et s'est développé au XIXe-XXe siècle avec des objectifs professionnalisants de compétition, de records, et de fédération. Il est pratiqué dans l'excès et la démesure avec pour objectif le dépassement de soi. Le sport-spectacle est un sport professionnel destiné à l'élite qui met en compétition les égos et organise l'incertitude pour obtenir du spectaculaire, ces rouages donnant à la démocratie le théâtre dont elle a besoin pour mettre en scène l'égalité. La médiatisation couplée avec l'individualisation massive encouragent la mise en avant des exploits sportifs, l'idolâtrie des champions présentés comme des modèles de réussite sociale. La pratique sportive est revendiquée comme un idéal de santé et de performance, mais également un idéal social, moral et collectif : Le corps et les intentions sont pures. La pratique sportive correspond à notre société égalitaire et se doit d'être démocratique, spectaculaire et éthique. L'équité doit être présente au départ et dans le règlement tandis que les joueurs doivent faire preuve de fair-play et l'arbitre de justesse. C'est pourquoi le dopage sportif, interdit et extrêmement mal vu, est si fortement réprimandé [Yonnet, 1998].

En effet la société entière est mise à mal par des inégalités toujours plus fortes, avec une ascension sociale bloquée par la corruption et les diverses triches [Queval, 2001]. Selon un rapport de l'OCDE (Organisation de Coopération et de Développement Économique) de 2018, il faut en France six générations pour que les enfants nés dans une famille au bas de l'échelle sociale atteignent le revenu moyen. Le revenu moyen des 10 % les plus riches de la population est environ neuf fois et demi plus élevé que celui des 10 % les plus pauvres, alors qu'il y a 25 ans le facteur était de 7 à 1 [oecd.org]. D'après les rapports de l'Oxfam (une confédération d'organisations indépendantes), en 2015 1 % de l'humanité possèdent 50% des richesses du monde, et 80 % de la population mondiale se partage 5,5 % des richesses. En 2020, ces 1 % de l'humanité possèdent plus du double de la richesse de 92 % de la population mondiale (6,9 milliards de personnes). Les hommes détiennent dans le monde 50 % de richesses en plus que les femmes, qui sont souvent exclues du système décisionnel : dans le monde 18 % de ministres et 24 % parlementaires sont des femmes [oxfamfrance.org]. Face à ces inégalités, le sport de haut niveau se doit d'être exemplaire car il représente ce que devrait être la société en terme d'égalité des chances, aussi lorsque les tricheries sportives sont découvertes les sanctions sont lourdes, dans la discipline comme

dans la société [Queval, 2001].

Dans notre société moderne la pratique physique est une quête de l'infini inéquilibré, une culture du progrès contradictoire à une vie saine. La contradiction du bien et du mieux se confondent tout comme les idéaux de santé et de performance, l'historique et le social [Queval, 2001]. La séparation se retrouve dans le terme enseigné à l'école, EPS éducation physique ET sportive qui montre bien que le sport ne peut plus se suffire à lui-même. La sportivisation du handisport est l'assujettissement idéologique de la pratique physique aux valeurs du sport. Elle a permis au handisport d'échapper à la tutelle médicale en mettant toutefois à mal l'idéologie inclusive du handisport. Il est important pour le handisport de conserver sa différence tout en faisant évoluer son identité collective et en poursuivant son intégration au monde sportif. Cet univers permet de réussir dans une compétition encadrée et réglementée via la performance et de correspondre à la norme sociale de bonne santé. Notre société est entièrement tournée vers la nécessité d'être performant et sain, comme nous le rappelle notre environnement publicitaire. Des produits dopants nous vantent les mérites du mieux-être physique d'un corps parfait répondant aux critères actuels de beauté et d'un mental toujours ultra-efficace en utilisant des produits destinés à vaincre les troubles psychologiques comme l'anxiété et le stress. Ce désordre social s'exprime par le dopage sportif qui permet, malgré l'inégalité qu'il apporte, de parvenir à la performance [Queval, 2001]. La professionnalisation de la pratique handi-sportive augmente l'intensité et la dangerosité du dopage physique, effet négatif de la compétition. Jusqu'alors le dopage était l'exception et relevait plus de tentatives de mauvaise sélection de catégories. La catégorisation fonctionnelle pose en effet des difficultés techniques de validité des tests de mesure des déficiences motrices ou intellectuelles. Cela a produit de nombreuses tricheries lors des phases de test avec des individus qui se faisaient passer pour plus handicapés qu'ils ne l'étaient [Noël, 2012, Marcellini and Villoing, 2014]. Récemment, des méthodes plus dangereuses de « dopage-boosting » ont été constatées. Des athlètes lésés médullaires se blessent volontairement pour provoquer une dysrèflexie autonome qui va augmenter leur pression artérielle, générer un afflux sanguin et créer une décharge d'adrénaline [Noël, 2012, Marcellini and Villoing, 2014]. Par exemple, ils bloquent leur sonde urinaire pour distendre leur vessie, sanglent leurs jambes (strapping), mutilent leurs membres inférieurs en se fracturant les orteils, s'infligent des chocs électriques, ou encore se tordent et s'écrasent les testicules [Bhambhani et al., 2010].

Lorsqu'on considère le rapport nature et culture, le dopage est considéré comme non-naturel. Il est un artifice injuste qui remet en cause l'identité corporelle humaine, pensée comme close, et est une atteinte à l'hygiène publique avec des risques pour la santé de l'individu. Pourtant, la « discrimination nécessaire » est un argument utilisé pour préserver la beauté et l'intégrité de la course face à la différence physiologique naturelle. Les athlètes féminines hyperandrogynes Caster Semenya et Dutee Chand ont été sommées par la fédération internationale d'athlétisme (IAAF) de prendre des traitements hormonaux

pour diminuer leur taux de testostérone naturellement élevé. L'IAAF estime qu'imposer un traitement médical pour abaisser leurs taux d'hormones masculines est « un moyen nécessaire, raisonnable et proportionné », au mépris des conséquences sur la santé des athlètes. Ayant refusé devant les effets néfastes du traitement, elles ont été évincées des compétitions d'athlétisme. A noter que leur taux de testostérone naturellement élevé est plus menaçant aux yeux de l'IAAF que les lames en carbone controversées de l'athlète doublement amputé Sud-Africain Oscar Pistorius courant avec les valides, qui pourtant rompaient avec la hiérarchisation corporelle [information.tv5monde.com].

Les questions de catégories, de la séparation entre personnes en situation de handicap et valides, et la place des prothèses dans la compétition est régulièrement remis en cause. Le conflit entre performances naturelles et technologies pour conserver une compétition équitable reste vif, avec la crainte que les lames en carbone avantagent les handi-athlètes par rapport aux coureurs valides [Noël, 2012]. Le cas d'Oscar Pistorius est ainsi décrié par tous, valides comme personnes en situation de handicap. En effet, contrairement au dopage chimique, aucune limite au dopage technologique n'est imposé dans les compétitions sportives. Dans le handisport, la Classification Internationale du Handicap est actuellement une catégorisation selon les incapacités physiques causées par le handicap, mélangeant les différents handicaps comme des amputés concourants contre des paralysés moteurs. La compétition s'est alors tournée vers la recherche d'optimisation de la meilleure technologie adaptée selon le profil de handicap. La multiplication des épreuves sportives nécessitent de plus en plus de technologie adaptée à l'épreuve et au sportif, les prothèses et les fauteuils de sport nécessitent d'être à la pointe de l'innovation (Fig. 2.17). Le sport de haut niveau peut-il être considéré comme naturel et juste malgré la course à la technologie entre les nations ?

La construction du handisport s'est faite autour de la pratique valide avec en général une adaptation des sports classiques aux capacités des sujets en situation de handicap afin de les rendre accessibles. Ainsi les règles sont simplifiées et repensées. Par exemple au handi-tennis le nombre de joueurs est réduit et les engins de transports (fauteuils) sont autorisés. Les règles sont modifiées afin de permettre une participation inclusive selon les capacités et incapacités des joueurs, mais également de conserver une part de suspense lors des démonstrations sportives offrant du spectaculaire avant tout (« Show must go on »). L'incertitude du résultat d'une compétition sportive est nécessaire pour son attrait, et les chances réduites d'être sur le podium obligent les sportifs à se dépasser. Pour cela, le sport classique répond à l'égalité des chances en évitant de fausser les résultats. La création de catégories basées sur les distinctions biologiques des sujets font leur apparition, à savoir le tri anatomique habituel selon l'âge, le poids ou encore le sexe des individus depuis l'intégration des femmes aux J.O en 1928. Le sport de haut niveau a ses propres catégories de sélection comme les divisions ou les catégories « espoirs » et « jeunes ». La catégorisation



FIGURE 2.17 – « Le handicap peut être perçu comme un désordre tant du point de vue de la fonctionnalité du corps que d'un point de vue sociologique et philosophique ». [Brunet et al., 2009].

Illustration : Évolution des prothèses de membre inférieur. La plus vieille prothèse connue a été retrouvée sur le pied d'une momie, un gros orteil en bois datant de l'Égypte Antique.

anatomique est néanmoins absente dans certaines disciplines où l'expérience prend le pas sur les différences physiques, comme l'équitation ou la voile [Marcellini and Villoing, 2014]. La catégorisation handi-sportive se fait également par les différences biologiques avec une classification médicale supplémentaire basée sur des indicateurs mesurables des déficiences motrices et physiques. En effet, la catégorisation doit permettre aux personnes en situation de handicap de participer tout en conservant le défi sportif et l'esprit de compétition.

La première classification selon le type de déficience et sa gravité utilisée jusque dans les années 1970 cherchait à montrer que chaque être et chaque déficience était unique et incomparable, ce qui la rendait déclinable à l'infini par une multiplication des catégories sportives et des distinctions. Cette classification a été discréditée au profit des équivalences fonctionnelles et des regroupements méta-catégoriques. La discipline sportive est ainsi mise en avant et devient l'identité première des handi-athlètes, au détriment du groupe de déficience, ce qui est moins stigmatisant [Marcellini and Villoing, 2014]. La classification fonctionnelle et contextuelle est construite via la notion de situation de handicap fournie par le RIPPH (Réseau international sur le Processus de production du handicap). Elle favorise l'explosion des altérités et augmente l'égalité des chances entre concurrents. Le nombre de sports présentés en compétition internationale a ainsi été fortement réduit et de nouveaux sports ont été créés en mélangeant sport ordinaire et handisport. Par exemple la natation de haut niveau ne fait pas de distinction entre les membres atteints (bras ou jambes). Cela permet d'avoir

une compétition équitable au résultat incertain en regroupant toutes sortes de déficiences motrices. Cette catégorisation fonctionnelle rend plus compréhensible la performance brute de ces sports qui sont plus facilement acceptés par le milieu sportif. La socialité est développée par ce type de catégorisation mais elle est remise en cause constamment car elle risque de défavoriser, à niveau de déficience égal, ceux qui ont développées les meilleures compensations via leur entraînement [Piéra and Pailler, 1996].



FIGURE 2.18 – « **Cultivons la différence et non pas l'indifférence** » Timothée Gustave. Illustration : Démarrage de la course finale de natation dos crawlé 100 m hommes catégorie S6, Jeux de Londres 2012. Dans cette catégorie certains nageurs ont une ou deux jambes non-fonctionnelles, d'autres un ou deux bras. Certains sont paralysés, d'autres amputés ou ayant des membres de taille réduite. À vos pronostics! [www.youtube.com/watch?v=o_XIdPoSLIE&t=241s]

De plus la catégorisation biologique entraîne une comparaison dévalorisante et stigmatisante avec les valides en affichant l'absence ou le « manque » de capacité des athlètes en situation de handicap par rapport à une « norme » valide. Si la transmission des indicateurs biologiques de mesures comme le sexe ou la masse de l'athlète ne choquent pas, il en est autrement des indicateurs de la déficience comme les résultats des tests de QI des déficients intellectuels. Cet indicateur pourrait devenir une information non-stigmatisante avec le changement de regard de la société sur le handicap. Aussi, il serait souhaitable pour les personnes en situation de handicap de mettre en avant la culture de l'équité sportive et l'éthique de la différence du handisport [Marcellini and Villoing, 2014]. Pour les Jeux Olympiques sont sélectionnés les athlètes aux meilleures qualités biologiques ou physiques. La sélection fournit un classement hiérarchique imaginaire des individus, des équipes, et des nations par une « stigmatisation des différences corporelles » dans chaque discipline sportive. Ce principe pyramidal produit des sportifs homogènes [Liotard, 2004]. A l'inverse, les Jeux Paralympiques ont pour fondement l'intégration, la lutte contre la discrimination et contre la stigmatisation en affirmant et en affichant sa différence. La diversité des athlètes

déficients devient flagrante (Fig. 2.18) sans hiérarchisation des différences physiques ou des capacités des individus tout en tenant en compte de leurs capacités fonctionnelles [Marcellini and Villoing, 2014]. Les Jeux Paralympiques seraient ainsi le « spectacle de la diversité en mouvement qui met en scène l'extrême diversité des capacités fonctionnelles humaines et leur complémentarité ». Les Jeux Paralympiques se démarquent des Jeux Olympiques en valorisant la différence et la reconnaissance du droit et des capacités des personnes en situation de handicap à participer à la vie sociale. Lorsque les règles de jeu sont pensées pour tous elles permettent de promouvoir une nouvelle éthique sportive sans hiérarchisation des catégories de handicap où les valides seraient supérieurs aux personnes ayant un handicap léger, elles-mêmes supérieures aux personnes ayant un handicap lourd [Marcellini and Villoing, 2014].

Les sports spécifiques au monde du handicap sont destinés à gommer le handicap des joueurs. Ils favorisent les capacités physiques et sensorielles acquises liées à la pathologie, mais mettent également à l'honneur la logique collective et la diversité. Par exemple, dans un sport classique comme le football les joueurs se servent majoritairement de leur vision et de leur capacités physiques, psychiques et sensorielles à réagir pour marquer des buts tandis que dans le cécifoot la vision n'intervient pas dans la production de la performance. En effet, par mesure d'équité les joueurs voyants ou non ont tous un masque opaque sur les yeux et sont obligés d'utiliser leurs autres sens pour évoluer sur un terrain à sollicitations sensorielles contenant des tapis de mousse et un ballon à grelots. Les joueurs habituellement voyants se retrouvent désavantagés et le temps d'un match les représentations du handicap sont renversées, à l'image du super-héros justicier aveugle Dardeville dont la déficience a sur-développé ses autres sens. Les sports de balle comme le cécifoot, le goalball et le tornball mettent en avant les capacités développées par les déficients visuels et poussent à mieux comprendre le handicap visuel et la réadaptation, sans pour autant expliquer toutes les subtilités de cet univers. Le regard des valides sur le handicap est empli d'incompréhension face aux difficultés rencontrées par les personnes en situation de handicap, à l'image cet élu valide qui devant le peu d'attrait d'une journée porte ouverte sur le handisport affirmait : « C'est dommage de voir que ces personnes ne font pas l'effort de se déplacer » [Marcellini and Villoing, 2014].

Bien que tout le monde puisse pratiquer ces sports de balle, ils restent à forte connotation identitaire et poussent à la ségrégation par handicap, sans parler de la volonté d'émancipation et de distance de la part de certains individus en situation de handicap face aux valides. De plus, l'intégration des personnes en situation de handicap parmi les sports valides nécessite de la préparation et des discussions entre les différents groupes d'individus. Une intégration imposée brutalement, comme au Canada, ne donne pas toujours des résultats satisfaisants [Marcellini and Villoing, 2014]. Par ailleurs, le choix de la classification pour deux sports sollicitant les mêmes capacités fonctionnelles peut se faire par classe unique ou par un système de points. La classification par points favorise la mixité des handicaps :

Chaque joueur obtient un nombre de points selon ces capacités et l'équipe ne peut pas dépasser un nombre de points maximal, comme au basket fauteuil. La classe unique favorise les individus au contrôle moteur développé, comme le tennis fauteuil. La classe unique permet d'éviter stratégiquement la multiplication des catégories par handicap. Elle peut être conservée par difficulté de construction de classes sportives, ou encore par choix politique de rendre le sport assimilable au sport ordinaire [Marcellini and Villoing, 2014]. Ainsi la logique de coopération des jeux intégratifs se heurte à la logique compétitive du sport de haut niveau basé sur le dépassement permanent des performances des athlètes selon une hiérarchie bien ancrée par nation, par individu, ou par groupe. Des formations et des réflexions sur des jeux intégratifs pourraient modifier profondément la vision du sport actuel.

2.3.2.1 Jeux Paralympiques 2024, Aménagements du territoire et promotion des sports et des sportifs

Depuis plusieurs années, il est de plus en plus difficile de battre des records mondiaux chez les valides. En plus d'atteindre des limites technologiques légales avec la spécialisation par discipline, le maximum du potentiel humain semble être atteint dans certains domaines comme dans le record du 100 m (Fig. 2.19) [Berthelot et al., 2008]. Or les pays et les sponsors industriels sont toujours dans la course à la médaille. La recherche n'a pas encore été poussée à son apogée dans le domaine du handicap et comme c'est un domaine très techno-dépendant, les prochains J.P sont actuellement perçus comme une manne potentielle de médailles encore non optimisée. C'est aussi l'occasion d'une mise en avant du savoir-faire industriel et de la recherche scientifique de la part des pays participants aux Jeux. Il subsiste encore un manque d'investissement dans le domaine du handicap, néanmoins la prise en charge est meilleure et nous observons une augmentation des compétitions internationales [Marcellini and Villoing, 2014]. Les *Disabilities studies* qui regroupent des sujets en lien avec le handicap sont plébiscités par l'État et contribuent à créer une identité politique et sociale du handicap. L'élargissement de ses études aux performances sportives permet de sortir de la comparaison avec les valides. De plus l'augmentation des liens entre J.O et J.P permet de transmettre leurs compétences respectives en compétition et/ou en handicap tout en gardant leurs différences pour les organisateurs. Les échanges entre pratiquants peuvent dans certains sports valides ou non apporter des bénéfices par un partage de connaissances et d'infrastructures comme les pongistes.

Il existe autant de sports que de handicaps car la pratique physique est plurielle au niveau des pratiquants, des déficiences, des types et des niveaux de capacité [Marcellini and Villoing, 2014]. Aux Jeux de Rio de 2016, 4328 athlètes de 160 pays se disputaient 22 épreuves pour 532 médailles. Aux Jeux de Tokyo 2020 environ 4400 athlètes étaient attendus pour 22 épreuves et 540 médailles. Là où la force et la puissance étaient valorisées dans les Jeux Olympiques antiques, la diversité est particulièrement

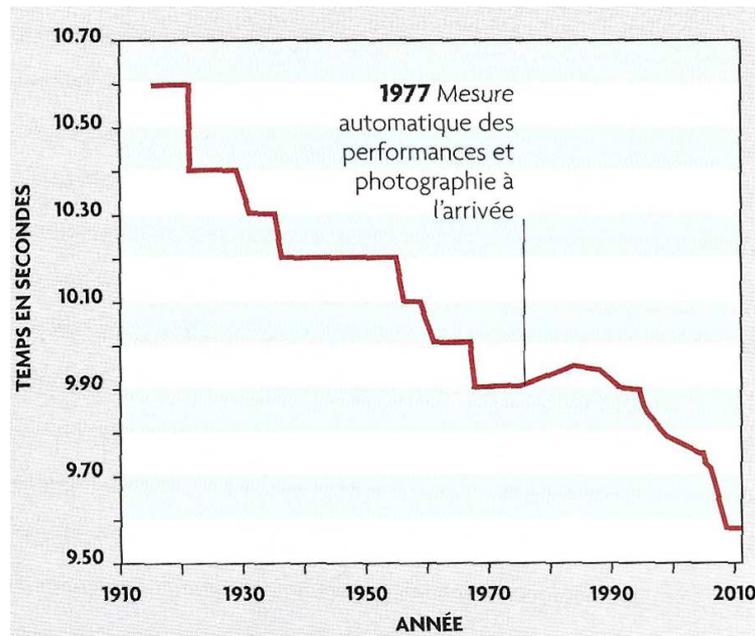


FIGURE 2.19 – Évolution temporelle des records du 100 m valide (en s) en fonction du temps (année) [Parker, 2015]. L'innovation permet d'améliorer les records, mais également les moyens de détection.

mise à l'honneur cette année avec pour slogan « Connaître les différences, montrer les différences ». Face à la pandémie de Covid-19 les épreuves des Jeux Paralympiques de 2020 sont repoussés du 24 août au 5 septembre 2021. Le Comité International Paralympique regroupant 183 pays a retenu 22 sports au programme des Jeux de Tokyo 2020, les mêmes que pour les Jeux Paralympiques 2024 qui auront lieu du 28 août au 8 septembre à Paris. Les sports paralympiques au programme sont les suivants : basket fauteuil, para équitation, boccia, para haltérophilie, escrime fauteuil, para natation, football à 5, para taekwondo, goalball, para tennis de table, para judo, para tir à l'arc, para athlétisme, para tir sportif, para aviron, para triathlon, para badminton, rugby fauteuil, para canoë, tennis fauteuil, para cyclisme (route et piste), et volley assis. Parmi les nouveautés de ces Jeux le para badminton et le para taekwondo font leurs entrées tandis que la voile et le football à sept sont retirés. Pour faire partie des Jeux, les sports d'équipe doivent être pratiqués dans un minimum de 24 pays répartis sur trois continents, contre 32 pays pour les sports individuels [paralympic.org]. Certaines disciplines sont supprimées faute de participants. Quinze pays supplémentaires se sont inscrits aux Jeux Paralympiques de 2012 toutefois sur 4 237 athlètes 45 % viennent de dix pays et 46 pays n'envoient qu'un seul athlète [Beacom et al., 2016]. La médiatisation est nécessaire à la promotion du handisport. Les organisateurs souhaitant développer les pratiques handi-sportives doivent le faire internationalement.

Les êtres humains compensent leur vulnérabilité et leurs incapacités grâce à l'invention de

moyens techniques, de modes d'organisation et de solidarité. La réponse à la compensation du handicap est collective, elle commence par de l'empathie puis mobilise toute l'ingéniosité de notre savoir-faire (fauteuils roulants, chiens guides, écriture braille, langue des signes) [france-paralympique.fr]. Les Jeux Paralympiques souhaitent correspondre à cette image d'évolution de nos sociétés. Leur organisation doit être le tremplin de l'inclusion du handicap, particulièrement dans le pays hôte des Jeux Paralympiques. Pour accueillir les paralympien.ne.s des Jeux de 2024, la France et notamment Paris vont devoir prendre des mesures : Où commence et où s'arrête les transformations repensées pour le handicap de l'accueil de l'évènement ? Est-ce que l'accessibilité sera pensée uniquement dans les zones en lien avec l'évènement (terrains et village olympique) ? Les mesures prises s'étendront-elles à toute la ville, au pays ? Seront-elles intégrantes ou inclusives (Fig. 2.20) ?

En terme d'accessibilité beaucoup de chemin reste à parcourir pour les Jeux au sens propre comme au figuré. La majorité des immeubles de la capitale sont de type Haussmanien dépourvus d'ascenseurs, et ceux qui en ont ne sont souvent pas aux normes pour un fauteuil roulant. Les restaurants n'appliquent pas les consignes d'accessibilité PMR (Personnes à Mobilité Réduite) dans leurs établissements par manque de rentabilité. L'espace nécessaire pour être accessible prendrait la place de potentielles tables. Les places de parking réservées sont généralement encombrées par des voitures tout comme les bateaux des trottoirs où les eaux ruisselantes stagnent bien souvent. Les transports parisiens sont très contraignants pour les individus en fauteuil. Par exemple, le trajet de la Seine-Saint-Denis au Champ de mars, respectivement du village Olympique au lieu de certaines épreuves, est de 39 min pour un valide contre 87 min pour une personne en fauteuil. En effet, le métro Parisien est réputé pour son impraticabilité et seule la ligne 14 du métro est accessible. Elle dispose d'ascenseurs, de rames à plancher plat et de plain-pied avec le quai, de passages élargis aux points de contrôle des billets, et le personnel est formé à l'accompagnement des personnes à mobilité réduite. La RATP rénove actuellement les 71 rames la ligne 7 du métro pour 2023, avec un meilleur éclairage des rames et un nouveau revêtement au sol. Néanmoins, la mise en accessibilité des stations pour les personnes à mobilité réduite ne semble pas prévue. Ni sur cette ligne ni sur le reste du réseau. L'intégralité du réseau de bus est considérée quant-à elle comme accessible, une ligne de bus parisienne étant déclarée accessible lorsque 70% de ses arrêts ont été aménagés. Les 4500 bus sont équipés de rampes d'accès, d'annonceurs sonores et d'annonceurs visuels dynamiques. La moitié a des haut-parleurs à la porte avant, et tous les nouveaux bus (depuis 2015) possèdent deux emplacements pour fauteuils occupés également par des poussettes. Le tram est, pour sa part, accessible aux personnes à mobilité réduite de manière autonome et sécuritaire. Toutes les stations sont équipées d'une rampe d'accès et la rame est de plain-pied avec le quai d'embarquement. Pour le RER, 64 des 65 gares RATP sont considérées comme accessibles, toutefois il faut la présence d'un agent pour installer une passerelle permettant de monter dans la rame. Sur un plan pratique cela

fonctionne, néanmoins cette absence d'autonomie renforce le sentiment de dépendance chez les personnes à mobilité réduite. L'État de fonctionnement des ascenseurs est quant-à lui donné en direct en ligne pour faciliter la vie des individus PMR [ratp.fr].

Pour remédier progressivement aux multiples problèmes rencontrés dans la capitale par les

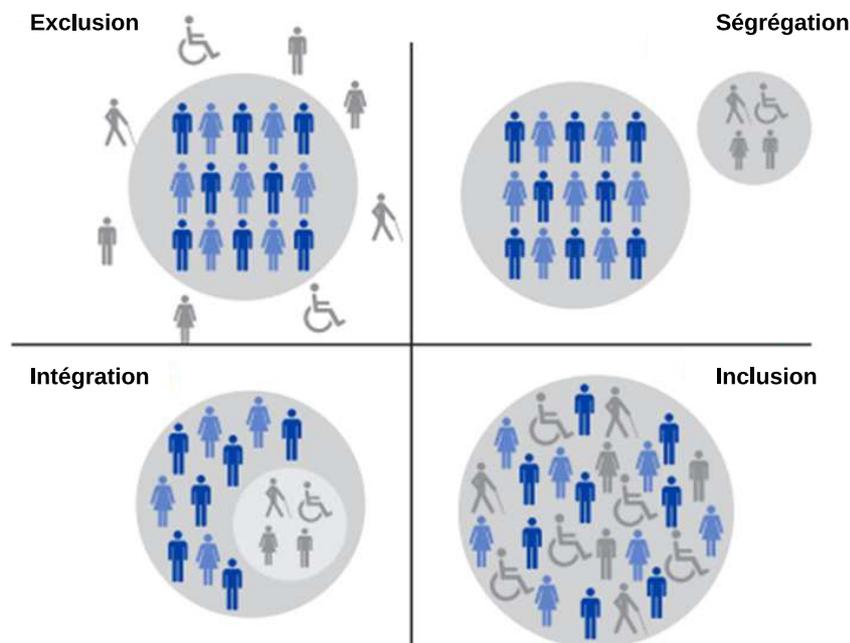


FIGURE 2.20 – « Surtout, soyez toujours capables de ressentir au plus profond de votre cœur n'importe quelle injustice commise contre n'importe qui, où que ce soit dans le monde. » Ernesto Che Guevara.

Illustration : Différence entre inclusion, exclusion, intégration et ségrégation.

personnes en situation de handicap, de nombreux acteurs s'engagent localement. Le Conseil Local du Handicap du 14e organise tous les mois de juin depuis 2017 le Mois Parisien du Handicap. Des activités sportives et culturelles mixtes handicapés/valides ont pour objectif de faire évoluer le regard sur le handicap en mettant en valeur les compétences de chacun. Bien que le modèle intégratif soit celui privilégié par notre pays, acceptant la différence en la séparant du reste, ces événements mettent en avant un modèle inclusif où la différence est une force complémentaire. La mairie de Paris participe en organisant sur la même période le challenge de l'accessibilité afin de lutter contre les discriminations et l'exclusion des personnes en situation de handicap à travers la ville. Ce type d'évènement peut enclencher une prise de conscience collective et faire évoluer les comportements de chacun. Des récompenses peuvent être envisagées par les mairies avec des mises en valeurs publicitaires, un label, ou encore un soutien financier des commerces et des copropriétés investissant pour se rendre accessibles. Ces transformations passeraient du statut de contrainte à celui d'avantage. Elles seraient mieux perçues par l'environnement et plus facilement envisagées. De plus cela aug-

menterait l'attractivité de la ville. Depuis 2016, le groupe Paris 2024 organise avec le CPSF (Comité Paralympique du Sport Français) la semaine Olympique et Paralympique en février (du 3 au 8 février 2020 cette année). L'objectif est de promouvoir la pratique sportive directement au sein des écoles et de faire évoluer les regards sur le handicap. Les enfants sont amenés à encourager un athlète, et ces derniers viennent échanger avec des élèves. Plus de 350 000 enfants handicapés sont scolarisés auprès de l'Education nationale et ce genre d'intervention peut particulièrement faire naître des vocations chez eux. C'est ainsi que des personnes en situation de handicap s'imposent progressivement comme acteurs de la société et participent aux décisions politiques pour ainsi sortir de la perception de victime et de situation d'infantilisation [Gaillard, 2007].

2.4 Perspective : Le physio-gaming

Le jeu et la présence de partenaires de jeu sont des éléments essentiels pour éveiller et maintenir l'intérêt pour la pratique sportive. Certains individus ont des difficultés à pratiquer un exercice à cause de leurs problèmes de santé moteurs, sensoriels ou psychologiques. Comme évoqué précédemment un des problèmes majeurs est la logistique pour se rendre dans les zones d'exercices. Les innovations technologiques deviennent primordiales pour pallier les problèmes de déplacements, pratiquer du sport depuis son domicile, et compléter le développement du réseau sportif à venir. Les pratiques sportives ludiques peuvent fournir les mêmes résultats que des séances de kinésithérapie, sans remboursement toutefois. Elles sont considérées comme une activité de luxe peu sérieuse et non de première nécessité. L'univers du jeu vidéo est encore très récent. Il a pris une ampleur toujours plus importante avec l'arrivée du jeu en réseau permettant de jouer à distance avec des amis comme avec des inconnus vivant de l'autre côté de la planète. Les premiers tournois de spécialistes étaient anonymes alors qu'aujourd'hui des publicités pour le e-sport sont présentes dans les rues, et les championnats de jeux vidéos sont socialement reconnus. Les adeptes de jeux vidéos sont de plus en plus nombreux et diversifiés notamment en terme d'âge ou de milieu d'utilisation (professionnel ou amateur). Par exemple, une salle de jeu de réalité virtuelle collaborative est présente à Lyon [i-reality.fr]. En effet, le jeu vidéo est utilisé dans un grand nombre de domaines. Il permet d'apprendre à utiliser des machines en toute sécurité, comme la voiture en école de conduite, ou de s'immerger dans un environnement particulier tel des simulations de zones de guerre pour les soldats de l'armée. Le physio-gaming est la possibilité de rééduquer son corps en jouant à un jeu vidéo. Ce concept n'est pas répandu parmi les praticiens de soin et est encore sous-exploité dans le domaine de la santé. Quelques utilisations discrètes existent dans les blocs de chirurgie quotidienne des grands brûlés où il est utilisé pour détourner l'attention du patient de sa douleur, ou des simulations pour vaincre des stress post-traumatiques et des phobies comme l'agoraphobie ou le vertige. Des entreprises comme

NaturalPad proposent depuis 2013 une plateforme web de physio-gaming sur abonnement pour des établissements de santé comme les EHPAD.

L'utilisation de jeux vidéo dans la santé auprès des personnes en situation de handicap



FIGURE 2.21 – « L’infirmité est un compagnon qui nous suit, qui nous conteste et nous approuve, qui nous désole et nous réconforte. Nous avons besoin d’elle comme de ceux qui la portent, pour nous consoler d’être vulnérables et mortels tout autant que nous ne devons pas être confondus avec elle et eux pour continuer à nous estimer» [Stiker, 2015].

Illustration : La manette Adaptive Controller de Microsoft sortie en 2018 est une manette modulaire selon le handicap.

permet de réduire les coûts à un dispositif chez soi limitant les besoins et coûts de transports. Il faut pour cela disposer de l’espace nécessaire pour se mouvoir sans heurter son environnement domestique et pratiquer en toute liberté. Par ailleurs les personnes en situation de handicap ont souvent moins de liens sociaux que les valides [Ripoll, 2016]. D’un point de vue social le jeu vidéo permet de créer une sphère sociale en réseau de camarades de jeu virtuels, en situation de handicap comme valides, autour d’une activité ludique facile d’accès physiquement et temporellement. La personne en situation de handicap peut à la fois pratiquer en groupe et choisir de s’exprimer ou non sur son handicap grâce au masquage social possible par son avatar. Il peut également jouer seul selon son choix sans tenir compte du groupe. De plus un partenariat avec des entraîneurs sportifs permettrait de donner des cours personnalisés à distance ou en groupe, de diminuer les coûts, et conserver le lien social auprès de personnes n’ayant pas la capacité de se déplacer. Les contraintes horaires deviennent moindres lorsque le temps de trajet est supprimé et il est possible avec peu de matériel de fédérer un grand nombre d’individus à des horaires plus variés. Ces cours pourraient être en complément ou en remplacement d’une pratique en salle de sport.

Une immersion en réalité virtuelle permettrait d’amplifier les effets de ces pratiques sportives à distance. La réalité virtuelle permet de reproduire une expérience sensori-motrice dans un univers artificiel réel ou imaginaire, créé numériquement. L’utilisateur peut interagir avec son environnement virtuel et ses différents sens (vue, toucher, ouïe, odorat) seront stimulés par le port d’un casque, de gants ou d’une combinaison équipée de cap-

teurs. La réalité virtuelle pousse les utilisateurs à imaginer qu'ils effectuent des actions de déplacement ou peut permettre d'observer un avatar virtuel faire des mouvements sportifs. L'observation ou l'imagination d'un mouvement active spécifiquement les neurones miroirs présents dans le cortex moteur. Ces neurones accélèrent l'apprentissage en entraînant le système neuronal à comprendre l'intention dans l'action des autres joueurs (empathie) et à anticiper. La restructuration cérébrale liée à l'apprentissage améliore la performance des individus sur le long terme et accélère le processus de récupération chez les personnes blessées. Elle diminue la charge de travail ainsi que les risques de blessure [Saposnik et al., 2010, Holper et al., 2010]. La réalité virtuelle peut également servir dans l'analyse de la performance sportive [Bideau et al., 2009].

Le suivi des progrès et la correction des postures est plus difficile à distance mais les avancées technologiques peuvent contourner ces difficultés. Des jauges de contraintes présentes dans une combinaison ou placées à même le corps de l'individu permettent de suivre ses mouvements. Toutefois ces capteurs sont peu précis et peuvent être difficiles à installer en cas de troubles moteurs. Face à ces contraintes matérielles nous suggérons de développer notre prototype de balance six axes (Annexe A). C'est une plateforme où un individu peut se tenir debout ou en fauteuil et, telle la console Wii Nintendo®, va transmettre via des capteurs de force très précis les déplacements de l'individu. Ainsi les déplacements latéraux, avant-arrière et les rotations de l'individu sont mesurés et suivis en temps réel. En les enregistrant et en les traduisant simplement à chaque session d'exercice, un individu peut se corriger en temps réel et le coach peut mieux conseiller son client. Du jeu simple de casse-brique aux jeux plus sophistiqués de réalité virtuelle, ce sont de nombreuses possibilités de jeux vidéos adaptés qui restent à explorer et à développer à grande échelle. Les adaptations d'un jeu vidéo sont à moindre coût comparées à l'installation d'un matériel dédié au sport. Cette technologie peut aussi bien intéresser les fabricants de jeux vidéos souhaitant agrandir leur public que les instances politiques voulant investir à moindre coût et pousser une population vieillissante à l'exercice. Ce travail de recherche pourrait déboucher vers une utilisation concrète répandue, aussi les acteurs souhaitant s'emparer de ce concept pourraient le vulgariser. Une entreprise pourrait par exemple louer ces plateformes pour les individus ayant un trouble de santé temporaire ne souhaitant pas investir dans ce matériel ou encore à des structures médicales lors d'impossibilité de déplacement des individus lors d'une quarantaine.

Le sortir de la stigmatisation des personnes en situation de handicap et le développement de l'accessibilité ont des enjeux larges en apportant une nouvelle dynamique par la technologie, la création de nouveaux métiers et le développement de nouvelles formations. À l'image du reste de la société, le dynamisme économique actuel autour du handicap est tourné vers les loisirs et le tourisme. Le tourisme sportif se développe avec des courses de

fauteuil « Tout Terrain », tout comme le tourisme en fauteuil à roues adaptées au terrain (sable, terrain accidenté). Les possibilités sont déjà multiples et bien d'autres doivent encore être inventées. L'intérêt grandissant pour ces pratiques transforment ces activités en disciplines sportives reconnues, comme pour le fauteuil tout terrain qui est en passe de rentrer en compétition. La professionnalisation permet d'encadrer la pratique institutionnellement et limiter l'aspect « accidentogène » de la pratique [Marcellini and Villoing, 2014]. De nouvelles pratiques sportives doivent émerger avec de nouvelles idées propres au Handicap. Elles se feront naturellement si les personnes en situation de handicap sont incluses dès les premières réflexions comme sujets et non comme objets d'expérimentation [Gaillard, 2007]. Par exemple tenir compte du handicap dans l'élaboration de jeux vidéos nécessite de proposer plus d'options et de choix au niveau des commandes vocales ou du « eye tracking ». Penser le handicap comme une composante du jeu, et non un ajout, permet de concevoir le jeu avec des conceptions simples. Ainsi le choix des couleurs de différentes équipes en orange et en bleu permet à tous types de daltonismes de les différencier, et la création de manettes adaptables selon le handicap facilite la vie des joueurs (Fig. 2.21). Un travail collaboratif sera bénéfique aux joueurs comme aux concepteurs. Le physio-gaming pourrait devenir la pointe du soin inclusif, tourné vers le jeu et l'évasion.

Nous avons vu que la pratique sportive est essentielle au bien-être des personnes en situation de handicap. La promotion du sport est le fait de nombreux acteurs (État, Associations, Entreprises, Médias) aux rôles multiples et variés, dont le travail commun offre de nouvelles perspectives dans ce domaine et favorise une réflexion sur la pratique sportive. Le fonctionnement symbiotique de ces acteurs permet une amélioration de la condition des athlètes en situation de handicap, allant du matériel à leur considération dans la société. Le développement de la technologie de pointe est particulièrement nécessaire à la pratique sportive dans le cadre du handicap moteur.

Néanmoins, l'activité physique commence dès le fauteuil roulant pour les personnes ayant une mobilité réduite. C'est un outil technologique utilisé quotidiennement, indispensable à l'autonomie des personnes en situation de handicap moteur. La suite de ce travail est donc tournée vers la présentation du fauteuil roulant pour PMR, et sur sa transformation technique lié à chaque spécificité sportive.

Chapitre 3

Le fauteuil PMR et ses déclinaisons sportives

3.1 Histoire des fauteuils

Des millénaires séparent l'invention de la chaise et la roue apparues respectivement en -5000 et en -3500 avant notre ère, à celle du premier fauteuil roulant. En effet la plus ancienne trace connue de l'existence de fauteuil roulant est sous la forme de gravures datées de -525 av. J-C et retrouvées en Chine (Fig. 3.1). Le fauteuil roulant ressemblait à un char à trois grosses roues et était alors synonyme de pouvoir. Les membres de l'élite et de la noblesse s'en servaient pour se déplacer assis avec leurs objets du quotidien.



FIGURE 3.1 – Confucius (551-479 av. JC) transporté dans un char à roues, d'après un gravure chinoise du XVIIe siècle.

Illustration tiré du livre pour enfant *Xiao er lun* imprimé en 1680.

La première vraie chaise roulante pour invalide a quant-à elle été conçue en 1595 pour le roi d'Espagne Philippe II, alors atteint d'une maladie qui l'entravait dans ses mouvements.

La chaise comportait un repose-pieds et était inclinable mais elle nécessitait des serviteurs pour être déplacée, aussi si le roi a gagné en qualité de vie il n'a pas eu gain d'autonomie [Ravoud et al., 2011].

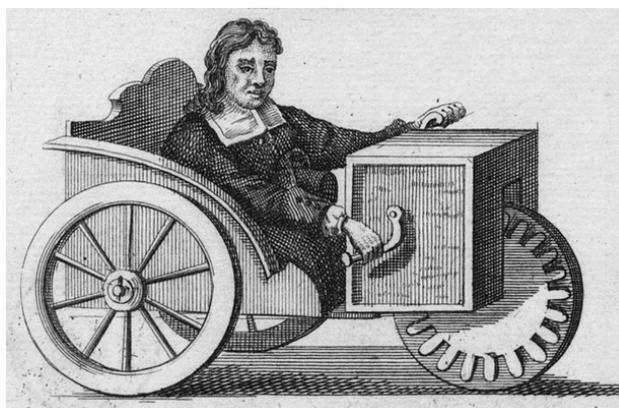


FIGURE 3.2 – Chaise à trois roues auto-propulsé.

Puis en 1655 l'horloger paraplégique Allemand Stephan Farfler invente la chaise à trois roues auto-propulsé (Fig. 3.2). En effet une manivelle à axe horizontal est placée sur la roue avant dentée, ce qui permet de se mouvoir à la force de ses bras. Ce fauteuil roulant a alors plus l'apparence d'un vélo à main que d'un fauteuil roulant.

Vers la fin du XVIIIe siècle l'Anglais John Dawson invente quant-à lui la chaise Bath dans la

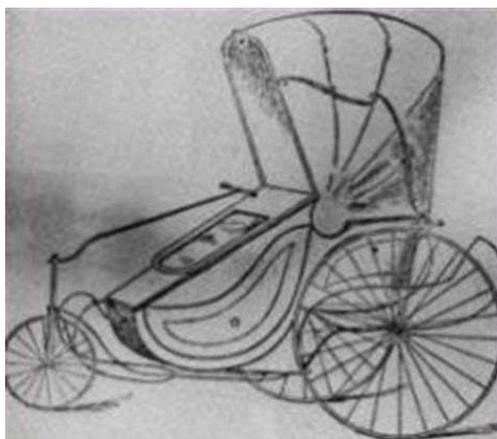


FIGURE 3.3 – Chaise de Bath.

ville de Bath (Fig. 3.3). Cette chaise est munie de deux grosses roues arrière et d'une petite roue avant qu'il est possible de diriger par un guidon. Elle dominera le marché du fauteuil roulant tout le XIXe siècle suivant et sera le fauteuil roulant le plus cher de l'histoire.

Au cours du XIXe siècle le fauteuil connaît une véritable révolution via l'utilisation de

matériaux plus ajustables et plus résistants, et surtout grâce à l'invention de pneumatiques à chambre à air (Fig. 3.4). En effet, les fauteuils roulants comme les bicyclettes étaient alors composés de roues en bois qui frottaient à même le sol. Puis l'écossais Dunlop équipe les roues de son fils en 1887 de tubes en caoutchouc remplis d'air, ce qui améliore le confort, le bruit, la vitesse et l'adhérence sur route. Il dépose le brevet du pneu à air avec valve le 7 décembre 1882. En 1891, un cycliste anglais équipé par Dunlop ayant crevé va à l'usine d'Édouard Michelin pour réparer son pneu, ce qui prend plusieurs heures à l'époque. Édouard et André Michelin mettent au point le premier pneumatique démontable pour bicyclette, avec une chambre à air indépendante du pneumatique qui le rend réparable en un quart d'heure. La même année, ils déposent un brevet sur le pneu démontable, en produisent, et équinent la bicyclette de Charles Terront. Ce dernier remportera la course cycliste Paris-Brest-Paris de 1200 Kilomètres en 71 heures et 18 min, avec une avance de 9 heures sur le second. L'année suivante le 5 juin 1892, la firme Michelin organise sa propre course cycliste Paris-Clermont-Ferrand, où Édouard Michelin fait semer en secret des clous sur le trajet. Ainsi il démontre la rapidité de changer une roue sur pneumatique démontable, ce qui prend deux minutes, et surtout l'intérêt de son produit. Ainsi à la fin de ce siècle le fauteuil roulant comporte deux grosses roues arrière et deux petites roues avant à pneumatiques démontables, en plus d'un repose-pied. Le fauteuil roulant pliable est ainsi breveté. S'ensuit l'idée d'y attacher un petit moteur électrique en 1882 par les Anglais William Edward Ayrton et John Perry, eux-mêmes s'inspirant du tricycle à moteur électrique de 1881 du Français Gustave Trouvé. L'usage du fauteuil roulant se démocratise en Europe avec la facilitation des usages et la



FIGURE 3.4 – Fauteuil roulant de 1944 à Montréal.

diminution des coûts grâce aux avancées technologiques, mais également via la multiplication du nombre d'utilisateurs au sortir des guerres mondiales du XXe siècle, et par la meilleure

inclusion sociale des blessés moteurs de guerre.

Le XXe siècle comprend néanmoins aussi son lot de nouveautés avec l'invention du fauteuil roulant électrique par l'ancien combattant blessé de guerre canadien George Johann Klein après la Seconde Guerre Mondiale. Le premier fauteuil portable fait son entrée ainsi que les premiers jeux paralympiques et le premier GPS intégré au fauteuil. Ce dernier permet de calculer les itinéraires accessibles aux PMR avec le temps nécessaire en fauteuil roulant [vhr, 2019]. De plus l'arrivée de l'électronique a permis de diminuer les problèmes physiques liées à l'avancée mécanique du fauteuil, notamment les tendinites.

Le champ lexical pour parler du fauteuil roulant est le même que celui utilisé par un véhicule, comme la voie, d'empattement, de chasse, de carrossage, de centre de gravité, d'assiette, de diamètre de roue, de pneumatique. Un fauteuil peut être très maniable, ou au contraire très stable mais difficile à propulser, adapté à l'extérieur ou pour l'intérieur. De nos jours les fauteuils sont personnalisés en fonction des besoins et des envies des utilisateurs, moyennant toutefois une somme conséquente. Les fauteuils s'émancipent de leur apparence primitive médicale puis mécanique pour un aspect plus coloré et plus design (Fig. 3.5) surtout chez les plus jeunes, permettant aux propriétaires de s'appropriier leur fauteuil et le considérer comme un accessoire, un prolongement d'eux-même à qui ils imposent leur volonté. Les fauteuils sont alors un prolongement de soi qui se doit d'être esthétique, haut de gamme, soulignant et affichant sa différence dans un univers très axé sur l'apparence.



FIGURE 3.5 – « Et si l'être humain avait cette capacité à créer des outils pour adapter son environnement à sa condition, et non l'inverse ? » Charles Darwin

Illustration : Fauteuil roulant électrique

3.2 Déclinaisons sportives du fauteuil roulant

Avec le développement du sport de haut niveau via les Jeux Paralympiques, et l'investissement des fédérations et des états depuis les années 1970, le fauteuil de sport s'est décliné en de nombreuses formes selon les caractéristiques sportives spécifiques requises par certaines disciplines olympiques de prédilection. En effet, la recherche du record dans la pratique de haut niveau implique d'améliorer le matériel sportif. Or les disciplines sportives en fauteuil ne sollicitent pas le physique des athlètes ni leurs équipements de la même façon, aussi ils n'ont pas les mêmes besoins en matière de fauteuil qui ont évolué différemment selon les disciplines.

Les fauteuils peuvent être regroupés en différentes catégories : les fauteuils à manivelle utilisés dans le cadre du cyclisme couché (Handbike), les fauteuils sportifs électriques comme celui dédié au foot fauteuil, les Fauteuils Tout Terrains (FTT) conçus pour les activités extérieures en terrain accidentés, les fauteuils pour disciplines sportives statiques, et enfin les fauteuils adaptés aux petits terrains de sports. Les disciplines sportives statiques regroupent les disciplines de tir (tir à l'arc, sarbacane, épreuves de tir), et l'escrime. À l'exception de l'escrime, dont les athlètes paralympiques font fabriquer sur mesure leur fauteuil de compétition, les disciplines statiques s'effectuent majoritairement sur les fauteuils quotidiens des usagers. Les fauteuils adaptés aux petits terrains de sports regroupent les fauteuils de basket, de badminton, de tennis, du rugby, de tennis de table, et enfin le fauteuil d'athlétisme. Des recherches sont en cours pour développer des fauteuils spécifiques aux besoins des pratiques sportive paralympique, à l'instar du tennis de table, sport jusqu'alors mis de côté, et du para badminton, nouvelle épreuve présente aux Jeux Paralympiques de Tokyo (2020).

La pratique de haut niveau implique en effet d'avoir du matériel conçu sur mesure selon la morphologie de chaque athlète et selon sa discipline. L'athlète en fauteuil doit ainsi s'équiper de matériel médical moulé sur mesure, comme la coque de son fauteuil d'athlétisme. Cette conception est réalisée après recommandations et prise de mesures par des orthoprothésistes ou des ergothérapeutes dans un des centres d'appareillage. Les prothèses sont conçues par des fabricants d'appareils orthopédiques. Le corps médical contrôlera ensuite de manière continue la qualité de l'appareil et son rôle rééducatif auprès de l'athlète [handisport.org].

Parmi la liste non-exhaustive des sports introduits précédemment, nous présenterons ci-dessous quatre types de fauteuils adaptés à de petits terrains de sport, à savoir le fauteuil de basket, de tennis, de rugby, et le fauteuil d'athlétisme.

3.2.1 Fauteuil de basket

Le basket fauteuil est un des sports d'origine du handisport qui a grandement contribué au développement de ce dernier. Par son aspect collectif et spectaculaire en plus d'être accessible en fauteuil manuel, ce sport est très répandu internationalement. Contrairement au basket classique qui est tactico-physique et favorise la capacité fonctionnelle en lien avec l'activité, à savoir la taille, le basket fauteuil est un sport tactico-technique favorisant la diversité morphologique et les capacités fonctionnelles, où chacun peut atteindre le haut niveau [Marcellini and Villoing, 2014]. Le sport est encadré par la Fédération Internationale de Basket-ball en Fauteuil Roulant (IWBF). Un match se joue à cinq contre cinq par des personnes en situation de handicap moteur comme les paraplégiques, les amputés ou les personnes atteintes de poliomyélite. Chaque joueur a un nombre de points attribués selon ses capacités physiques, le maximum étant 5 pour un valide. Une équipe ne peut pas dépasser un certain nombre de points ce qui permet de mixer les capacités physiques de chacun tout en conservant l'incertitude du résultat du match [Marcellini and Villoing, 2014].

La pratique peut se faire pour les débutants en fauteuil multi-sport et il leur est conseillé



FIGURE 3.6 – « Depuis 1420, l'homme handicapé dans sa mobilité a cherché à s'aider d'un fauteuil roulant. Apparition de trois roues, puis deux grandes roues plus facilement actionnables. Enfin, cette année voit apparaître le fauteuil pliable et surtout un fauteuil apte à la pratique du basket-ball. Matériaux plus légers, robustesse, ergonomie, profilage, autant de critères pris en compte depuis pour rendre son usage quotidien plus confortable et son usage sportif plus performant ». M. Watelle.

Illustration : Fauteuil de basket.

d'avoir une roue arrière anti-bascule et des sangles de maintien, toutefois en compétition il faut un fauteuil spécifique au basket (Fig. 3.6). Le fauteuil de basket pèse entre 7 et 12 kg et coûte de 1500 à 7000 euros selon les options et les modèles. Pour les fauteuils réglables intégralement, le réglage complet par un professionnel peut prendre jusqu'à cinq heures.

Néanmoins un joueur expérimenté choisira de préférence un fauteuil sur mesure soudé, donc non-réglable. Plus le fauteuil est ajusté mieux l'athlète se sent à l'aise, et plus il a des chances de performer [handisport.org].

Le règlement officiel de l'IWBF stipule que ce fauteuil doit comporter 3 ou 4 roues, le ou les petites roues étant à l'avant. Pour le fauteuil roulant à 3 roues, la petite roue doit être centrée et à l'intérieur de la barre horizontale à l'avant du fauteuil roulant. Les roues arrière ont un diamètre maximum de 69 cm pneus inclus et elles sont inclinées afin de permettre un meilleur maniement et une plus grande stabilité du joueur. Une main courante doit être présente sur chaque roue et leur moyeu doit être rond sur l'extérieur, sans pointes acérées, bords ou saillies par mesure de sécurité. Le fauteuil ne doit pas comporter de freins ou d'engrenages, les pneus ne doivent pas marquer le sol, et l'éclairage réfléchissant ou clignotant n'est pas autorisé. La hauteur maximale entre le sol et le haut du coussin du fauteuil ou le haut de la plateforme du siège est limité à 63 cm ou 58 cm selon la catégorie des joueurs.

Ce sport fait entrer en contact les joueurs et leurs fauteuils, aussi par mesure de protection le fauteuil comporte une barre horizontale de protection à l'avant et sur le côté du fauteuil roulant à 11 cm du sol à son point le plus avancé et sur toute sa longueur (Fig. 3.7). Elle peut être droite, inclinée ou incurvée entre les deux roulettes avant. Le repose pied est présent sans contact avec le sol et sa hauteur n'a d'importance qu'en l'absence de barre de protection. La barre horizontale à l'arrière du dossier doit pour sa part avoir un rembourrage flexible d'une épaisseur minimale de 1,5 cm, et en exerçant une force sur le rembourrage le retrait ne doit pas dépasser 50 % de l'épaisseur d'origine. Le ou les dispositifs anti-basculement à l'arrière du fauteuil roulant ne doivent pas utiliser plus de 2 petites roulettes de 2 cm fixées au châssis ou à l'essieu arrière. Les supports du haut du corps comme les accoudoirs ne doivent quant à eux pas dépasser de la ligne des jambes ou du tronc du joueur. L'arbitre arrêtera le match maximum 50 secondes en cas de problème rencontré sur un fauteuil pour permettre à l'équipe une réparation [iwbf.org].

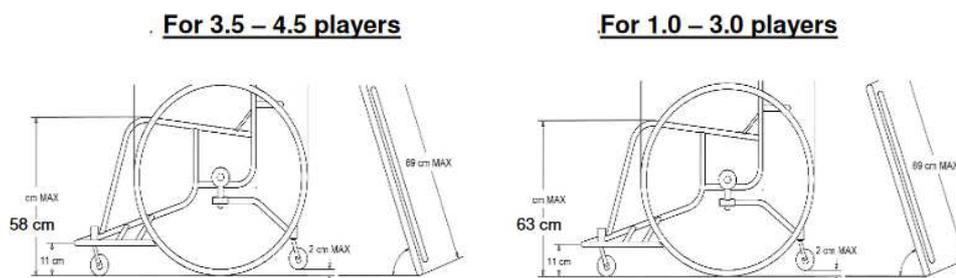


FIGURE 3.7 – Mesures du fauteuil de basket.

Les mesures dépendent du score de validité du joueur, le score étant plus élevé si le joueur a plus de mobilité.

3.2.2 Fauteuil de tennis

Le tennis fauteuil est un sport présent aux J.P. qui est très similaire au tennis classique. Les règles du tennis en fauteuil sont fournies par l'ITF et s'appliquent au corps du joueur comme à son fauteuil. Lors d'un match le service doit être effectué depuis la ligne de fond le fauteuil immobilisé. Le fauteuil ne doit pas être en matériaux réfléchissant pour ne pas gêner l'adversaire. Deux rebonds de balles sont autorisés à l'intérieur ou à l'extérieur des limites du court tant que le joueur garde contact avec au minimum une fesse sur le fauteuil, et il ne doit pas utiliser la partie inférieure de son corps sur le sol ou sur une roue durant le jeu. Ce sport nécessite de la vitesse et de la maniabilité, aussi le fauteuil doit être assez léger afin de redémarrer et atteindre la balle rapidement, et être à la fois très maniable et très stable car chaque impact de balle entraîne une rotation sur place appelé pivot. Le sol dur améliore pour sa part la maniabilité du fauteuil [handisport.org].

Les débutants peuvent utiliser un fauteuil réglable multi-sport ou un fauteuil spécifique ten-



FIGURE 3.8 – « **Tout sport paralympique organisé sans système de compensation des déficiences de capacités fonctionnelles, produit inéluctablement la promotion des athlètes qui ont le moins de limitations des capacités requises dans le sport considéré** » [Marcellini and Villoing, 2014].

Illustration : Le tennisman Michael Jeremiasz aux Jeux de Rio de 2016

nis (Fig. 3.8) d'un prix allant de 1300 à 3500 euros. Les fauteuils sont proches du fauteuil de basket dans leur rigidité et avec la présence d'une ou deux petites roues avant, d'une roue arrière anti-bascule, et parfois d'une sangle de maintien. Le règlement stipule que la hauteur du siège avec coussin doit être fixe et qu'il est possible d'utiliser des sangles pour maintenir le joueur dans le fauteuil. Le tennis n'étant pas un sport de contact physique et la hauteur du fauteuil ne procurant pas forcément un avantage sur l'adversaire, le règlement est moins pointilleux sur les dimensions du fauteuil. Toutefois l'assise doit être très basse pour améliorer la motricité, et l'inclinaison des roues améliore la stabilité. Il est même possible de faire

des demandes de modifications de fauteuil pour des raisons médicales valables, toutefois la propulsion du fauteuil roulant se fera uniquement à la force des bras sur les roues ou la jante, une roue ne pouvant avoir qu'une jante. Il est interdit d'utiliser un système d'assistance au fonctionnement du fauteuil, un système de stockage d'énergie comme un stockage élastique ou un système fournissant avantage mécanique, ou encore d'utiliser un frein. Ces roues ne devront pas laisser des marques permanentes sur le cours. Si un joueur n'a pas la capacité de propulser le fauteuil avec les roues il peut propulser ce fauteuil avec un pied, toutefois ce pied ne devra pas être en contact avec le sol lorsque le joueur frappe la balle.

Dans la compétition, avant, seuls les athlètes en fauteuil ayant le maximum de mobilité arrivaient dans le haut niveau mais depuis peu une catégorie tétraplégique existe grâce à la volonté sociale de promouvoir la diversité paralympique. Ces joueurs peuvent utiliser des fauteuils roulants électriques allant à une vitesse maximale de 15 km/h, et pour le service une autre personne peut lancer leur balle et ils peuvent laisser rebondir la balle avant de la frapper. Une partie peut mettre en présence un ou des joueurs en fauteuil, face ou avec des joueurs valides. Dans ce cas le ou les joueurs en fauteuil suivent les règles du jeu en fauteuil et ont droit à deux rebonds tandis que les valides suivent les règles du jeu usuelles et n'ont qu'un seul rebond [itftennis.com]. Le tennis étant un sport proche de sports connus du grand public et permettant la mixité entre valides et PSH permet d'appivoiser la différence entre PSH et valides [Marcellini and Villoing, 2014].

3.2.3 Rugby Fauteuil

Le rugby fauteuil est un sport collectif mixte inventé au Canada en 1975, où deux équipes en fauteuil manuel spécifique s'opposent pour franchir la ligne de but adverse avec le ballon tout en défendant ses buts. Le fauteuil doit protéger l'intégrité physique du sportif avec des protections latérales et un pare-chocs avant, et tous les joueurs doivent porter des gants et des genouillères et coudières pour assurer leur protection corporelle. Le joueur doit être atteint des quatre membres pour jouer en compétition et son poste dépend de sa classification fonctionnelle, avec en défense les joueurs ayant moins de motricité. Aussi le fauteuil sera offensif ou défensif selon le poste du joueur dans l'équipe. Les débutants peuvent utiliser des fauteuils multi-sports ou de basket mais en limitant les contacts car ces fauteuils ne sont pas conçus pour les chocs [handisport.org].

Les règles du rugby fauteuil sont créées par la fédération internationale de rugby en fauteuil roulant (IWRWF) et elles s'appliquent au corps du joueur comme à son fauteuil. Le joueur doit s'assurer que son équipement (Fig. 3.9) correspond au règlement durant le jeu sous peine d'exclusion jusqu'à sa remise en conformité. Le fauteuil doit avoir deux grandes roues à l'arrière de 70 centimètres de diamètre équipées d'un protège-rayons, et aussi deux



FIGURE 3.9 – Championnat du monde de rugby-fauteuil 2018, match France/ Grande-Bretagne.

petites roues avant sur des essieux séparés et espacés d’au moins 20 centimètres. Le fauteuil doit être équipé d’un dispositif anti-basculement sans ressort fixé à l’arrière du fauteuil composé de deux roues espacées d’au moins 40 cm (Fig. 3.10). Le règlement stipule que la hauteur maximale du fauteuil est de 53 centimètres, sa longueur maximale entre l’avant de la roue arrière et l’avant du fauteuil est 46 cm, et sa largeur maximale ne doit pas aller au-delà des jantes de poussées. Le fauteuil doit être équipé d’un pare-chocs avant dépassant de 20 cm minimum, être surélevé du sol à 11 centimètres, et avoir des bords arrondis afin d’éviter qu’une arrête ou une saillie donne un avantage mécanique au joueur. La partie la plus avant a une largeur minimale de 20 cm et tout le pare-chocs doit être de 3 à 20 cm du sol et avoir des coudes dont le diamètre de la courbure intérieure est d’au moins 2 cm.

La propulsion du fauteuil ne peut être effectuée que manuellement sur les roues arrière et qu’il est interdit d’utiliser un système pouvant donner avantage mécanique non approuvé par l’IWRF au moins deux mois avant le début d’une compétition officielle comme les Jeux Paralympiques. De même, toute pièce du fauteuil peut être modifiée pour améliorer le confort ou la sécurité ou pour des raisons médicales tant qu’elles sont conformes au règlement et signalées sur la carte de classification du joueur lorsque ce sont des raisons médicales [iwrf.com]. Le fauteuil pèse entre 22 et 26 Kg, et coûte de 3500 à 7000 euros

3.2.4 Fauteuil d’athlétisme

L’athlétisme est un des sports historiques de la pratique sportive des paralysés moteurs qui était présent aux premiers Jeux de Stoke-Maneville et faisait l’objet de démonstrations aux Jeux Olympiques. Sa popularité et sa médiatisation influence depuis des générations la pratique de cette discipline. L’athlétisme comprend un grand nombre d’épreuves réparties entre les courses, les sauts, et les lancers. Pour les épreuves de course en fauteuil d’athlétisme, les athlètes portent une combinaison en lycra et des chaussons protecteurs. Depuis

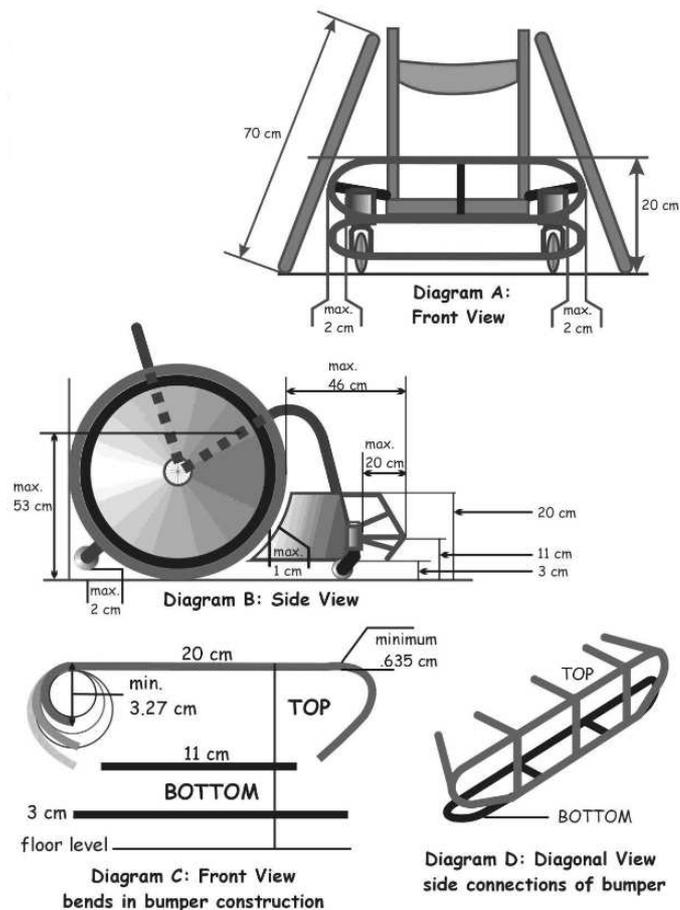


FIGURE 3.10 – Mesures du fauteuil de rugby.

1993 les athlètes ont l'obligation de porter un casque de cyclisme pour une distance supérieure à 800 mètres. Ils portent également une paire de gants à trois doigts renforcés sur le dessus. Les gants manufacturés mous sont en cuir et mousse tandis que les gants durs sont fait sur mesures en matériaux thermoplastiques moulés. Ces derniers ont permis une nouvelle technique de propulsion faisant intervenir essentiellement le pouce et la première commissure. Les techniques de propulsion choisies par les athlètes dépendent en effet des gants et de leurs capacités à fournir de la puissance de poussée selon ses groupes musculaires fonctionnels. La propulsion du fauteuil d'athlétisme se fait par friction sur la main courante de la face dorsale des doigts sans le pouce. Elle diffère en fonction des capacités de chacun. Par exemple les tétraplégiques T51, qui ont leurs biceps fonctionnels et pas leurs triceps, utilisent la technique Matson où leur main est en contact permanent avec la main courante [Druvert and Rusakievick, 2012]. Les athlètes ont le droit de s'équiper d'un masque de pluie pour les compétitions, et un home trainer peut leur servir pour entraînement. L'athlétisme se pratique en club avec du personnel formé, toutefois en 2010 un athlète aveugle pouvait uniquement se faire entraîner dans deux clubs ayant encadrement structuré [Noël, 2012].



FIGURE 3.11 – L’athlète Japonais Jun Hiromichi dans son fauteuil d’athlétisme aux Jeux de Londres aux 200 m T53. Le fauteuil est taillé pour la vitesse.

Le fauteuil d’athlétisme, rigide et léger, est profilé pour la vitesse (Fig. 3.11). Il pèse dans les 8 à 10 Kg, mesure de 170 à 185 cm, et peut atteindre des vitesses allant jusqu’à plus de 40 Km/h. Il comporte trois roues, deux roues arrière de 700C avec main courante et une roue avant de 200C [handisport.org]. Le fauteuil permet des positions différentes selon les capacités ou le handicap des athlètes. Le réglage du fauteuil se fait en fonction de la morphologie de l’athlète, de son niveau lésionnel et du type d’épreuve parcouru (sprint ou demi-fond et fond). La position assise est la position classique, avec les genoux abaissés par un repose pied reculé afin d’incliner le tronc, alignés avec l’axe des épaules, mais étant toujours au-dessus des fessiers. La position tibiale, ou à genoux, est la position privilégiée en compétition. Elle permet de relever plus les fessiers et d’abaisser les genoux qui se retrouvent au même niveau que les fessiers. Le bassin relevé et les épaules avancées par rapport à la tangente de la main courante permettent une meilleure exploitation de la main courante. En effet lors du réglage du fauteuil l’athlète doit veiller au positionnement de son centre de gravité qui doit se trouver parallèle à la poutre. Chaque réglage a des influences sur la stabilité, la maniabilité, la puissance et la sécurité du sportif [handisport-lemag.org]. Le réglage optimum du fauteuil d’athlétisme apporte stabilité et équilibre dans la propulsion de l’athlète qui peut utiliser en souplesse les muscles de ses bras. Un bon réglage permet de prévenir des blessures qui surviennent essentiellement aux épaules des athlètes et parfois aux poignets et aux coudes [Druvert and Rusakievick, 2012].

De fait, le siège est réglable en pratique de loisirs via son assise en toile qui s’adapte à la morphologie du débutant tandis que dans la pratique de haut niveau l’assise est moulée au bassin de l’athlète. Le fauteuil peut être équipé de sangles et d’un repose-pied, et ses roues sont à rayons, à bâtons ou lenticulaires. Ce choix de la roue dépend de la longueur de la

course, selon si l'athlète souhaite privilégier la légèreté ou l'inertie. Elles sont aussi carrossées pour une meilleure stabilité et une simplicité physiologique du mouvement de boxage de la roue. Un fauteuil coûte de 900 à 5000 euros et avec de légères modifications il peut s'utiliser sur piste et sur route. Le marquage « CE » est un gage de matériel de qualité obligatoire pour la mise sur le marché d'un dispositif de pratique sportive dit médical [Noël, 2012]. L'usure des pneus, le gonflage et l'encollement doivent être vérifiés régulièrement par l'athlète, de même que d'éventuelles fissures sur le cadre dans les zones supportant le poids de l'athlète.

La législation concernant la pratique de l'athlétisme fauteuil sera détaillée dans le chapitre suivant : « Fauteuil d'athlétisme ».

Chapitre 4

Fauteuil d'athlétisme

4.1 Évolution temporelle des performances d'athlétisme

Les premières courses d'athlétisme aux Jeux de Stoke Maneville se pratiquent sur de simples fauteuils d'hôpital, puis l'approche du sport évolue avec les Jeux de Rome de 1960 où les sportifs en tenues civiles utilisent leur lourds fauteuils quotidiens inadaptés avec leurs freins, accoudoirs, et mains courantes. Les distances sont alors de courtes lignes droites sur piste et les athlètes bricolent artisanalement leurs fauteuils pour s'adapter aux circonstances sans chercher spécifiquement la performance, ni pour s'adapter aux différents handicaps. L'intégration des compétitions paralympiques aux Jeux Olympiques fournit une vitrine internationale sur le handisport et la multitude de catégories permet aux handicaps de s'exprimer de manière équitable. L'image de chaque pays en matière de handicap est représentée ainsi que le savoir-faire technologique développé pour récupérer de nouvelles médailles. Le développement technologique est pris en charge par les fédérations lors de la décennie suivante et les pays et les industriels investissent à leur tour le monde du handicap. En 1968 le premier fauteuil de course multi-sports pour handicapés physiques est commercialisé (Fig. 4.1). Ce fauteuil à quatre roues comporte notamment des mains courantes plus petites, des roues arrière et avant plus grandes, et moins d'armature. Il est allégé avec le retrait des freins et des accoudoirs pour les Jeux de Séoul et la main courante est conçue dans une logique de propulsion. Les athlètes portent des gants épais pour protéger leurs mains et faciliter la prise de la main courante, et leur geste sportif de propulsion est transformé vers un style appelé « boxage de la roue ». Le matériel sportif est ensuite normalisé et standardisé [Noël, 2012].

Depuis les premiers Jeux Paralympiques la performance sportive en athlétisme s'est fortement accrue via la professionnalisation du sport, l'augmentation du nombre de participants et les évolutions technologiques. S'il est difficile de séparer performance et technologie dans les sports techno-dépendants il reste possible de suivre l'évolution temporelle de la

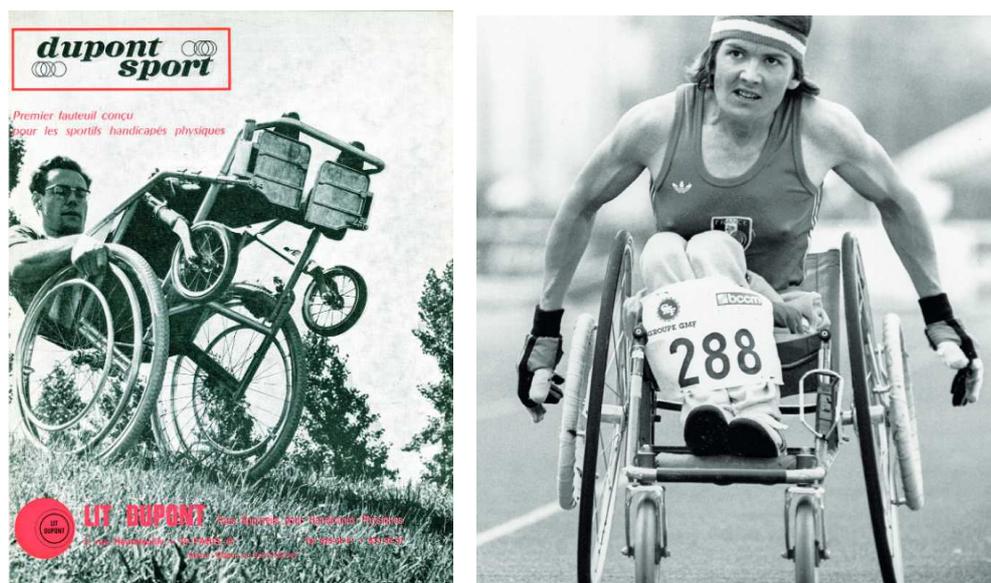


FIGURE 4.1 – Premier fauteuil multi-sports.

A gauche, une publicité pour le premier fauteuil multi-sports avec Guy Génin, coureur sélectionné pour le 100 m à Tel Aviv en 1968. A droite, Gisèle Gatteau sur un des premiers modèle en 1970.

performance comme les records au marathon en fauteuil soit 42 Km de course. Ainsi, en 1975, l'américain Bob Hall est le premier participant à un marathon en fauteuil à Boston (Fig. 4.2). Il a parcouru l'épreuve en 2h53min sur un fauteuil en acier de 25 Kg pliant ayant une assise haute parallèle au sol. Ce fauteuil a quatre roues pneumatiques au diamètre de 600 mm pour les deux roue arrière et de 200 mm pour les deux roues avant. Une main courante chromée, du diamètre de la roue, permet à l'athlète de pousser son fauteuil en l'attrapant à pleines mains sans gants. Toutefois avec un handicap lourd la performance sur ce fauteuil décroît. En 1978, son compatriote George Murray bat le record en 2h 26min avec un fauteuil pliant de 20 Kg dont l'assise plus basse est plus efficace pour la poussée sur la main courante qui a un diamètre rétrécit de 400 mm et est composée de grosses sections sans revêtement. L'athlète porte des gants en peau le protégeant des brûlures et ses genoux sont plus élevés ce qui permet de mieux fixer le tronc.

Progressivement le fauteuil s'allège, les roues se carrossent et s'affinent, et la main courante se réduit. Dans les années 1980, le fauteuil prend une forme élancée avec toujours quatre roues qui passent d'un type « roue d'hôpital » à un modèle plus sportif, plus légères et plus maniables. Le canadien Rick Hansen court le marathon en 2h09min en 1980 dans un fauteuil rigide en aluminium de 15 Kg avec des roues arrière d'un diamètre de 700 mm, une main courante à revêtement de 300 mm, et des gants en peau renforcés. Cette performance, égale à celle des coureurs à pied, exige une puissance musculaire et un matériel efficace. L'évolution des fauteuils s'est alors accélérée avec le défit des courses sur route avec les valides. L'amélioration de la technologie et des méthodes d'entraînement améliore le temps



FIGURE 4.2 – Bob Hall, premier marathonien en fauteuil en 1975.

des marathons : en 1983 Jim Knaub fait une performance sous la barre des deux heures et inférieure au premier valide. Il l'a effectué en 1h47min sur un fauteuil similaire allégé de cinq kilos avec des roues arrière ayant non plus des pneumatiques mais un boyau, et une main courante fine de 350 mm et revêtue d'antidérapant utilisé pour une nouvelle poussée par frottement dit « boxage de la main courante ». Le tronc et les jambes sont bloqués pour limiter les mouvements indésirables et une barre de parallélisme est ajoutée pour le train avant. Les gants sont renforcés sur les zones de contact et de la colle est déposée dessus pour une meilleure adhérence à la main courante. Ce matériel offre la possibilité de performance et s'adapte à différents handicaps aussi des protections latérales sont ajoutées. L'année suivante Jim Knaub et Rick Hansen courent le marathon de Boston en 1h43min sur un fauteuil à grandes roues avant à boyaux et à rayons de 500 mm de diamètre. La main courante au revêtement antidérapant varie entre 300 et 450 mm de diamètre avec de petites ou grosses sections, et les gants sont recouverts de colle, de glu ou de goudron. Le fauteuil comporte une barre de parallélisme et un correcteur de devers. Une adaptation maximale est faite en fonction du règlement qui, jusque là, obligeait la présence de quatre roues dont la taille ne doit respectivement pas dépasser 700 et 500 mm de diamètre, limitait à 1,20 m la longueur du fauteuil et qui interdisait l'usage de bielle ou de système de démultiplication sur les roues arrière, mis à part les mains courantes. En 1986, le canadien Paul Clam court un marathon en 1h39min dans un fauteuil de 8 Kg en aluminium et en titane comportant une unique roue avant de 360 mm de diamètre ce qui l'allège et lui confère une meilleure tenue de route. La main courante est uniquement à petite section et les gants sont enduits de glu lors de l'utilisation de ce fauteuil uniquement autorisé sur route. Ce record est battu de dix minutes en 1989 au marathon de Boston après les Jeux de Séoul sur un fauteuil en

alliage d'aluminium, de titane et de carbone, comprenant une roue avant de 400 mm de diamètre. La réglementation de 1988 vient ajouter quelques règles en interdisant une structure dépassant l'aplomb des roues arrière ou la présence de poignées sur les mains courantes. En revanche, elle ne limite plus la longueur du fauteuil qui s'allonge et autorise la présence d'un guide pour prendre la courbe des virages sur piste. La présence obligatoire d'un frein avant ajoute une sécurité qui permet de diminuer le nombre de catégories par épreuves. Le fauteuil à quatre roue (Fig. 4.3) tire quant-à lui sa révérence avec la fin de sa fabrication par les constructeurs.



FIGURE 4.3 – Mustapha Badid, remportant le 1500 m aux Jeux de Séoul en 1988. Il a été par la suite quintuple médaillé d'or de 1988 à 1996.

Dans les années 1990 le fauteuil gagne en aérodynamisme. Après les Jeux de Barcelone Jim Knaub bat son record au marathon de Boston avec un record de 1h26min28s dans un fauteuil en aluminium et en titane et avec ses gants manufacturés permettant une poussée avec tous les doigts. Les roues arrière sont en carbone, carrossées, à bâtons et non plus à rayons (Fig. 4.4). La roue avant a un diamètre de 400 mm ou 500 mm, la main courante entre 360 mm et 450 mm. La longueur du fauteuil varie entre 1,60 m et 1,45 m. La cage d'assise comprenant les garde-boue de protection et les plaques de côté est fermée et le tronc est presque à l'horizontale lors de la poussée. Le fauteuil se sépare en deux genres différents selon qu'il est voué à être utilisé sur piste ou sur route. En 1993, le fauteuil

de piste est caréné pour gagner en aérodynamisme et l'assise en aluminium ou en titane est entièrement fermée, plus haute afin de gagner en frappe sur les roues et d'améliorer son aérodynamisme. Une poutre centrale tient la roue avant à jantes en carbone ou avec des flasques. Les roues arrière sont à boyaux ou à pneumatiques et les roues avant sont en carbones ou en boyau. La main courante est de 150 à 360 mm de diamètre. Les performances atteintes par les athlètes sont alors entre celles du vélo et de la course à pied, faisant de ce sport un sport neuf rassemblant plus de 300 compétiteurs internationaux à travers le monde [docplayer.fr/21409293-La-course-en-fauteuil-sur-route-l-evolution-du-materiel.html].



FIGURE 4.4 – Fauteuils de Claude Issorat, Le Crabe aux pinces d'or.

A gauche, Claude Issorat sur un premier premier modèle de fauteuil à bâtons remporte une médaille d'or aux Jeux Paralympiques de Barcelone de 1992. A droite, avec son nouveau modèle de fauteuil, il ressort des Jeux d'Atlanta de 1996 triple médaillé d'or. Claude Issorat a été septuple médaillé d'or de 1992 à 2000. Doit-on voir ici une amélioration du matériel, ou évolution des capacités du sportif ?

Les gants durs font leur apparition après 1995 et en 1999 le tube elliptique est remplacé par un tube triangulaire déformé à masse équivalente qui améliore la rigidité contre la torsion. Durant les années 2000, la conception des plans des fauteuils est en 3D et les fauteuils sont en aluminium avec des châssis plus rigides et notamment des cages d'assise dures sous les genoux et parfois sous les fesses. Les fauteuils se diversifient et sont adaptés en fonction de la course (sprint ou fond). En 2003, la poutre centrale triangulaire est remplacée par un cadre en aluminium à section transversale profilé en forme de calebasse ce qui augmente la rigidité verticale et horizontale. En 2006, il est possible de suivre les déformations causées

par la force sur le cadre. L'année suivante la rigidité du fauteuil augmente considérablement : la poutre est plus rigide, la fourche avant est en carbone, et le châssis est désormais en tubes creux renforcés localement. Le choix de la rigidité est possible tandis qu'un autre modèle de fauteuil est mis en avant. Ce modèle très compatible aux différents handicaps et facile d'utilisation permet de prendre en charge un large éventail de joueurs et divers positionnements. En 2008, le carbone est utilisé pour le tube d'essieu et en 2009 la poutre rejoint l'intérieur du cadre principal, permettant de personnaliser le fauteuil selon la puissance et la morphologie des athlètes. A partir de 2011, les essieux et la fourche sont en carbone. En 2012, le châssis, en carbone, permet de réduire les vibrations par absorption et d'améliorer la propulsion tandis que la cage d'assise reste en aluminium pour un poids et un rendement meilleurs [oxgroup.co]. En 2016 pour les Jeux de Rio, BMW travaille avec l'équipe paralympique d'athlétisme américaine pour concevoir un prototype de fauteuil technologique et esthétique avec une refonte complète du châssis en matériaux composites renforcés de fibres de carbone et une optimisation de l'efficacité aérodynamique. Il permet une approche personnalisée permettant un ajustement aux besoins et à la morphologie des athlètes.

L'évolution des performances en athlétisme fauteuil est directement liée à l'évolution matérielle, mais également au nombre de participants (Fig. 4.5). En effet plus il y a de participants investis dans une discipline, plus il est possible de battre les records établis. Il n'y a pas de données de recherche disponibles sur la participation et les performances au marathon en fauteuil roulant, toutefois la participation des athlètes masculins au marathon international en fauteuil roulant d'Oita est à son paroxysme dans les années 1990 avec 180 finisseurs sur la période 1995–1998 contre moins de 90 en 2011. De plus, une augmentation des femmes participantes est observée depuis 40 ans chez les valides alors que la participation féminine stagne à 5 % du total chez les personnes en situation de handicap. L'écart des performances entre les hommes et les femmes valides est de 12 % contre 22 à 26 % pour les handi-sportifs, les meilleures performances étant effectuées entre 32 et 36 ans et l'écart se creusant dans les épreuves d'endurance, possiblement due aux différences physiologiques entre les hommes et les femmes. En effet, les marathoniens en fauteuil d'athlétisme consomment en moyenne moins d'oxygène (35,0 ml/kg/min) que les coureurs d'élite valides mais leur fréquence cardiaque est plus élevée (170 bpm) tout au long de l'épreuve. Or les hommes ont une plus importante masse musculaire par unité de poids corporel avec un cœur plus gros et moins de graisse corporelle, ainsi qu'une plus grande concentration d'hémoglobine et donc une plus grande consommation maximale d'oxygène. De plus, la puissance musculaire brachiale et la force de préhension des mains inférieure chez les femmes pourrait limiter la production d'énergie pendant un effort de 2 heures. L'âge du sommet de performance des handi-athlètes est inférieur à celui des valides qui est de 40 ans mais similaire entre hommes et femmes, probablement en raison de la santé des athlètes [Lepers et al., 2012].

Les records de performances se sont stabilisés depuis la fin des années 1990 pour les maratho-

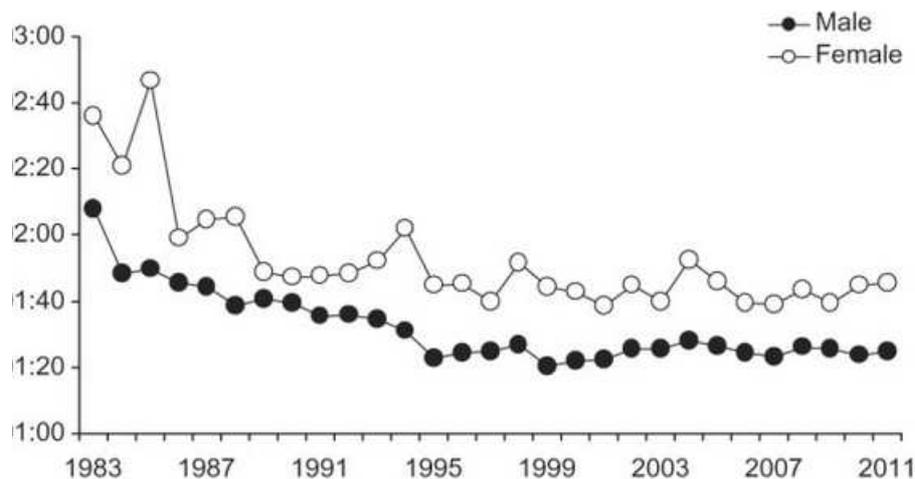


FIGURE 4.5 – Évolution temporelle des performances en marathon fauteuil (en h) en fonction du temps (année) et selon son genre. [Lepers et al., 2012]

nien.ne.s en fauteuil roulant. Or chez les marathonien.s valides une décennie est nécessaire à partir d'un premier événement d'endurance pour atteindre un niveau de performance d'élite stable. Les stratégies de course avec des techniques similaires au cyclisme, comme se grouper pour une meilleure aérodynamique, permettent également d'améliorer les performances [Lepers et al., 2012]. Le record de rapidité sur un marathon en fauteuil est ainsi passé de 5h20min au marathon de Rome de 1960 à 1h18min25s en 2012 pour le marathon de Boston détenu par le Canadien Joshua Cassidy (course inéligible aux records mondiaux). Le record féminin détenu par l'Américaine Shirley Reilly au marathon de Boston est d'1h37min36s et le record masculin officiel est de 1h28min57s par l'Australien Kurt Fearnley le 26 avril 2009 au marathon de Londres [guinnessworldrecords.com]. Ces variations temporelles de performance de 4 h et 2 min en 60 ans soulignent l'importance de l'innovation technologique mais posent également la question de l'évolution des capacités humaines avec le temps. Actuellement les fauteuils commercialisés sont très majoritairement tout en carbone et un scanner 3D est utilisé pour la prise de mesure et pour la fabrication des gants. Sur le plan technique, l'utilisation de mains courantes surdimensionnées (46 cm) par le jeune athlète paralympique américain Daniel Romanchuk, vainqueur des marathons de Chicago (2018), New York (2018, plus jeune américain vainqueur), Boston (2019) et Londres (2019), dessine une tendance. En effet, il n'est pas courant chez les athlètes de grande envergure d'utiliser des mains courantes aussi large car cela demande une très grande fréquence gestuelle de boxage de la roue.

4.2 Évolution du fauteuil d'athlétisme

L'athlétisme fauteuil est un sport mécanique et techno-dépendant dont les règles permettent une évolution du fauteuil pour adapter et réduire les différences d'efficacité liées au handicap (Fig. 4.6). Les paramètres les plus importants à considérer pour la vitesse sont la position de l'axe arrière, la hauteur du siège et la hauteur des genoux [Druvert and Rusakievick, 2012]. Le cadre, les roues, les mains courantes et les gants ont subi des évolutions matérielles im-

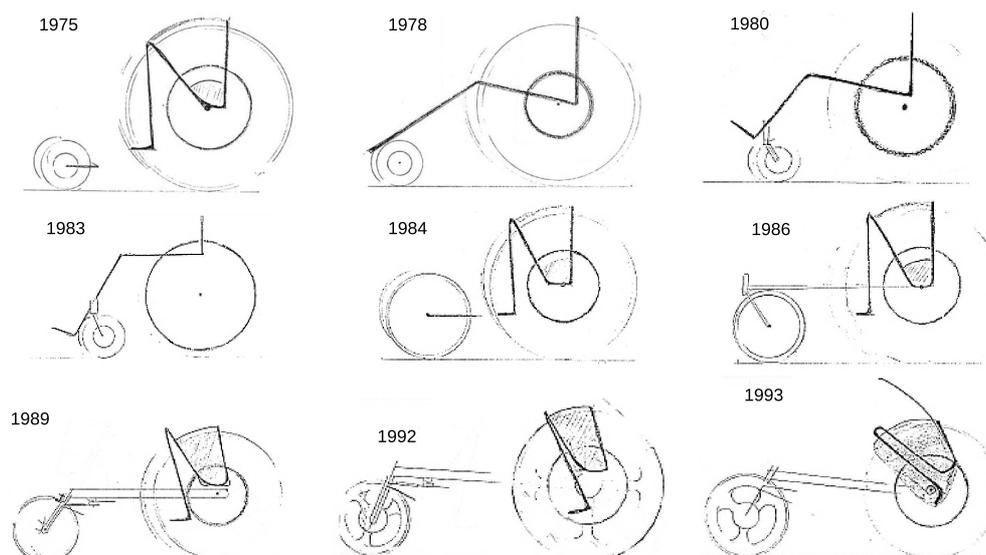


FIGURE 4.6 – Évolution chronologique du fauteuil d'athlétisme.

Actes du Colloque HANDITEC-SETAA 1993.

portantes ayant jouées un rôle primordial dans la performance. Le cadre est désormais adaptable à la morphologie spécifique de chaque utilisateur ce qui diminue l'écart entre les performances liées au handicap car il empêche les mouvements parasites et permet de gagner en équilibre en bloquant le tronc. Il protège l'athlète du frottement des roues et permet d'encapsuler l'athlète qui fait corps avec le fauteuil. Les roues arrière ont suivi l'évolution des roues de vélo tandis que les roues avant ont été imaginées spécialement pour cette discipline. Les mains courantes ont varié en diamètre et en largeur et les gants ont gagné en qualité d'adhérence ce qui permet de mieux restituer la puissance développée par l'athlète pour propulser le fauteuil. Alors que les roues et le châssis de haute qualité sont en vente libre, les gants et le revêtement des mains courantes restent de fabrication artisanale. Lors de la pratique d'athlétisme en fauteuil, les athlètes rencontrent surtout des problèmes d'aérodynamisme, c'est pourquoi ils portent des vêtements près du corps et ont une position très horizontale lors de la course. La position de l'athlète varie néanmoins selon la longueur de la course car il ne peut rester incliné trop longtemps dans cette position peu favorable à la circulation sanguine, malgré l'avantage aérodynamique. En effet la tête peut se retrouver en-dessous du niveau du corps et être mal irriguée ce qui risque de leur déclencher des ma-

laises.

Lors de la course la tenue de la main courante par l'athlète varie selon sa vitesse avec au départ l'athlète se cramponne à la main courante afin de s'élancer puis progressivement boxe sur roue donc applique une frappe régulière très à la verticale. Les bras sont en position fermée et près du corps pour limiter les pertes énergétiques. Un athlète peut également se servir de ces autres sens afin de savoir s'il boxe correctement la roue. L'ouïe permet à un athlète que j'ai rencontré de savoir lorsque sa frappe est non optimale car il entend lorsque la roue vient froter bruyamment sur le garde-boue. Grâce à l'amélioration du matériel et des entraînements, en athlétisme la course de 100m se court aujourd'hui en moins de 14 secondes et le marathon en 1h20min.

4.3 Lois et règlement

Le Sport de Haut Niveau (SHN) est régi par le Code du Sport et se définit par des critères établis comme la reconnaissance du caractère de haut niveau, les compétitions de référence, les listes des sportifs de haut niveau et les parcours d'excellence sportive. Les règles techniques des compétitions d'athlétisme de haut niveau handisport, dont l'athlétisme fauteuil, s'appuient sur celles de la Fédération Internationale, ou WPA (World Para Athletics). Le règlement officiel des courses en fauteuil roulant des classes sportives T32-34 et T51-54 est fourni par la WPA et est vérifié chez les athlètes par un délégué technique. Les athlètes en fauteuil sont regroupés dans la catégorie T, Track pour les courses, ou F, Field pour les lancers, avec des chiffres de catégories entre 51 et 54. Plus le second chiffre est petit plus le handicap est important (Fig. 4.7).

Depuis la création du Comité Internationale Paralympique (CIP) la politique du sport de haut niveau se modifie rapidement. Le droit transnational sportif dit *Lex sportiva* s'est émancipé des droits étatiques et s'auto-régule bien qu'il rencontre des limites depuis que le droit communautaire s'en est saisi. Il est composé des ordres juridiques des fédérations sportives internationales que le Comité international olympique essaie de centraliser, du tribunal arbitral du sport, et de l'agence mondiale antidopage [Latty, 2007]. Toutefois l'évolution internationale a fragilisé le système sportif français, bien qu'il fonctionne toujours via ses conventions et le pousse à évoluer. Les politiques nationales et internationales ont effectivement un rôle à jouer avec un cadre législatif parfois contraignant [Marcellini and Villoing, 2014].

4.3.1 Le fauteuil d'athlétisme

Le règlement officiel stipule que le fauteuil d'athlétisme doit avoir deux grandes roues arrière, une petite roue avant, et, par sécurité, un système de freinage fonctionnel. La propulsion ne peut être faite par un engrenage ou un levier mécanique et le fauteuil ne peut avoir de rétroviseur. La roue avant doit pouvoir tourner manuellement à gauche et à droite pour se diriger et il est uniquement autorisé d'utiliser des dispositifs de direction mécaniques à commande manuelle. Il est également interdit d'améliorer les performances via l'aérodynamisme avec un carénage ou des dispositifs similaires, ou avec un stockage d'énergie au sein du fauteuil, des fixations ou des accessoires élastiques. Les dispositifs de communication présents sur l'athlète et le fauteuil sont quant-à eux autorisés uniquement dans un but d'assistance et non des communications autres comme donnant un avantage injuste à l'athlète ou à des fins publicitaires. Le cadre du fauteuil roulant et ses accessoires ne doivent pas s'étendre en longueur au-delà du moyeu de la roue avant et au-delà du plan vertical le plus à l'arrière des roues arrière, pneus compris : si contre un mur, les pneus touchent le mur plus tôt que le cadre d'assise le fauteuil est acceptable. En largeur, les cadres ne doivent pas être plus larges que la longueur entre l'intérieur des moyeux de roue arrière, et la hauteur

maximale du sol au bas du cadre du fauteuil roulant doit être de 50 cm. Par sécurité le cadre doit être fabriqué dans un matériau qui offre une stabilité et une rigidité suffisantes et il doit comprendre un siège à des fins de positionnement. Des protections latérales doivent être ajoutées pour protéger l'athlète des roues.

Concernant les roues et les jantes, le diamètre maximal des grandes roues et de la petite roue pneus gonflés ne doit respectivement pas dépasser 70 cm et 50 cm, et seule une jante plate et ronde est autorisée par grande roue. Toutefois certaines catégories d'athlètes ayant des capacités physiques limitées comme une propulsion à un bras ou une limitation des capacités à stabiliser son poignet pendant la poussée peuvent utiliser une jante et un disque de roue fusionnés. Le corps de l'athlète ne peut en aucun cas être attaché à la jante ou à la roue.

La conformité des fauteuils de course et les réglementations publicitaires sont pré-vérifiées avant les compétitions majeures comme les jeux paralympiques. En compétition les fauteuils sont mesurés et inspectés dans la salle d'appel avec l'athlète installé et après ils ne peuvent plus être retirés de la zone de compétition avant le début de l'épreuve. Ils peuvent alors être réexaminés avant ou après l'épreuve par des membres officiels de la course comme l'arbitre de piste. C'est aux athlètes de vérifier que leur fauteuil est conforme au règlement et ajusté à l'heure du début de la course. Ils doivent également sécuriser leurs membres inférieurs pour éviter les chutes et les blessures. L'arbitre peut exclure les athlètes ou leur fauteuil roulant d'une course s'ils représentent des risques de sécurité [paralympic.org].



FIGURE 4.7 – Fauteuil d'athlétisme.

L'athlète Tatyana McFadden sur son fauteuil de compétition avec roues à bâtons de carbone aux Championnats du monde d'athlétisme handisport à Vénissieux en 2013. Elle en ressortira six fois médaillée d'or en catégorie T54, récupérant toutes les médailles, du 100 m au 5000 m.

4.3.2 Pistes et course

Les pistes de course utilisées pour les championnats du monde et les jeux paralympiques doivent également être conformes aux mesures standards du manuel des installations d'athlétisme de l'IAAF. Leur longueur doit être de 400 m et comporter deux lignes droites parallèles et deux virages aux rayons égaux. La distance de la course est mesurée du bord de la ligne de départ la plus loin de l'arrivée au bord de la ligne d'arrivée la plus près du départ. L'intérieur de la piste doit avoir une bordure blanche en matériau approprié de 50 mm à 65 mm de hauteur pour 50 mm à 250 mm de largeur. Elle peut être remplacée sur les lignes droites par une ligne blanche de 50 mm. La piste est marquée par une couleur distincte et un cône ou un drapeau de 1,5 m de haut placé aux deux extrémités de la ligne de rupture lorsqu'elle passe d'une courbe à une ligne droite ou inversement. Pour les courses de longueurs inférieures ou égales à 400 m chacun des huit couloirs doit être de 1,22 m de large. L'inclinaison latérale vers le bord intérieur ne doit pas dépasser 1 % et l'inclinaison globale du sens de la marche ne doit pas dépasser 0,1 %.

À l'origine, les pistes d'athlétisme étaient conçues en tartan[®], un agrégat de caoutchouc et de résine synthétique de polyuréthane qui s'est popularisé avec son utilisation lors des Jeux de 1968. Actuellement, le revêtement d'une piste d'athlétisme doit correspondre à la norme ISO 17025. En compétition, le World Athletics Track and Field Facilities Manual sert de référence pour la composition de la piste d'athlétisme. Les sols de compétition sont dits « à déformation surfacique ». Ils sont plus rigides qu'une piste standard. Le sol d'une piste olympique est composée d'une sous-construction rigide recouvert d'une couche amortissante. Cette couche anti-dérapante peut être composée de polyuréthane, ou d'un mélange d'élastomères coulés, de miettes de caoutchouc liées à la résine, et de systèmes composites. L'épaisseur de la piste d'athlétisme est de 12 mm, et son déplacement relatif est de 15 %. La force appliquée sur une surface de 4 mm² doit être comprise entre 0,8 et 1 N. Le module d'Young d'une piste d'athlétisme aux normes de l'IAAF est donc d'environ 1,5 MPa.

Des épreuves de qualification ont lieu lorsque le nombre d'athlètes est trop important pour que la compétition se déroule en une seule manche. Elles permettent de déterminer de la meilleure façon possible les meilleurs athlètes qui participeront au tour suivant et éventuellement à la finale. Tous les athlètes doivent participer aux épreuves de qualification et se qualifier pour participer aux épreuves. Dans la mesure du possible, les représentants de chaque nation ou équipe et les athlètes les plus performants seront placés dans des manches différentes dans toutes les manches de qualification de la compétition. La performance est déterminée en fonction des meilleurs temps réalisés, après lecture du vent, dans des conditions validées par chaque athlète au cours de la période de qualification ou des records de carrière récents.

Pour le départ, les athlètes en fauteuil n'utilisent pas de starting blocs. La ligne de départ est une ligne blanche de 50 mm de large avec les positions de départ numérotées de l'intérieur vers l'extérieur dans le sens de la course. Dans toutes les courses ne se déroulant pas dans

des couloirs, la ligne de départ doit être courbe afin que tous les athlètes commencent à la même distance de l'arrivée. Les commandes du départ prononcées en anglais uniquement sont « On your marks » puis « Set » et seront suivies d'un tir au pistolet de starter tiré vers le haut ou par un drapeau ou une lampe si l'athlète est déficient auditif. Il n'y a pas de limites de temps imposée entre les trois commandes de départ. L'athlète doit prendre une position dans sa voie allouée et s'approcher de la ligne de départ sans la toucher à la commande « On your marks ». Lors de la commande « Set » il doit immédiatement prendre sa position de départ finale en conservant le contact de la roue avant avec le sol derrière la ligne. Une fois les athlètes stables correctement positionnés et les juges et l'équipe de chronométrage prête le départ est donné au pistolet. Dans les hautes compétitions, une société de services est responsable du chronométrage électronique et du système d'information de départ. Le départ doit rester équitable, et c'est aux juges de vérifier sa bonne tenue. Ainsi dans les courses de 800 m ou plus, le starter peut demander un redémarrage de la course en cas de collision entre athlètes dans les 50 premiers mètres. Il rappellera les athlètes en tirant à nouveau. Un faux départ peut aussi être signalé par le starter ou par des systèmes d'informations officielles certifiés par l'IAAF. En cas de faux départ, comme un départ anticipé, l'athlète responsable pourra avoir un premier avertissement ou être disqualifié par le starter. Les juges peuvent également disqualifier des concurrents qui ne se conforment pas au règlement, par exemple en ne se plaçant pas correctement ou en faisant un faux départ. Les courses de plus de 12 personnes peuvent être divisées en deux groupes, et si la course est suffisamment longue pour comporter un virage la direction de la course doit être vers la gauche. Dans toutes les courses non courues dans les couloirs, un athlète ne doit pas avancer sur ou à l'intérieur du trottoir. Pendant la course la propulsion par toute autre méthode que l'athlète poussant sur les roues ou les jantes entraînera la disqualification. Les athlètes peuvent quitter leurs voies respectives lorsque le bas des roues arrière au contact du sol a dépassé le bord le plus proche de la ligne de rupture, une ligne arquée présente après le premier virage de la course. Lorsqu'un athlète souhaite dépasser, il a la responsabilité de garantir un dégagement complet du fauteuil avant de traverser (Fig. 4.8). L'athlète dépassé ne doit pas gêner l'athlète entrant une fois que la ou les roues avant de l'athlète sont en vue.

Tous les équipements de mesure du vent doivent être non mécaniques et fabriqués et étalonnés conformément aux normes internationales, avec une précision vérifiée par un organisme approprié et une protection appropriée pour réduire l'impact de tout vent de travers. La longueur de chaque côté de l'appareil de mesure doit être au moins le double du diamètre du tube et la jauge de vent doit placée à 1,22 m de haut à côté de la ligne droite à 2 m de la voie 1 et à 50 m de la ligne d'arrivée. La vitesse du vent doit être lue en mètres par seconde arrondie au dixième supérieur et être mesurée 10 secondes après le départ de l'épreuve de 100 m et 10 secondes après que le premier athlète entre dans la ligne droite lors de l'épreuve de 200 m. Ces informations sont transmises directement au calculateur de compétition.

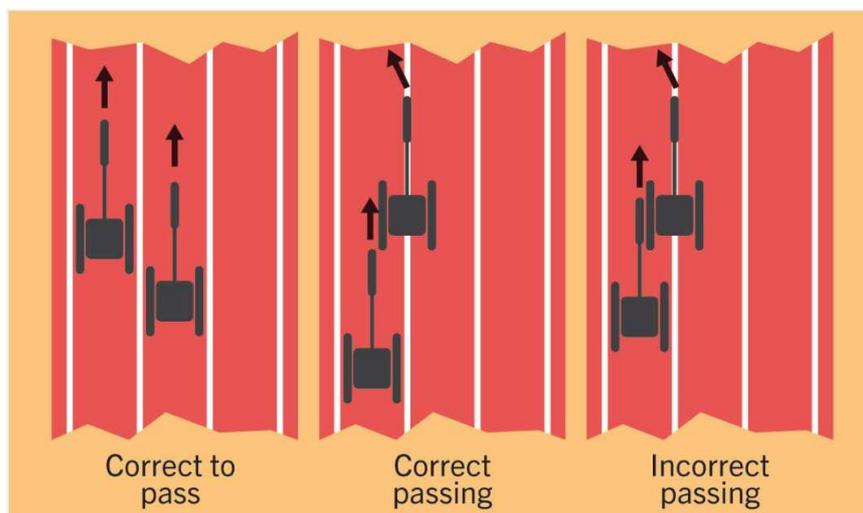


FIGURE 4.8 – Dépassement lors d'une épreuve d'athlétisme fauteuil.

L'arrivée est quant-à elle indiquée par une ligne blanche de 50 mm de large et l'ordre d'arrivée dépend de l'ordre dans lequel le centre de l'essieu de la roue avant atteint le plan vertical du bord le plus proche de la ligne d'arrivée. Dans les courses de 1500 m ou plus les officiels peuvent conclure l'événement et effacer la piste après l'expiration d'un délai convenu. Tout athlète qui n'a pas parcouru la distance définie à la fin d'une épreuve doit figurer dans les résultats officiels comme « DNF », soit non-terminé. Les résultats sur piste sont validés par une des méthodes de chronométrage officiel comme le chronométrage manuel ou le chronométrage automatique obtenu à partir d'un système de photo-finish. Le temps doit être pris à partir du flash ou de la fumée du pistolet. Trois chronométreurs officiels, dont un chronométreur en chef, chronométreront de manière indépendante le vainqueur et les performances des épreuves à des fins de record. Les temps enregistrés par les deux chronométreurs supplémentaires ne seront utilisés qu'en cas de défaillance du premier chronométrage. Les chronométreurs doivent être sur un stand surélevé aligné avec l'arrivée et si possible placés à au moins 5m de la voie extérieure de la piste. Ils utilisent des minuteries électroniques à commande manuelle avec affichage numérique appelé montres. Les résultats sont enregistrés au dixième de seconde exact ou au dixième de seconde supérieur comme 9,22 est retenu à 9,3. Si deux des trois montres ont le même résultat leur temps enregistré sera l'officiel sinon en cas de désaccord des trois le temps officiel sera le temps intermédiaire. Les temps de tous les athlètes finissant la course doivent être enregistrés et, dans la mesure du possible, les temps à chaque tour dans les courses de 800 m et plus doivent être enregistrés par des membres désignés de l'équipe de chronométrage. Les temps intermédiaires et les temps de finition préliminaires peuvent être officiellement affichés. Un système de chronométrage et de photo-finition entièrement automatique conforme aux règles de l'IAAF sera si possible utilisé dans toutes les compétitions. Une caméra de 1000 images par seconde est placée dans

le prolongement de la ligne d'arrivée et enregistre le temps tous les athlètes [paralympic.org].

4.4 Le fauteuil actuel

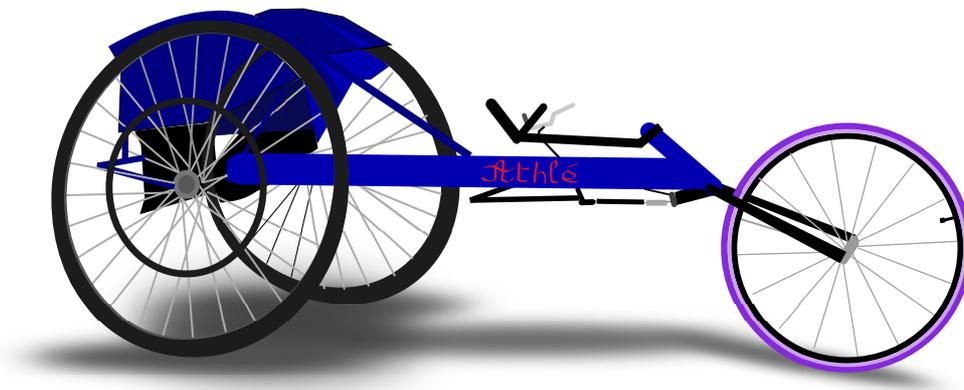


FIGURE 4.9 – Un fauteuil d'athlétisme en 2020.

Le fauteuil d'athlétisme est un outil utilisé par les paralysés moteurs dans des compétitions d'athlétisme dont les Jeux Paralympiques 2024. Ces fauteuils (Fig. 4.9) ont muté au fur et à mesure des avancées technologiques, passant d'un fauteuil standard d'hôpital à un modèle aérodynamique à trois roues. Le fauteuil actuel pèse moins de 10 Kg et comporte deux roues arrière de 700 mm avec main courante, un siège réglable avec des sangles et un repose-pied. Sur cette partie semblable à un fauteuil standard vient s'ajouter une longue poutre comprenant un frein et un système de butée réglé préalablement pour les virages nommé steering. Au bout de la poutre une fourche en aluminium tient la roue avant, formant un angle avec la poutre différent selon le choix du constructeur. Toutes les roues du fauteuil d'athlétisme comprennent une chambre à air, et la roue avant et toujours à rayon tandis que les roues arrière dépendent de la longueur de la course et des capacités physiques de l'athlète.

Les roues à rayons classiques sont utilisées en entraînement tandis que les roues carbonées à bâtons sont utilisées pour les sprints et les roues lenticulaires ou para-lenticulaires sont favorisées pour leur inertie. En effet les roues (para-)lenticulaires permettent d'accroître leurs vitesses par une meilleure poussée sur les mains courantes et sont utilisées pour les courses longues [handisport.org]. Les roues paraculaires sont en forme de parapluie aérodynamiques et elles sont pleines donc plus rigides et plus lourdes, avec une masse de 1095 grammes par roue. Elles sont ainsi adaptées aux courses longues et planes et peuvent être intéressantes pour des athlètes de masse moyenne à lourde capables d'entraîner la roue selon la force d'impact développée lors de la poussée. En effet s'ils entraînent la roue au-delà de 22 à

25Km/h, la roue s'entraînera d'elle-même, à noter toutefois les vibrations dans ce type de roue peuvent être importantes selon le revêtement et désagréables pour l'athlète. L'amélioration technologique des roues paraculaires a produit les roues lenticulaires qui ont des parois pleines et parallèles, et qui sont plus légères et plus efficaces.

Les roues à bâtons sont pour leur part utilisées pour le sprint et par les athlètes légers comme les T52 et les athlètes femmes. Ces roues sont plus légères d'un demi-kilo que les roues paraculaires avec un poids autour des 850 grammes, ce qui permet une bonne relance et une meilleure accélération.

Les matériaux composants le fauteuil d'athlétisme sont aussi de plus en plus légers. Les jambes de l'athlète sont repliées vers l'arrière afin de gagner en aérodynamisme et, dans la même optique, des rebords sont ajoutés près de ses jambes pour éviter les turbulences d'air. Pour optimiser ses performances un athlète doit prendre en compte différents facteurs extérieurs à sa propre condition physique. Ainsi en plus des caractéristiques physiques et des réglages de son fauteuil de compétition, l'athlète doit également prêter attention aux conditions météorologiques et favoriser son aérodynamisme. Ainsi l'athlète doit se positionner de manière à diminuer sa prise au vent tout en gardant de la puissance pour boxer ses roues. Les athlètes qui pratiquent ce sport subissent de grosses contraintes physiques car la position du sportif favorise son aérodynamisme au détriment de son confort physique. Le poids du torse de l'athlète vient à intervalles très courts comprimer ses jambes et empêcher la circulation sanguine de s'effectuer correctement, ce qui est très douloureux et tout particulièrement lors des deux premières années de pratique (Fig. 4.10). De plus les risques de problèmes de circulation sanguine et les risques de frottement peuvent entraîner des problèmes particulièrement importants comme les phlébites ou les escarres chez les personnes à mobilité réduite.

4.5 Positionnement et amélioration

Un athlète en situation de handicap moteur doit se placer convenablement dans son fauteuil de sport, d'un côté afin de limiter les risques pour sa santé (escarres, douleurs, dysréflexie autonome), de l'autre pour améliorer ses performances sportives. Une bonne position contribue en effet au bon fonctionnement des capacités motrices, mais également à ceux des systèmes respiratoire et cardio-vasculaire, essentiels à la performance. Dans le cadre de l'athlétisme fauteuil, la position du sportif est une alchimie entre sa morphologie, sa déficience, et la poussée la plus performante qu'il puisse produire. L'athlète essaie d'optimiser son recrutement musculaire pour améliorer ses performances sans compromettre sa stabilité, sa mobilité, et sa sécurité. Pour cela, le sportif s'adapte en fonction de son expérience de la pratique, de sa technique de poussée, du type de gants qu'il utilise, de ses capacités énergétiques, et de la longueur de la course choisie (sprint, demi-fond ou fond).



FIGURE 4.10 – Championnats du Monde d’Athlétisme IPC à Lyon, 2013.

La position peu naturelle peut provoquer des problèmes de circulation sanguine et de frottements. Observez Julien Casoli en tête.

Il n’y aurait, à priori, pas de techniques de poussée culturellement ancrées, mais plutôt des styles personnalisés selon les individus. Rappelons que la classification du handicap d’un individu dépend de ces capacités physiques (Fig. 1.15). Lors de la classification sur banc d’essai, c’est un cumul de point qui prend en compte les différentes possibilités motrices restantes.

Le mouvement de l’athlète en fauteuil peut se décomposer en deux périodes : Une période de contact avec la roue, et une période de récupération (Fig. 4.11). Selon sa posture, son handicap, et les différentes périodes de son mouvement, l’athlète fait appel différemment aux groupes musculaires des membres supérieurs lors de la course. Des différences de performance sont observées selon le tonus musculaire et la symétrie motrice des membres supérieurs des athlètes : plus un individu a un contrôle moteur important, un tonus musculaire élevé, et une symétrie corporelle dans ces mouvements, plus sa performance est élevée. La performance d’athlètes paraplégiques est de fait supérieure à celle d’athlètes tétraplégiques. L’augmentation des mouvements des membres supérieurs et du tronc améliorerait les performances [Masson, 2015]. La différence de vitesse entre catégories peut également s’expliquer par la taille des mains courantes qui varie selon les capacités de préhension des athlètes. Un grand diamètre de main courante oblige à frapper la roue à vitesse élevée et exige une grande préhension. À l’inverse, une petite main courante entraîne une faible vitesse de rotation de la roue et donc un grand effort de propulsion. À noter que plus l’athlète va vite, plus le temps contact avec la main courante est court et bas [handisport.org]. De plus, l’adhérence

est essentielle pour maintenir au maximum le contact avec la roue, particulièrement en cas de déficit de préhension. Pour maintenir ce contact, l'athlète utilise des substances collantes comme de la résine, et divers procédés pour maintenir son poing fermé (gants avec velcro, coque).

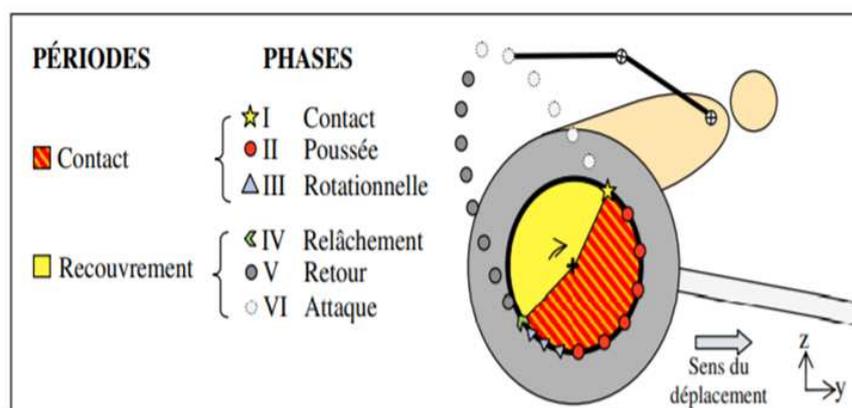


FIGURE 4.11 – L'athlète en fauteuil a une période de contact avec la roue et une période de récupération (ou recouvrement) [Masson, 2015].

Pendant la période de contact, l'athlète utilise les muscles de ses membres supérieurs pour propulser la roue : Le biceps joue un rôle dans la flexion de l'épaule et du coude, et le triceps participe à l'extension du coude. Le deltoïde postérieur servirait de stabilisateur dans l'extension et la rotation externe du bras en fin de mouvement. Le deltoïde antérieur et le grand pectoral permettraient d'accélérer le membre supérieur lors de la recherche de vitesse [Masson, 2015].

Pendant la période de récupération, les triceps jouent un rôle majeur avec les trapèzes et les deltoïdes postérieurs qui permettent l'écartement et l'extension de l'épaule. Le grand pectoral stabiliserait la rotation interne du bras durant cette période, tandis que le Long Extenseur Radial du Carpe (LERC) propulse le fauteuil au début et en fin de période [Masson, 2015].

Le positionnement de l'athlète a évolué avec le fauteuil (Partie 4.1), et les compétiteurs sont, pour la plupart, passés d'une position assise (classique) à une position tibiale (sur les genoux) inclinant le tronc de l'athlète vers l'avant. La position tibiale permettrait de changer la période d'activation des muscles des épaules [Masson, 2015]. Le poignet passe ainsi d'un rôle de propulseur à un rôle de stabilisateur, il permet l'augmentation de la résistance. L'extenseur ulnaire du carpe permettrait en effet de transmettre la force à la main courante à la fin de la poussée, sans « casser » le poignet [Masson, 2015]. L'extension du poignet, via l'extenseur radial du carpe, préparerait la main au contact de la main courante

[Masson, 2015].

La capacité de préhension, via le poignet, joue en effet un rôle majeur dans la posture et la stabilisation de l'athlète, de même que la présence de tonus musculaire au niveau du tronc. Généralement, l'angle des cuisses permet de fixer le tronc s'il est déficient. L'inclinaison de l'athlète dépend de son contrôle musculaire du tronc : plus le sportif est capable de s'incliner, plus il allonge la période de propulsion en conservant un contact prolongé avec la main courante pour gagner en puissance [Masson, 2015]. Ainsi les athlètes de catégorie T54, qui possèdent la pleine puissance de leurs bras et leur tronc, ont une flexion de leur cou et leur tronc plus importante lors des phases de récupération, ce qui est aérodynamique et participe à la production d'énergie. Au contraire, les athlètes des catégories T51 et T52, qui ont un faible tonus musculaire dans le tronc, doivent se tenir droit pour limiter les risques de bascule. Les athlètes tétraplégiques ont un contact avec la main courante plus haut d'un quart de roue par rapport aux paraplégiques (T53-T54) [Masson, 2015]. En sprint, selon la pathologie de l'athlète, les cuisses peuvent être placées plus basses que d'ordinaire. Cela peut être le cas pour les athlètes de catégorie T52 ayant une faible préhension cumulée à un maigre tonus musculaire du tronc et des bras, comme lors de lésion spinale incomplète ou de maladie de Charcot.

Aux Jeux Paralympiques le record du nombre de médaille en athlétisme détenu sur terrain et course par le Suisse Franz Nietlispachle (T54) depuis les Jeux de Sydney en 2000 avec 14 médailles d'or a été égalisé aux Jeux de Pékin en 2008 par les cinq médailles obtenues par la Canadienne Chantal Petclerc (Fig. 4.12). Aux derniers Jeux Paralympiques de Rio en 2016 ce sont 70 records mondiaux qui ont été battus. Les pays souhaitant briller aux Jeux doivent nécessairement investir dans le handisport.

Des études comme les travaux de Geneviève Masson sur l'amélioration des performances des athlètes en fauteuil peuvent amener à une réflexion sur le positionnement de l'athlète [Masson, 2015]. Ces travaux ont montré qu'une diminution de 4% du temps de course sur 100 m est théoriquement possible en augmentant la cadence des sportifs. En effet, afin d'améliorer ses performances, l'étendue de la poussée d'un athlète doit être plus faible que la majorité des athlètes actuels. L'angle de contact avec la main courante doit être élevé, et il doit augmenter avec la vitesse (à 46° de la verticale à haute vitesse) [Masson, 2015]. L'athlète doit placer ses roues le plus près de son corps et prendre en considération l'inclinaison de son tronc et le placement de ses membres supérieurs. En effet, faire varier la configuration du membre supérieur influencerait la vitesse maximale atteinte par l'athlète, et permettrait de récupérer de l'énergie passive (énergie cinétique et potentielle gravitationnelle) du membre supérieur. Il semblerait toutefois que cet avantage soit néfaste à l'efficacité mécanique de la fréquence de poussée naturellement choisie par les athlètes, et également à leur consommation en dioxygène [Masson, 2015].

L'athlète doit également maximiser le contact entre le gant et la main courante en plaçant

convenablement son épaule et en choisissant une main courante adaptée. La main courante doit être adaptée au style du coureur, petite pour un athlète privilégiant la force, grande pour un favorisant la vitesse [Masson, 2015].

Une autre manière d'optimiser les performances des athlètes est d'améliorer leur équipement. En compétition, tout ce qui n'est pas interdit dans le règlement est autorisé. Les athlètes et leurs coaches s'interrogent donc sur les meilleures manières d'optimiser leur fauteuil, du gonflage des pneus à l'amélioration de la main courante en passant par le carrossage des roues. Afin d'améliorer les performances en athlétisme fauteuil, il est souhaitable d'après les athlètes et leurs coaches de se pencher sur différents aspects techniques comme l'aérodynamisme du fauteuil, avec pour objectif de limiter les turbulences. Une autre piste serait d'améliorer les gants thermoformés pour favoriser l'accroche à la main courante et diminuer la dissipation lors de la frappe (à noter que les gagnants des Jeux Paralympiques diffèrent selon la météo). La main courante pourrait également être améliorée dans cette même logique.



FIGURE 4.12 – Chantal Petitclerc victorieuse en 27,52 secondes au 200 m T54 des Jeux de Pékin en 2008.

Nous avons pour notre part été amenés à nous interroger dans le chapitre suivant sur la résistance au roulement sur une piste d'athlétisme en prenant en compte le parallélisme, le carrossage et le gonflage.

Chapitre 5

Optimisation du fauteuil d'athlétisme

5.1 Introduction

Le fauteuil d'athlétisme pèse entre 7,7 et 9 Kg. Sa longueur et sa largeur varient d'un constructeur à l'autre dans la limite du règlement de l'IAAF. La longueur moyenne entre le centre du siège et le centre de la roue avant est de 67 cm, et la largeur de l'assise mesure entre 30,5 cm et 34 cm. Le fauteuil d'athlétisme comporte trois roues à chambre à air. La roue avant est à rayons, elle mesure 20 cm de rayon et est tenue par une fourche au bout de la poutre (ou potence). La fourche est inclinée d'environ 50° par rapport à l'horizontal. Sur la poutre se trouve également un frein et un guidon avec système de butée réglé préalablement pour les virages. Les deux roues arrière mesurent 70 cm de diamètre et comportent une main courante chacune sur laquelle l'athlète prend appui pour se propulser vers l'avant. Entre les roues arrière se trouve un siège et éventuellement un repose-pied.

Les roues arrière sont carrossées « négativement » : vue de face le sommet de la roue est incliné vers le véhicule et forme un angle avec la verticale. L'angle de carrossage des roues arrière est situé entre 10° et 15° avec une calibration standard à 12° . Ce carrossage favorise la biomécanique de la prise de la main courante par l'athlète et aide à la stabilité du fauteuil. En effet, le carrossage produit un effort de poussée transversale vers l'intérieur du fauteuil, donc opposé à la force centrifuge en virage, ce qui diminue les risques de basculement de l'athlète.

Les roues arrière du fauteuil d'athlétisme peuvent être de forme (paraculaire, lenticulaire) et de contenu (à bâton, à rayon ou pleines) variables selon la course effectuée et les capacités de l'athlète. Rappelons qu'une roue de fauteuil d'athlétisme est similaire à une roue de vélo de course : elle supporte la masse de l'athlète et transmet au sol l'ensemble des efforts qu'il produit. La roue est composée d'un pneumatique, d'une chambre à air, et d'une jante reliés à un moyeu, partie centrale qui la relie à la structure fauteuil.

Le pneumatique est composé d'un mélange de caoutchouc naturel élastique et de caoutchouc synthétique résistant à l'oxydation et de noir de carbone qui améliore la résistance

de la gomme. Le pneumatique est visco-élastique : il se déforme de manière non-élastique lors de son contact avec le sol, ce qui entraîne des pertes par déformation qui s'ajoutent aux pertes par frottement. La dissipation d'une roue en mouvement dépend, entre autre, de l'aire du contact avec le sol (à même puissance injectée) [Courant et al., 2014]. En effet, la dissipation visco-élastique dépend des longueurs d'ondes excitées lors du chargement et du glissement de la roue sur le sol rugueux. Le glissement entraîne des pertes frictionnelles importantes. La rugosité du contact avec le sol joue un rôle très important sur la dissipation et sur l'adhérence. L'adhérence est moins bonne pour un contact lisse [Bugnicourt, 2017]. Par ailleurs, sur une surface dure, plus un pneumatique est gonflé, moins il se déforme, ce qui réduit l'aire de contact : la dissipation diminue donc avec le gonflage. Sur une surface plus souple, comme une piste d'athlétisme (Fig. 5.1), le pneumatique et le sol se déforment tous les deux : Une partie de l'énergie est aussi dissipée dans le sol.



FIGURE 5.1 – La mauricienne Noémie Alphonse dans son fauteuil de course sur la piste d'athlétisme de type tartan ®.

Le tartan ® est composé de caoutchouc et de résine synthétique de polyuréthane. Sa déformation verticale est comprise entre 0,6 et 2,5 mm.

L'athlète agit sur la main courante pour propulser son fauteuil d'athlétisme. L'adhérence de la roue sur le sol, c'est à dire la résistance au glissement, lui permet donc de se propulser, de freiner, et de maîtriser sa trajectoire via l'absence de dérapage. Cependant, le contact de la roue avec le sol contribue à la dissipation. Là où la présence d'une chambre à air sur le pneumatique permet une augmentation de l'adhérence et du confort en absorbant les vibrations, elle contribue à la dissipation.

Pour maximiser ses performances, un athlète a besoin d'adhérence et de stabilité tout en minimisant la dissipation. Il souhaite avoir un fauteuil d'athlétisme dissipant peu pour améliorer ses performances et terminer en tête. L'innovation technologique a déjà permis l'amélioration progressive du fauteuil d'athlétisme : présence de trois roues, augmentation de l'efficacité de la transmission de l'effort par modification de la position de l'athlète, réduction de la résistance au roulement par l'amélioration des matériaux utilisés. L'amélioration des résultats sportifs a été conséquente. Aux Jeux Paralympiques, l'écart entre les performances des participants se mesure en dixième de secondes.

5.2 Travail proposé

En ce qui concerne l'athlétisme en fauteuil, les coureurs et leurs entraîneurs ont donc interpellés directement la recherche par le biais de la FFH en 2018. Ils ont soulevé plusieurs questions notamment [Bundon et al., 2017] :

- i) L'influence du gonflage des pneumatiques et du carrossage lors d'une course sur sol souple
- ii) L'aérodynamisme du fauteuil
- iii) Les gants de propulsion

Nous voyons donc que pour améliorer ses performances, un athlète souhaite en particulier diminuer la dissipation. Elle provient, au moins pour partie, de la résistance de la roue au roulement.

Nous nous sommes donc penchés, pour notre part, sur le premier point soulevé qui concerne le gonflage et le carrossage. Les questions auxquelles nous avons essayé de répondre sont : Quel est le gonflage optimal qui minimise la dissipation pour une course sur sol souple ? Quelle est l'influence du carrossage sur la dissipation ?

Après avoir observé un fauteuil d'athlétisme, nous avons constaté que si nous modifions l'inclinaison de la potence, par exemple en faisant varier le gonflage de la roue avant, nous modifions la convergence des roues arrière, c'est à dire le parallélisme. Nous avons constaté que tourner la roue avant pour prendre un virage en course change nécessairement l'inclinaison de la potence et altère donc également le parallélisme. Un défaut de parallélisme induit un dérapage des roues arrière qui contribue à la dissipation. Nous avons donc ajouté à notre projet une série de questions : Dans quelle mesure la force de frottement est impliquée dans le freinage d'une roue en cas de défaut de parallélisme ? Quelle est la modification du parallélisme en virage ? Et enfin, quelle est la géométrie idéale du fauteuil d'athlétisme qui minimise cette source de résistance au roulement ?

Pour répondre au moins partiellement à ces questions, nous nous intéressons dans ce chapitre à la géométrie du fauteuil d'athlétisme au travers d'une étude théorique, puis à la résistance au roulement, par une étude expérimentale de la force nécessaire pour faire avancer une roue.

5.3 Géométrie du fauteuil

Cette première partie concerne la géométrie du fauteuil d'athlétisme. Nous étudions, d'un point de vue théorique, le parallélisme des roues arrière en fonction des caractéristiques géométriques du fauteuil. Nous déterminons l'angle de convergence des roues arrière lorsque l'athlète tourne le guidon.



FIGURE 5.2 – Le coach et ancien pratiquant Serge Robert fait découvrir l'athlétisme à un jeune paralysé moteur.

Nous plaçons des points sur le fauteuil d'athlétisme. Les centres des deux roues arrière sont A_1 et A_2 , avec O le centre de A_1A_2 et OA_2 de longueur L . Les droites A_1B et A_2B sont perpendiculaires aux roues arrière. Le contact des roues arrière au sol est respectivement C_1 et C_2 . Le centre de la roue avant est E et son point de contact avec le sol F . La droite OD est la potence, et DE est la fourche. L'angle de carrossage des roues arrière est λ (non figuré). L'angle β est l'angle formé par la potence et la fourche.

5.3.1 Parallélisme du fauteuil d'athlétisme

La géométrie d'un fauteuil d'athlétisme est complexe. Nous avons constaté que le parallélisme des roues arrière dépend de l'inclinaison de la potence. Or, à cause de l'inclinaison de la fourche avant, l'athlète modifie le parallélisme des roues arrière en virage. Ce phénomène devra donc être explicité avant d'être quantifié.

Nous étudions dans un premier temps le lien entre l'inclinaison de la potence et l'angle que font les trajectoires des roues arrière. Puis nous nous penchons sur l'angle Ψ que la potence fait avec l'horizontale en fonction de la rotation du guidon. Enfin, nous étudions la rotation du guidon nécessaire pour effectuer un virage en course d'athlétisme.

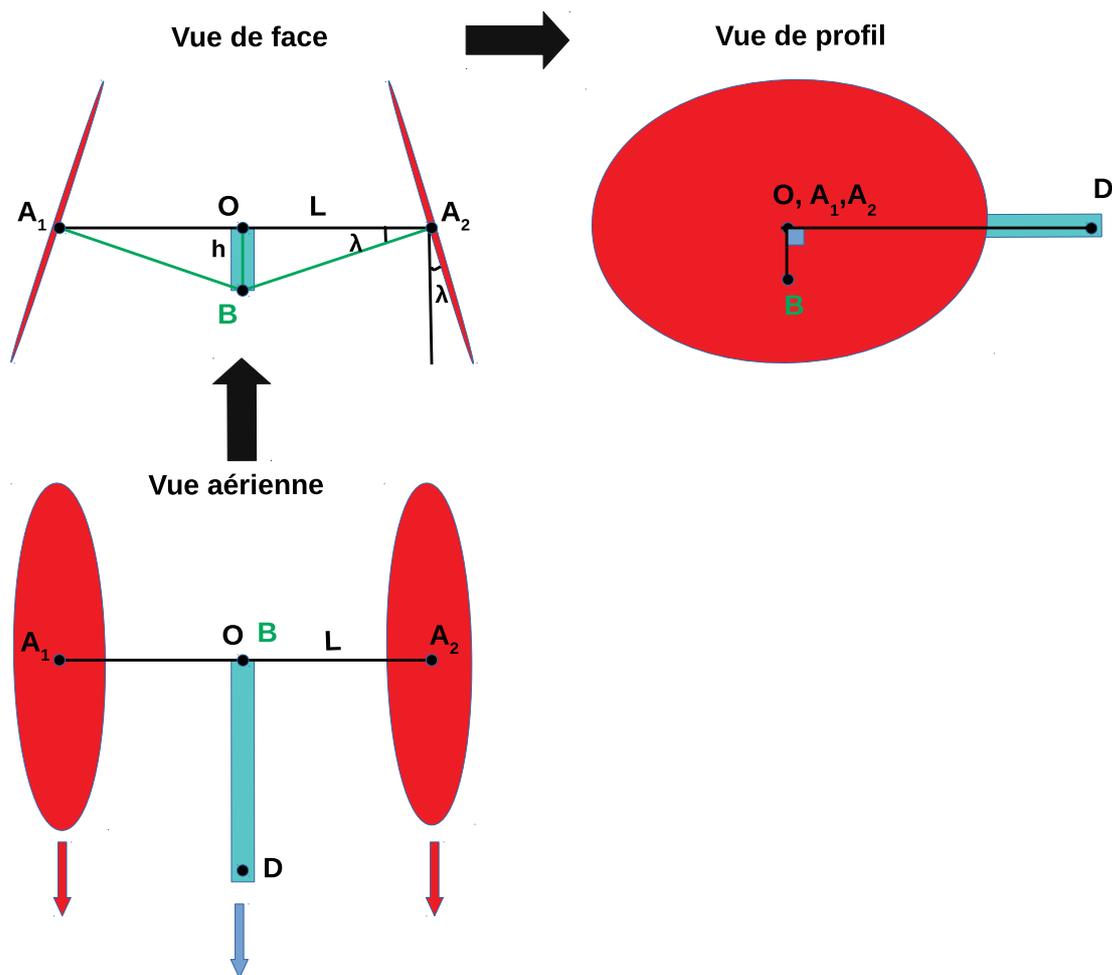


FIGURE 5.3 – Schéma d'un fauteuil d'athlétisme.

En haut à gauche l'assise du fauteuil d'athlétisme est vue de face dans le sens de la poutre. À droite le même fauteuil est vu de profil. En bas il est vu du dessus.

5.3.1.1 Inclinaison de la potence et parallélisme

Notons tout d'abord que le fauteuil est réglé de manière à assurer le parallélisme des roues arrière, l'athlète étant en place sur le fauteuil. Nous nommons des points de référence sur notre fauteuil d'athlétisme (Fig. 5.2) : Le centre des deux roues arrière est respectivement A_1 et A_2 . Le point O est le centre de la droite A_1A_2 . La longueur OA_2 est appelée L . Les droites A_1B et A_2B sont perpendiculaires aux roues arrière. Leur point de rencontre en B est le centre de l'assise du fauteuil d'athlétisme, situé en-dessous, à la verticale de O . La potence du fauteuil est définie par la droite AD . L'angle de carrossage des roues arrière est λ . Le centre de la roue avant est E , et son rayon est EF , avec F le point de contact de la roue avec le sol. L'angle β est l'angle formé par la potence et la fourche.

Nous voulons connaître l'angle que font entre elles les trajectoires de roues arrière en fonction de l'inclinaison de la potence du fauteuil d'athlétisme. Nous supposons que le pa-

rallélisme est fait lorsque la potence est horizontale. Sous cette hypothèse, nous envisageons qu'une variation de l'angle que fait la potence avec l'horizontale fait converger la trajectoire des roues arrière si elles sont carrossées. Les trajectoires des roues arrière ne sont alors plus parallèles à la poutre et, une fois mises en mouvement, elles dérapent sur le sol.

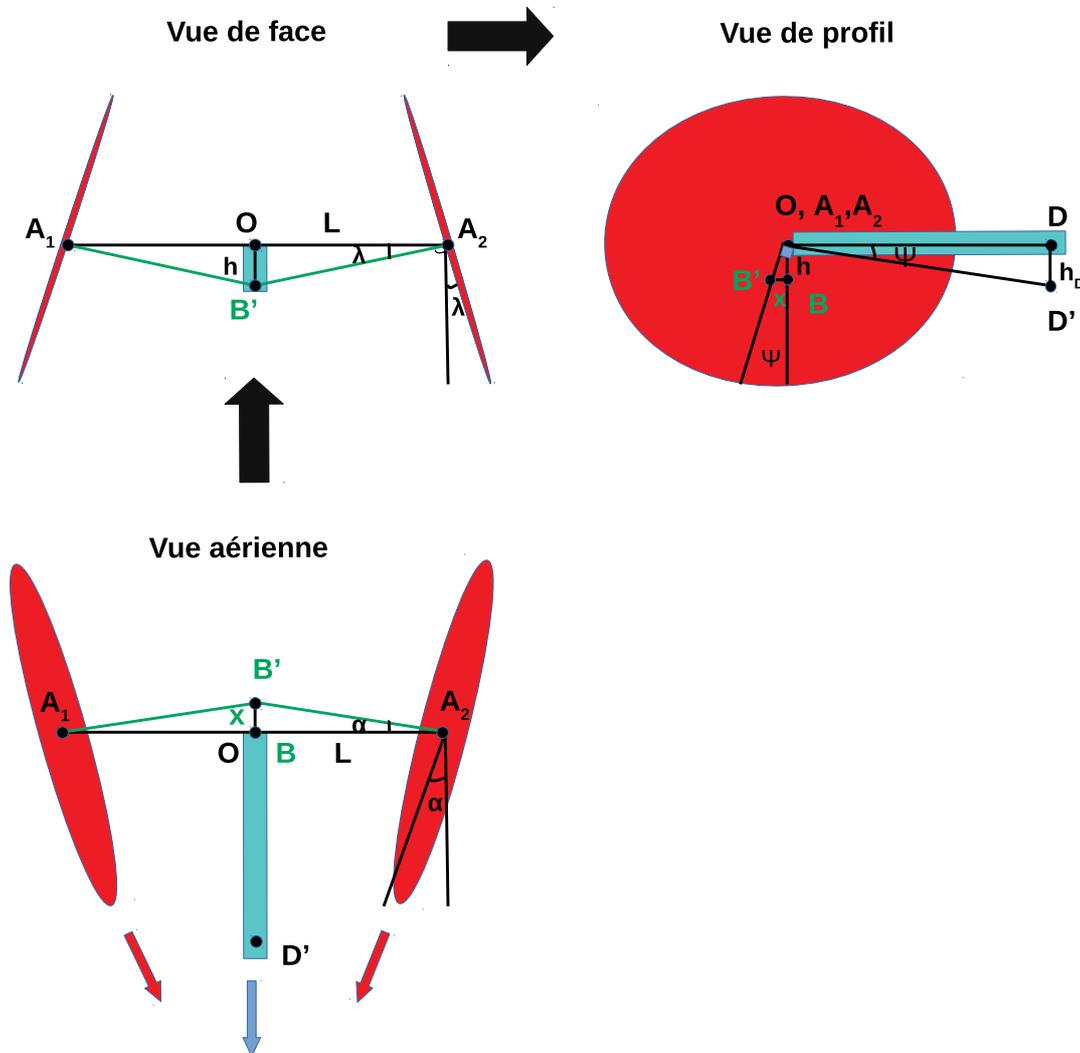


FIGURE 5.4 – Schéma de l'inclinaison de la potence du fauteuil d'athlétisme.

L'inclinaison de la potence d'un angle Ψ par rapport à l'horizontale fait converger les roues arrière d'un angle α par rapport à la trajectoire.

Dans le schéma de la Fig. 5.3, les longueurs h et L représentent respectivement les longueurs OB et OA_2 . L'angle de carrossage λ est $\widehat{OA_2B}$. Nous avons donc :

$$\tan \lambda = \frac{h}{L} \quad (5.1)$$

et donc la hauteur $h = L \tan \lambda$ du point B sous le point O .

L'inclinaison de la potence du fauteuil d'athlétisme déplace le point D en D' , formant l'angle $\Psi \equiv \widehat{DOD'}$. Le point B est déplacé en B' , plus en arrière de sa position initiale

si le point D' est plus bas que D . Nous appelons x la longueur BB' . Le cadre du fauteuil d'athlétisme étant considéré parfaitement rigide, lors d'une rotation de ce dernier comme proposé sur la figure 5.4, $\widehat{BOB'} = \widehat{DOD'}$ et en conséquence

$$x = h \sin \Psi \quad (5.2)$$

La trajectoire d'une roue arrière forme un angle α avec la potence. Notez que, le plan de la roue étant perpendiculaire à A_2B' , l'angle $\alpha = \widehat{B'A_2B}$ en projection dans le plan horizontal. Nous avons donc

$$\tan \alpha = \frac{x}{L} \quad (5.3)$$

En remplaçant x par l'équation (5.2) et h par l'équation (5.1), nous obtenons l'angle α que fait la trajectoire d'une roue arrière avec l'axe du fauteuil sous la forme :

$$\tan \alpha = \tan \lambda \sin \Psi \quad (5.4)$$

Nous retrouvons bien que le parallélisme est conservé ($\alpha = 0$) en l'absence de carrossage quelle que soit l'inclinaison de la potence ($\lambda = 0$ et Ψ quelconque) ou en l'absence d'inclinaison de la potence ($\Psi = 0$). L'inclinaison des roues arrière ne pouvant pas être nulle de par la construction du fauteuil (fig.5.4), le parallélisme de la trajectoire est conservé uniquement en l'absence d'inclinaison de la potence (de variation de Ψ).

5.3.1.2 Potence et guidon

Nous connaissons le défaut de parallélisme, caractérisé par l'angle α , en fonction de l'inclinaison Ψ de la potence. Nous voulons désormais savoir de combien la potence s'incline lorsque nous tournons le guidon d'un angle η autour de la droite DE (Fig. 5.5).

Soit $(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$ un référentiel attaché à la piste avec \vec{x} dans la direction de la piste et \vec{z} la verticale orientée vers le haut. Soit $(\vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$ le référentiel attaché à la fourche avec \vec{i} dans l'axe de la fourche et $\vec{j} = \vec{y}$. Soit $(\vec{i}', \vec{j}', \vec{k}')$ le référentiel attaché à la roue avec $\vec{i}' = \vec{i}$ et $\vec{j}' = \vec{j}$. La roue avant a pour centre le point E et est en contact avec le sol au point F , le point le plus bas de la roue. La fourche est, par construction, inclinée de l'angle β .

Supposons, pour l'instant, que $\Psi = 0$. En passant du repère $(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$ au repère $(\vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$, nous obtenons les vecteurs suivants :

$$\vec{i} = \cos \beta \vec{x} - \sin \beta \vec{z} \quad (5.5)$$

$$\vec{j} = \vec{y} \quad (5.6)$$

$$\vec{k} = \sin \beta \vec{x} + \cos \beta \vec{z} \quad (5.7)$$

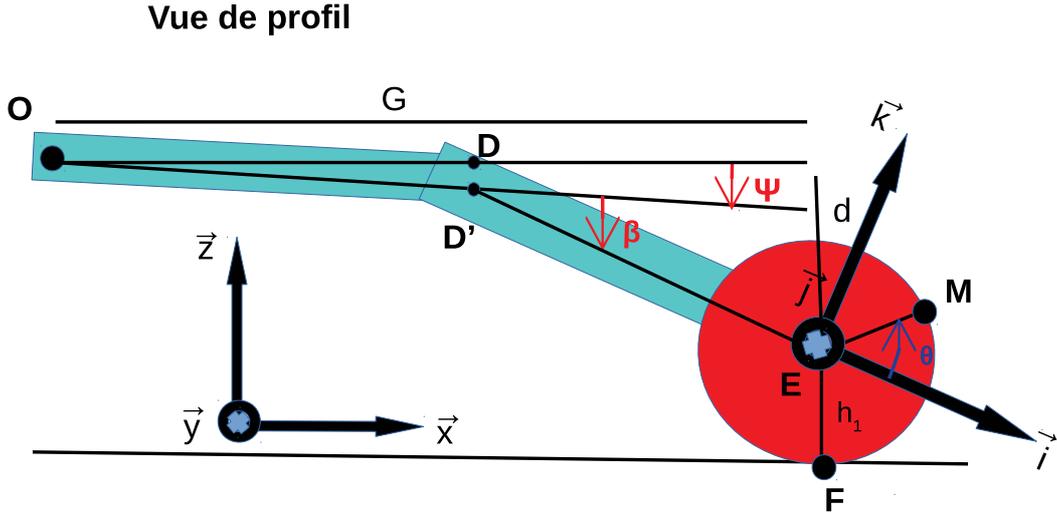


FIGURE 5.5 – Schéma du pivotement de la roue.

En tournant le guidon d'un angle η , nous provoquons une inclinaison supplémentaire d'un angle Ψ de la potence. Afin de déterminer Ψ , nous munissons la piste d'un repère $(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$ avec \vec{x} dans l'axe de la piste. Nous attachons à la fourche un repère $(\vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$ avec \vec{i} dans son axe et $\vec{j} = \vec{y}$. Nous munissons la roue d'un repère qui tourne avec elle $(\vec{i}', \vec{j}', \vec{k}')$ tel que $\vec{i}' = \vec{i}$. Nous nommons $G = \vec{x} \cdot \vec{OE}$, la distance horizontale OE .

Considérant la rotation d'un angle η autour de \vec{i} , nous obtenons \vec{i}' , \vec{j}' , et \vec{k}' :

$$\vec{i}' = \vec{i} \quad (5.8)$$

$$\vec{j}' = \cos \eta \vec{j} + \sin \eta \vec{k} \quad (5.9)$$

$$\vec{k}' = -\sin \eta \vec{j} + \cos \eta \vec{k} \quad (5.10)$$

Soit M un point quelconque de la circonférence de la roue avant (EM est donc un rayon de la roue avant). Nous repérons le point M par l'angle θ formé par \overrightarrow{EM} et \vec{i} . Afin de déterminer l'inclinaison Ψ de la potence, nous allons d'abord calculer l'altitude du point E au dessus du sol. Nous exprimons \overrightarrow{EM} dans le repère de la piste $(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$. Dans le repère $(\vec{i}', \vec{j}', \vec{k}')$, nous avons :

$$\overrightarrow{EM} = R [\cos \theta \vec{i}' - \sin \theta \vec{k}'] \quad (5.11)$$

Nous remplaçons \vec{i}' et \vec{k}' par leur expression dans le repère $(\vec{i}, \vec{j}, \vec{k})$:

$$\overrightarrow{EM} = R [\cos \theta \vec{i} - \sin \theta (-\sin \eta \vec{j} + \cos \eta \vec{k})] \quad (5.12)$$

puis écrivons \overrightarrow{EM} dans le repère $(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$:

$$\overrightarrow{EM} = R [\cos \theta (\cos \beta \vec{x} - \sin \beta \vec{z}) - \sin \theta [-\sin \eta \vec{y} + \cos \eta (\sin \beta \vec{x} + \cos \beta \vec{z})]] \quad (5.13)$$

$$\overrightarrow{EM} = R [(\cos \theta \cos \beta - \sin \theta \cos \eta \sin \beta) \vec{x} + \sin \theta \sin \eta \vec{y} - (\cos \theta \sin \beta + \sin \theta \cos \eta \cos \beta) \vec{z}] \quad (5.14)$$

Nous cherchons la hauteur du point E par rapport au sol. Pour ce faire, nous écrivons la hauteur du point E au dessus du point M :

$$h_M = \vec{z} \cdot \overrightarrow{ME} \quad (5.15)$$

Quand h_M est minimal, le point M est confondu avec F , le point de contact avec le sol. Nous cherchons donc les extrema h_M en dérivant h_M par rapport à θ :

$$\frac{1}{R} \frac{dh_M}{d\theta} = -\frac{d}{d\theta} [\cos \theta \sin \beta + \sin \theta \cos \eta \cos \beta] \quad (5.16)$$

$$= \sin \theta \sin \beta - \cos \theta \cos \eta \cos \beta \quad (5.17)$$

La dérivée de $\frac{dh_M}{d\theta}$ est nulle pour θ tel que :

$$\tan \theta = \cos \eta \cot \beta \quad (5.18)$$

Nous vérifions ici qu'en l'absence de rotation du guidon ($\eta = 0$), $\beta + \theta = \frac{\pi}{2}$ pour le point F .

Nous cherchons la hauteur h_1 du point E au dessus du sol, soit :

$$h_1 = -\overrightarrow{EF} \cdot \vec{z}. \quad (5.19)$$

En remplaçant dans h_M l'angle θ par sa valeur obtenue précédemment (equation 5.18) nous obtenons

$$h_1 = R(\cos \theta \sin \beta + \sin \theta \cos \eta \cos \beta) \quad (5.20)$$

$$= R \cos \theta (\sin \beta + \cos \eta \cot \beta \cos \beta \cos \eta) \quad (5.21)$$

$$= R \frac{\cos \theta}{\sin \beta} \left(\sin^2 \beta + \cos^2 \eta \cos^2 \beta \right) \quad (5.22)$$

$$= R \left(\frac{\sin^2 \beta + \cos^2 \beta \cos^2 \eta}{\sqrt{\sin^2 \beta + \cos^2 \eta \cos^2 \beta}} \right) \quad (5.23)$$

et, au final :

$$h_1 = R \sqrt{\sin^2 \beta + \cos^2 \beta \cos^2 \eta} \quad (5.24)$$

Dans les cas limites, nous retrouvons bien que $h_1 = R$, si le guidon vertical ($\beta = \frac{\pi}{2}$) quelle que soit la rotation du guidon (η quelconque). Nous retrouvons aussi que $h_1 = R \cos \eta$ si le guidon est horizontal ($\beta = 0$). Cela nous indique que la hauteur du point E ne dépend pas de η seulement dans le cas où le guidon est vertical.

Nous connaissons la hauteur h_1 du point E en fonction de l'angle η dont est tourné le guidon et de l'inclinaison de la fourche β . Nous avons cependant supposé que la potence ne s'inclinait pas ($\Psi = 0$). Or lorsque nous tournons le guidon, la potence s'incline également d'un angle Ψ par rapport à sa position initiale. Tout se passe comme si β prenait la valeur

$\beta + \Psi$ (L'effet net est une simple inclinaison supplémentaire de la fourche). Nous aurons donc simplement :

$$h_1 = R\sqrt{\sin^2(\beta + \Psi) + \cos^2(\beta + \Psi) \cos^2 \eta} \quad (5.25)$$

Notez que nous retrouvons $h_1 = R$ quelque soit β en ligne droite ($\eta = 0$).

Nous souhaitons maintenant déterminer l'angle Ψ résultant de la rotation du guidon. Nous allons supposer que l'inclinaison reste limitée et ne considérer que les développements d'ordre 1 en Ψ . Nous appelons G la distance horizontale OE parallèle à la potence, et d la distance verticale DE (Fig. 5.5). Considérant l'altitude du point D , après rotation du guidon, nous avons :

$$d + R = h_1 + d \cos \Psi + G \sin \Psi \quad (5.26)$$

ce qui donne à l'ordre le plus bas en Ψ :

$$G\Psi = R - h_1 \quad (5.27)$$

Considérant l'expression de h_1 (équation 5.25) à l'ordre 1 en Ψ , nous obtenons :

$$\frac{R - h_1}{R} = \sqrt{\sin^2 \beta + \cos^2 \beta \cos^2 \eta} + \frac{\cos \beta \sin \beta \sin^2 \eta}{\sqrt{\sin^2 \beta + \cos^2 \beta \cos^2 \eta}} \Psi \quad (5.28)$$

Nous avons donc finalement :

$$\Psi = \frac{1 - \sqrt{\sin^2 \beta + \cos^2 \beta \cos^2 \eta}}{\frac{G}{R} + \frac{\cos \beta \sin \beta \sin^2 \eta}{\sqrt{\sin^2 \beta + \cos^2 \beta \cos^2 \eta}}} \quad (5.29)$$

La présence des termes G et R montre bien que le résultat dépend de la géométrie du fauteuil. À angles donnés, Ψ diminue si G augmente et/ou si R diminue. En ligne droite, donc si η est nul, le numérateur est nul, donc Ψ est nul et la potence ne s'incline pas. Si le guidon est vertical, avec $\beta = \frac{\pi}{2}$, Ψ est bien nul pour tout η : la potence ne s'incline pas. Une autre limite correspond à un guidon horizontal ($\beta = 0$) et une rotation d'un quart de tour du guidon ($\eta = \frac{\pi}{2}$), pour laquelle nous obtenons $\Psi = \frac{R}{G+R}$, un résultat facile à vérifier géométriquement.

5.3.1.3 Virage

Le dernier point à considérer est de combien nous devons tourner le guidon du fauteuil d'athlétisme pour prendre un virage de rayon de courbure donné.

En virage (Fig. 5.6), les trajectoires des points de contact C_1 et C_2 des roues arrière du fauteuil ainsi que la trajectoire du point de contact, F , de la roue avant sont perpendiculaires à la ligne qui relie chacun de ces points au centre de courbure P . Le rayon de courbure de la trajectoire, Rc est alors égal à la distance PF . Pour déterminer l'angle dont il faut tourner

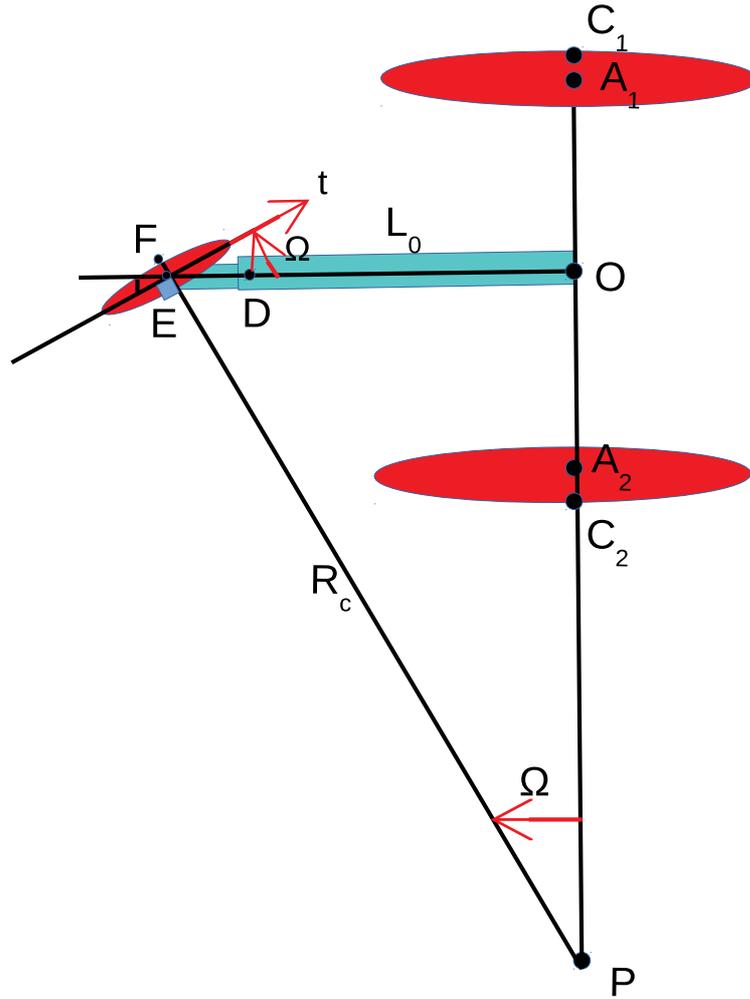


FIGURE 5.6 – Fauteuil d’athlétisme en virage.

le guidon pour prendre un tel virage, nous devons déterminer la tangente \vec{t} à la trajectoire de la roue avant.

Nous considérons à nouveau un point courant M sur la périphérie de la roue avant. Lors d’une variation de l’angle θ , la tangente \vec{t} au point M est définie par :

$$\vec{t} = \frac{1}{EM} \frac{d\vec{EM}}{d\theta} \tag{5.30}$$

De l’équation (5.14) nous avons :

$$\frac{1}{R} \frac{d\vec{EM}}{d\theta} = (-\sin \theta \cos \beta - \cos \theta \cos \eta \sin \beta) \vec{x} + (\cos \theta \sin \eta) \vec{y} - (-\sin \theta \sin \beta + \cos \theta \cos \eta \cos \beta) \vec{z} \tag{5.31}$$

et donc la norme EM de \vec{EM} :

$$\frac{EM^2}{R^2} = (\sin \theta \cos \beta + \cos \theta \cos \eta \sin \beta)^2 + \cos^2 \theta \sin^2 \eta + (-\sin \theta \sin \beta + \cos \theta \cos \eta \cos \beta)^2 \tag{5.32}$$

Nous recherchons l'angle Ω que la tangente \vec{t} fait avec la direction de la piste \vec{x} . Cet angle est tel que $\cos \Omega = \vec{t} \cdot \vec{x}$ soit :

$$\cos \Omega = -R \frac{\sin \theta \cos \beta + \cos \theta \cos \eta \sin \beta}{EM} \quad (5.33)$$

En prenant en compte la valeur de θ au point F (équation 5.18) nous obtenons :

$$\cos \Omega = -\frac{\cos \eta}{\sqrt{\cos^2 \eta + \sin^2 \beta \sin^2 \eta}} \quad (5.34)$$

Quand le guidon est droit, donc quand η est nul, $\cos \Omega = -1$ donc $\Omega = \pi$: La roue reste bien parallèle à la trajectoire en \vec{x} . Notez le signe (-) qui indique bien que le point qui appartient à la roue part bien vers l'arrière. À nouveau, si le guidon est vertical ($\beta = \frac{\pi}{2}$) $\cos \Omega = -\cos \eta$, la tangente à la trajectoire prend simplement l'orientation du guidon. Si le guidon est horizontal ($\beta = 0$), $\cos \Omega = -1$ pour tout η : la roue va tout droit même en tournant le guidon.

Il nous reste à relier Ω au rayon de courbure R_c de la piste (Fig. 5.6). En remarquant que, en l'absence de dérapage, les trajectoires de C_1 et C_2 sont orthogonales à la droite (PO) et que la tangente à la trajectoire de F doit être orthogonale à la droite (PF), nous obtenons une relation géométrique entre Ω , R_c et la longueur du fauteuil G :

$$G = R_c \sin \Omega \quad (5.35)$$

À partir de l'équation (5.34) nous obtenons :

$$G = R_c \frac{\sin \beta \sin \eta}{\sqrt{\cos^2 \eta + \sin^2 \beta \sin^2 \eta}} \quad (5.36)$$

Nous connaissons désormais l'angle de rotation du guidon, η , à imposer pour prendre un virage de rayon de courbure R_c qui satisfait donc la relation :

$$\sin^2 \eta = \frac{\left(\frac{G}{R_c}\right)^2}{\sin^2 \beta + \left(\frac{G}{R_c}\right)^2 \cos^2 \beta}. \quad (5.37)$$

5.3.1.4 Mise en commun des résultats théoriques

En virage, la rotation du guidon d'un angle η provoque une inclinaison de la potence qui s'incline d'un angle Ψ (équation 5.29), ce qui fait converger les roues arrière d'un angle α (équation 5.4). L'angle η est imposé par le rayon de courbure du virage (équation 5.37).

En introduisant la courbure réduite de la piste, courbure ramenée à la taille du fauteuil, $K = G/R_c$ et en considérant de plus le rapport de la taille du fauteuil G et du rayon de la roue avant R , $x = G/R$, nous pouvons exprimer l'angle α en fonction des angles β et λ et des dimensions réduites K et x en remplaçant Ψ par son expression (équation 5.29) dans l'expression de α (équation 5.4), puis en exprimant η en fonction de K et β . Nous obtenons :

$$\tan \alpha = \tan \lambda \cdot \sin \left(\frac{1 - \frac{\sin \beta}{\sqrt{\sin^2 \beta + K^2 \cos^2 \beta}}}{x + \frac{K^2 \cos \beta}{\sqrt{\sin^2 \beta + K^2 \cos^2 \beta}}} \right) \quad (5.38)$$

qui représente le résultat final de nos calculs. Nous connaissons donc ainsi le défaut de parallélisme introduit en virage en fonction du rayon de courbure du virage, R_c , de la longueur G du fauteuil, de la taille de la roue avant R , de l'angle de carrossage λ et de l'inclinaison de la fourche β .

Afin de conclure, nous proposons une application numérique pour des valeurs typiques des paramètres en course. Le rayon R de la roue avant est de 20 cm et la longueur du fauteuil G est de 67 cm, donc $x=3,35$. La fourche est inclinée d'un angle $\beta \simeq \frac{\pi}{4}$. Le rayon de courbure du virage R_c correspond à la moitié de la largeur de la piste, soit 36,5 m, ce qui donne $K \simeq 0,02$. Pour ces valeurs nous obtenons un angle α de l'ordre de 10^{-4} degrés.

Nous savons désormais que le parallélisme des roues arrière du fauteuil d'athlétisme n'est que très peu impacté en virage. Il en va de même d'une inclinaison de la potence liée à un défaut de gonflage de la roue avant. Faisons une estimation pour notre roue pas ou mal gonflée pour ce même fauteuil : Soit H_S la distance de notre rayon de roue avant avec le pneumatique à plat, qui est de 19 cm. Nous avons alors, pour $x = 3,53$:

$$\tan \alpha = \tan \lambda \cdot \sin \left(\frac{0,000169}{3,53 + \frac{0,0184^2 \cos \frac{\pi}{4}}{\sqrt{\sin^2 \frac{\pi}{4} + 0,0184^2 \cos^2 \frac{\pi}{4}}}} \right) \quad (5.39)$$

L'angle Ψ est de $4,79 \cdot 10^{-5}$ rad, soit $0,0027^\circ$.

$$\alpha \approx -5,8 \cdot 10^{-4} \quad (5.40)$$

Nous avons bien un angle d'inclinaison de la potence Ψ qui augmente lorsque la hauteur de la roue diminue. La variation du gonflage du pneumatique influe de manière négligeable sur le parallélisme des roues arrière du fauteuil d'athlétisme.

Pour limiter la dissipation du fauteuil d'athlétisme, il serait pertinent de s'intéresser à d'autres critères que la géométrie du fauteuil. Par exemple, la dissipation du fauteuil d'athlétisme est plus importante par la déformation provoquée par l'athlète lors du boxage des roues arrière : Un boxage mal effectué provoque des frottements solides contre l'assise et freine le fauteuil. Améliorer la transmission entre l'athlète et le fauteuil est une piste intéressante à étudier.

5.4 Étude expérimentale de la résistance au roulement

Dans cette partie, nous étudions expérimentalement la force qui s'oppose au roulement pour une roue de fauteuil d'athlétisme.

Nous considérons en particulier les effets du carrossage et le gonflage. D'une part, le carrossage est spécifique au fauteuil d'athlétisme (par rapport au vélo). D'autre part, le gonflage peut jouer un rôle spécifique dans le cas des fauteuils qui roulent sur un sol souple. Sur un sol dur, comme l'asphalte, un athlète gonfle ses pneumatiques au maximum afin de diminuer la dissipation. Or, une piste d'athlétisme est recouverte de tartan[®], sol relativement souple. Sous le poids de l'athlète et du fauteuil, un pneumatique gonflé s'enfonce probablement davantage dans un sol souple qu'un pneumatique moins gonflé, ce qui peut augmenter son adhérence au sol mais aussi la résistance au roulement.

Nous voulons savoir comment réduire la résistance au roulement pour une roue de fauteuil d'athlétisme. Pour ce faire, il est nécessaire de reproduire les conditions standards de forces et de vitesse lors d'une course de fauteuil d'athlétisme. Nous devons reproduire l'inclinaison de la roue (carrossage), l'appuyer sur la piste avec une force contrôlée, lui imposer une vitesse de rotation constante, et mesurer la force nécessaire au maintien du mouvement. Cette étude sera menée avec le dispositif décrit dans la partie 5.4.2.2. Avant cela, nous allons décrire dans les parties 5.4.1 une série d'expériences dédiées à la mesure de quelques paramètres utiles tels que la dissipation dans la moyeu seul ou encore le moment d'inertie de la roue.

La dissipation première d'un pneumatique est au niveau du moyeu. Nous allons effectuer une première série d'expérience afin de mesurer cette dissipation.

5.4.1 Première série de mesures

5.4.1.1 Mesure de vitesse

Dans cette première série d'expérience, la roue sera maintenue fixe dans le référentiel du laboratoire. L'essentiel de la mesure reposera sur un suivi de la vitesse de rotation, $\dot{\theta}$, de la roue. Pour mesurer la vitesse de rotation de la roue lors de notre expérience, nous utilisons deux méthodes en fonction de l'expérience considérée. Avec un chronomètre, la vitesse de rotation de la roue est simplement mesurée par les temps de passage d'un repère visuel. Dans ce cas, nous estimons $\dot{\theta}$ pour une moyenne sur 10 tours complets. Cette méthode est valable lorsque la roue tourne à vitesse constante. Avec un tachymètre maison, un couple laser/photodiode permet de détecter les passages des rayons. Le laser et la photodiode sont placés de part et d'autre de la roue. Le signal de la photodiode est envoyé à un oscilloscope. L'erreur de mesure sur la vitesse dans ce cas est de l'ordre de 0,2 m/s avec une résolution temporelle de l'ordre de 1/10 de seconde.

5.4.1.2 Mesure des frottements dans le moyeu

Dans cette première expérience, nous souhaitons estimer la dissipation dans le moyeu. Cette mesure donnera aussi une estimation du moment d'inertie de la roue.

Supposons une roue de moment d'inertie J_0 qui tourne librement autour de son axe. Elle est soumise à un frottement au niveau du moyeu. Soit δ_f le coefficient associé au moment des frottements fluides et δ_s le coefficient associé au moment des frottements solides. En considérant l'évolution temporelle de la position angulaire θ de la roue, nous pouvons écrire :

$$J_0 \ddot{\theta} = -\delta_f \dot{\theta} - \delta_s \quad (5.41)$$

Le premier terme du second membre correspond à la contribution des frottements fluides qui dépend de la vitesse. Le second terme correspond à la contribution constante des frottements solides. En l'absence de frottements solides, la vitesse angulaire décroît exponentiellement dans le temps selon :

$$\dot{\theta} = \dot{\theta}_0 e^{-\frac{\delta_f}{J_0} t} \quad (5.42)$$

En l'absence de frottement fluide, la décroissance temporelle est linéaire :

$$\dot{\theta} = -\frac{\delta_s}{J_0} t \quad (5.43)$$

Cependant, la dynamique de la roue est plus complexe et les deux contributions pourraient être plus importantes en pratique.

Afin de caractériser les frottements au niveau du moyeu, nous maintenons la roue fixe dans le repère du laboratoire, lui imposons une rotation initiale et la laissons tourner librement jusqu'à son arrêt naturel. La mesure consiste à suivre la vitesse angulaire $\dot{\theta}$ au cours du temps avec le tachymètre (Fig. 5.7).

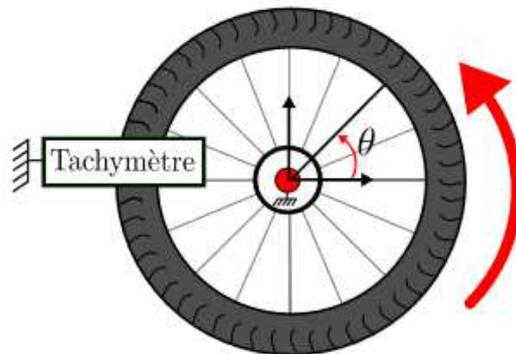


FIGURE 5.7 – Schéma expérimental de la caractérisation des frottements.

Une roue équilibrée tourne librement jusqu'à son arrêt naturel. L'évolution de la vitesse au cours du temps est donnée par le tachymètre maison.

Nous reportons sur la figure 5.8 la vitesse angulaire de la roue en fonction du temps. La vitesse de rotation initiale de la roue est de $9,5 \text{ rad.s}^{-1}$, soit 12 Km.h^{-1} . L'interpolation des données expérimentales avec la solution de l'équation (5.41) nous donne la somme des frottements fluides (en vert) et des frottements solides (en jaune). Nous obtenons ainsi respectivement pour les couples solides et les couples fluides les coefficients suivants :

$$\frac{\delta_s}{J_0} = (1,29 \pm 0,05) 10^{-2} \text{ s}^{-2} \quad (5.44)$$

et

$$\frac{\delta_f}{J_0} = (1,52 \pm 0,06) 10^{-2} \text{ s}^{-1} \quad (5.45)$$

Les frottements fluides dominent à grande vitesse. La transition entre la prédominance des frottements fluides et des frottements solides s'effectue quand $\delta_s = \delta_f \dot{\theta}$, soit pour une vitesse angulaire $\dot{\theta} = 0,85 \text{ rad.s}^{-1}$, soit à une vitesse de l'ordre de 5 Km.h^{-1} . À grande vitesse, le frottement est type visqueux. À l'inverse, à petite vitesse, les frottements sont de type solide.

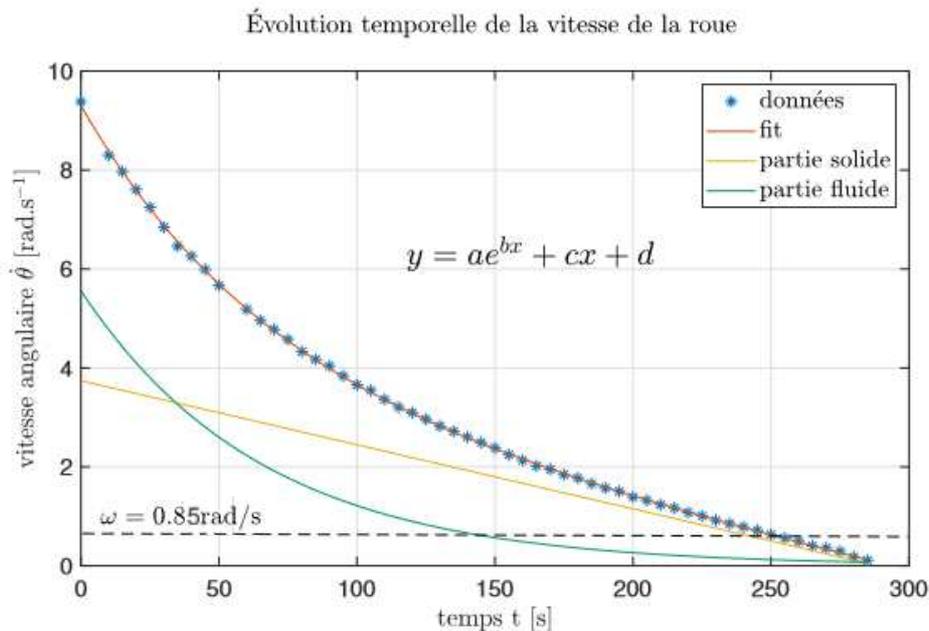


FIGURE 5.8 – Résultats expérimentaux de la caractérisation des frottements dans le moyeu.

Nous rapportons l'évolution de la vitesse angulaire $\dot{\theta}$ au cours du temps. L'expérience montre qu'à grande vitesse les frottements sont de type visqueux et qu'à petite vitesse les frottements sont de type solide.

Remarquons que les moments associés au frottement ne sont pas connus par cette simple mesure. En effet, l'expérience ne nous donne que les valeurs des rapports $\frac{\delta_s}{J_0}$ et $\frac{\delta_f}{J_0}$. Il nous faut donc connaître le moment d'inertie J_0 de la roue pour conclure.

Afin de mesurer le moment d'inertie J_0 , nous effectuons une expérience de pendule en oscillations amorties. Pour cela, nous produisons un pendule en déséquilibrant la roue, en pratique en accrochant une masselotte $m = 23,6$ g sur un rayon de la roue à une distance l donnée du moyeu. Nous lâchons la roue lorsqu'elle est tournée d'un quart de tour par rapport à l'équilibre, c'est à dire la masselotte à la verticale du moyeu. Dans cette expérience, nous suivons la position angulaire de la masselotte $\theta(t)$ avec une caméra reliée à un ordinateur. Nous traitons les images avec le logiciel *ImageJ* et effectuons des calculs d'angles avec *Matlab*. Le principe de la mesure est le suivant. En incluant le moment du poids à l'équation (5.41), nous avons aux petits angles :

$$J\ddot{\theta} = -mgl\theta - \delta_f\dot{\theta} - \delta_s \quad (5.46)$$

où le premier terme du second membre correspond au moment du poids de la masselotte. Dans cette équation J_0 est remplacé par le moment de la roue en son centre $J = J_0 + ml^2$ qui inclut la contribution de la masselotte. La pulsation des oscillations est donc donnée, en négligeant les frottements, par :

$$\omega_0^2 = \frac{mgl}{J_0 + ml^2} \quad (5.47)$$

En considérant de plus que le moment d'inertie associé à la masselotte reste négligeable devant le moment d'inertie de la roue ($ml^2 \ll J_0$), nous obtenons :

$$\omega_0^2 = \frac{mgl}{J_0} \quad (5.48)$$

Dans cette limite, $\omega^2 \sim l$, la pente nous donnant le rapport $\frac{mg}{J_0}$. Nous reportons donc la pulsation ω_0 en fonction de l (Fig. 5.9). La dépendance linéaire est bien vérifiée et la pente nous donne, en tenant compte des valeurs de m et g :

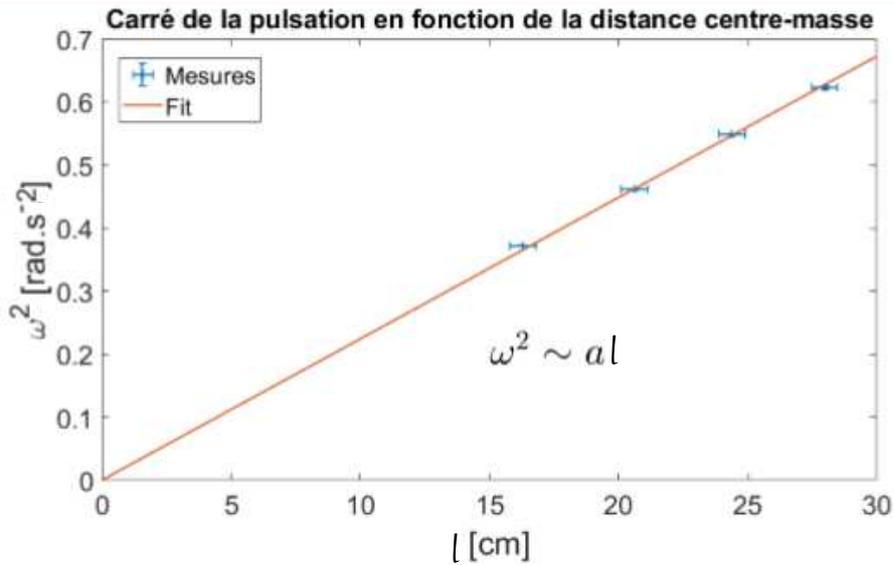
$$J_0 = (0,100 \pm 0,001) \text{ Kg.m}^2 \quad (5.49)$$

De la valeur du moment d'inertie de la roue J_0 , nous obtenons les valeurs des coefficients associés au frottements fluides et solides :

$$\delta_s = (1,29 \pm 0,06) 10^{-3} \text{ Kg.m}^2.\text{s}^{-2} \quad (5.50)$$

$$\delta_f = (1,52 \pm 0,08) 10^{-3} \text{ Kg.m}^2.\text{s}^{-1} \quad (5.51)$$

Il est intéressant à ce stade de donner une signification pratique à ces valeurs. En considérant la valeur de δ_s , on peut estimer la force équivalente $F_s = \frac{\delta_s}{R}$ exercée sur le périmètre de la roue, c'est à dire la force qui s'oppose à l'avancée de la roue. On a $F_s \simeq 3,7 \cdot 10^{-3}$ N. Avec le même raisonnement, nous pouvons estimer la contribution au freinage des frottements fluides mais cette dernière dépend de la vitesse. Afin d'obtenir une borne supérieure pour cette contribution, nous estimons la valeur de F_f pour la vitesse maximale des coureurs en course, de l'ordre de 40 km/h. Tout calcul fait, nous obtenons $F_f \simeq 0,14$ N. Nous voyons

FIGURE 5.9 – Carré de la pulsation ω^2 en fonction de l .

donc qu'à grande vitesse les frottements fluides dominent largement les frottements solides. Par ailleurs, il est intéressant d'estimer en combien de temps une telle force freine un sportif en pleine course. En prenant un sportif de 50 kg lancé à 40 km/h soumis au freinage de 2 roues ($2 \times 0,14$ N), on obtient un arrêt total en 1/2 heure !

La contribution du frottement au niveau du moyeu existe mais reste limitée. Seul le cas d'une roue soumise à son seul poids a été considéré ici. Les mêmes tests sont envisageables en chargeant la roue mais n'ont pas été faits. Nous nous sommes plutôt concentrés sur la mesure de la dissipation pour la roue dans son ensemble, résultats présentés dans la partie suivante.

5.4.2 Mesure de la résistance au roulement pour une roue

Lorsqu'une roue est en mouvement, les forces dissipatives, essentiellement liées au contact avec le sol (déformation du pneumatique sur le sol) et aux frottements dans le moyeu s'opposent au mouvement. L'objectif de notre expérience est de mesurer l'ensemble des contributions.

5.4.2.1 Principe de la mesure

Le principe de la mesure est le suivant. À vitesse constante, la somme des forces s'exerçant sur la roue doit être nulle. Si la roue se déplace à vitesse constante (Fig. 5.10), une force appliquée \vec{F}_a compense la force liée à la dissipation \vec{F}_d .

$$\vec{F}_a + \vec{F}_d = \vec{0} \quad (5.52)$$

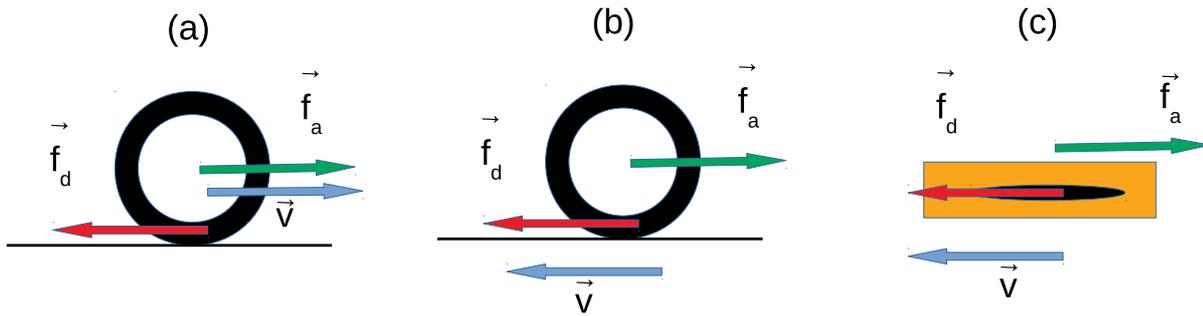


FIGURE 5.10 – Schéma du principe expérimental

Respectivement à gauche, au centre, et à droite nous retrouvons la roue en mouvement dans le référentiel terrestre (a), dans le référentiel de la roue en vue de côté (b) et en vue aérienne (c). Dans le référentiel de la roue la force \vec{F}_d est dans le sens de la vitesse \vec{V} .

Si nous nous plaçons dans le référentiel de la roue, elle est immobile, avec le sol se déplaçant à vitesse \vec{V} dans le sens de la force \vec{F}_d . La roue est entraînée par la force exercée par le support sur laquelle elle repose. Il faut appliquer une force \vec{F}_a pour la maintenir en position. Notre expérience repose sur une mesure de \vec{F}_a , ce qui nous donnera \vec{F}_d .

En pratique (figure 5.11), nous maintenons la roue avec une tige UM , libre en rotation en U . Le point M correspond au moyeu. La roue repose sur un sol qui défile sous elle. Le capteur de force est en contact avec la tige au point S . Il empêche la rotation de la tige et nous informe sur la force \vec{F}_S qu'il applique en S . En régime stationnaire, la somme des moments des forces appliquées à la tige doit également être nulle :

$$\vec{\mathcal{M}} = \overline{UM} \wedge \vec{F}_d + \overline{US} \wedge \vec{F}_S \quad (5.53)$$

En projection sur la verticale, nous avons :

$$UM F_d + US F_S = 0 \quad (5.54)$$

ce qui permet de mesurer F_d à partir de la mesure de F_S , c'est à dire de la mesure fournie par le capteur de force :

$$F_S = -\frac{UM}{US} F_d \quad (5.55)$$

5.4.2.2 Dispositif expérimental

Notre dispositif expérimental (Fig. 5.12) est composé de deux sous ensembles : un système d'entraînement (A), et un support de la roue (B).

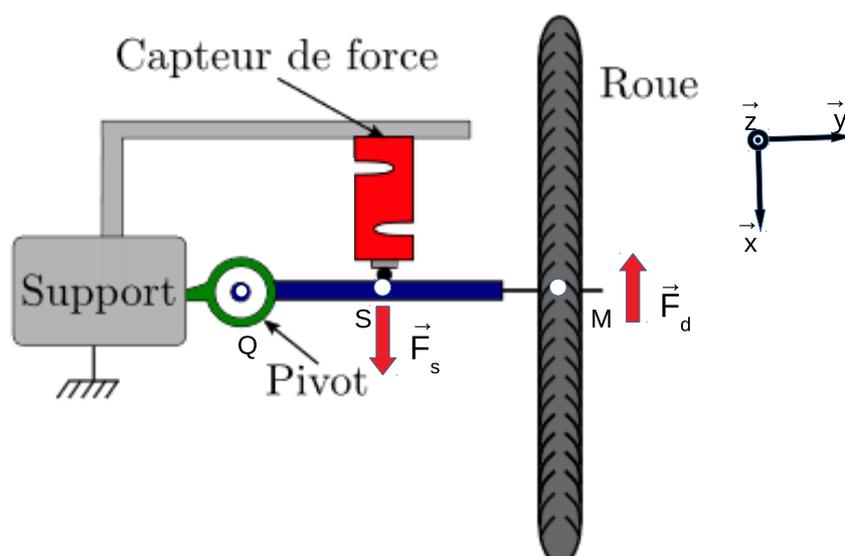


FIGURE 5.11 – Schéma du principe expérimental vue aérienne.

Une roue est entraînée par frottement contre une surface qui défile sous elle.

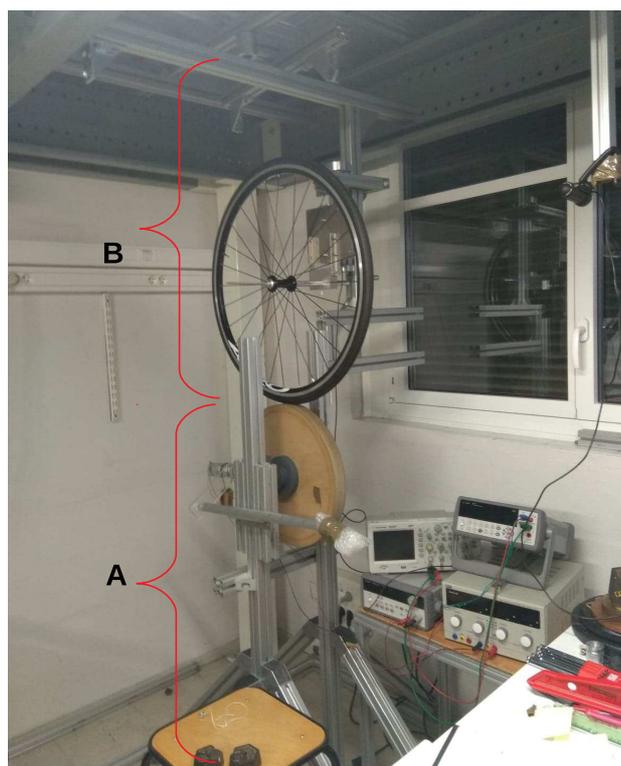


FIGURE 5.12 – Dispositif expérimental et appareils de mesure.

La partie A du montage correspond au support d'entraînement, et la partie B au support de la roue.

Le système d'entraînement est un disque en MDF dont la tranche large sur laquelle la roue repose figure le sol. Le module d'Young du disque est $E \approx 12$ GPa. Le diamètre du disque peut être changé dans la gamme de 40 à 120 cm. La tranche peut être recouverte d'un matériau souple figurant de piste d'athlétisme. Nous utiliserons pour cela un polymère de module d'Young $E \approx 0,1$ MPa, celui d'une piste d'athlétisme aux normes IAAF étant de $E \approx 1,5$ MPa.

Le montage comporte une base solide carrée en profilés aluminium. Deux profilés verticaux sont maintenus solidement en place par six points d'attache. Entre ces deux profilés se trouve le disque en MDF de 4 cm d'épaisseur. Le disque est traversé en son centre par une tige métallique horizontale. Deux roulements assurent la libre rotation du disque autour de cet axe. La structure permet d'ajuster la hauteur de l'axe du disque, ce qui nous servira par la suite pour imposer un angle de carrossage (Fig.5.13). Le disque en MDF est entraîné en rotation à vitesse constante au moyen d'un petit moteur électrique. Le moteur est capable de propulser le disque à des vitesses similaires à celles rencontrées en course, soit plus de 40 Km/h.

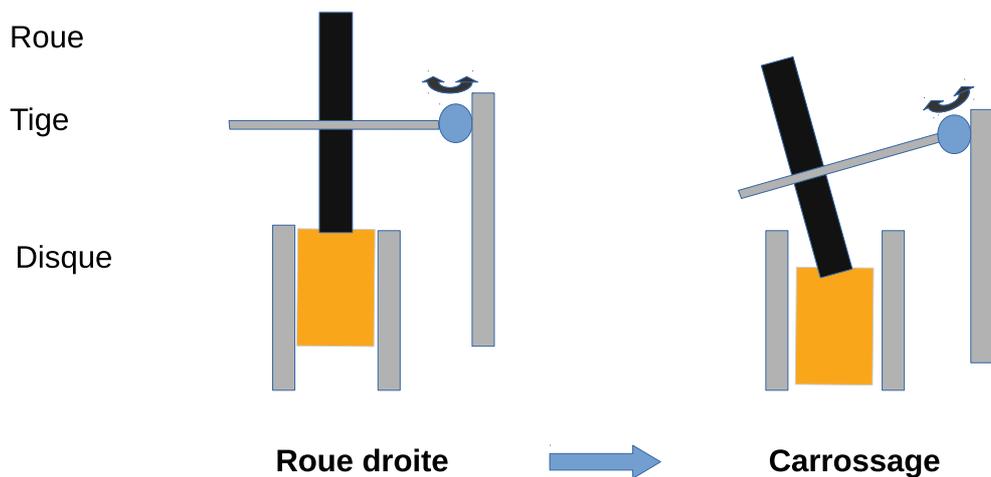


FIGURE 5.13 – Schéma du principe du carrossage vue de face.

Pour imposer un angle de carrossage, la hauteur du disque de MDF sur lequel repose la roue peut être changée. La hauteur du pivot (disque bleu) de la tige qui tient la roue restant à la même hauteur, abaisser le disque de MDF impose un angle de carrossage choisi à la roue.

La roue est tenue au moyen d'une tige fixée au moyeu à une extrémité et à un pivot en Q qui lui donne deux angles libres. La rotation autour de l'axe vertical est bloquée au moyen d'un capteur de force, comme proposé dans le principe de la mesure. Nous utilisons un capteur de force en S (20 N). En réglant la position de ce capteur et le lien avec la tige, nous pouvons régler précisément l'alignement de la roue avec le plan du disque. La rotation autour de l'axe horizontal est bloquée par l'appui sur le disque de MDF. C'est donc en ajustant la hauteur de ce dernier que nous contrôlons l'angle de carrossage. Enfin,

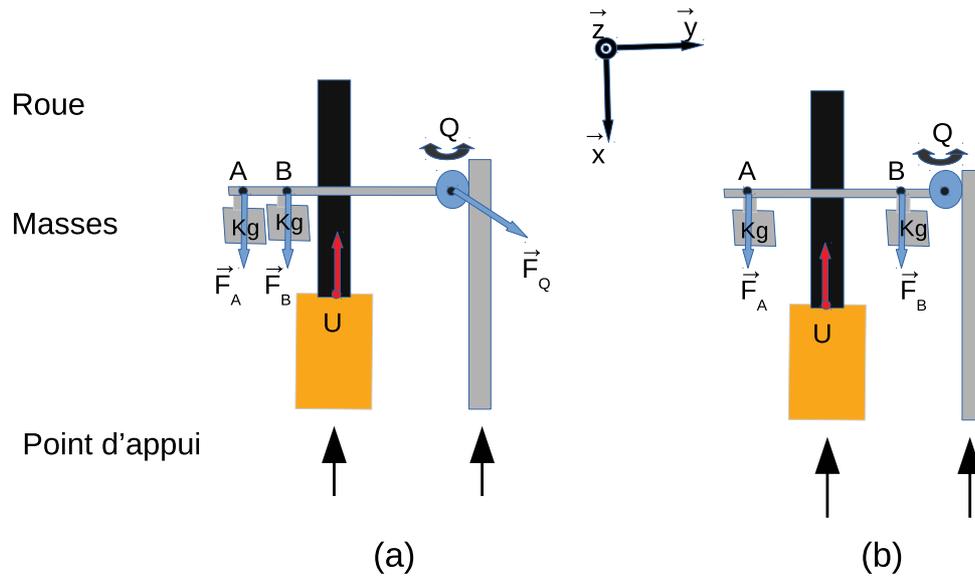


FIGURE 5.14 – Principe du point d'appui, vue du dispositif de face.

Le placement des masses influe sur la force exercée en U , qui est de deux à quatre fois le poids d'une seule masse, respectivement dans les cas (b) et (a). À noter que lorsque la roue est verticale, il n'y a pas de cisaillement du pneumatique dans le plan de la figure au point de contact.

afin d'imposer une charge sur la roue, des masses additionnelles peuvent être ajoutées sur la tige. Différentes masses peuvent être utilisées pour lester la roue et simuler la masse de l'athlète. Les masses peuvent être placées de part et d'autre de la roue à différentes positions sur la tige. Nous pouvons donc tester les effets de la charge sur la résistance au roulement. Remarquons cependant que le placement des masses change notablement la force exercée au point de contact. Notons U , le point de contact entre la roue et le sol. Soit le point Q correspondant au pivot, et A et B les positions de masses. L'équilibre des forces appliquées à la tige s'écrit :

$$\vec{F}_A + \vec{F}_B + \vec{F}_Q + \vec{F}_U = \vec{0} \quad (5.56)$$

En projetant sur \vec{y} dans le repère $(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$, les poids en A et B , étant verticaux, nous obtenons :

$$F_U/y = -F_Q/y \quad (5.57)$$

En supposant que la force au point Q est nulle, on a :

$$\vec{F}_U = -(\vec{F}_A + \vec{F}_B) \quad (5.58)$$

La force exercée sur la roue au point d'appui correspond bien à l'inverse des forces appliquées au point A et au point B , soit à la somme des poids.

Cependant, quand A et B ne sont pas symétriques de part et d'autre de U , \vec{F}_Q n'est pas nul. Pour déterminer toutes les forces, nous considérons les moments en U . Soit les longueurs

l_A , l_B , et l_Q , respectivement les longueurs AU , BU , et QU sur la tige. À l'équilibre, la somme des moments doit être nulle :

$$\vec{\mathcal{M}} = \vec{UA} \wedge \vec{F}_A + \vec{UB} \wedge \vec{F}_B + \vec{UQ} \wedge \vec{F}_Q = \vec{0} \quad (5.59)$$

Nous obtenons de l'équilibre des moments en projection sur \vec{y} :

$$-l_A F_A + l_B F_B + l_Q F_Q/x = 0. \quad (5.60)$$

En introduisant dans l'équation (5.56) et en projetant sur la verticale, nous obtenons :

$$F_U/x = -F_A \left(1 + \frac{l_A}{l_Q}\right) - F_B \left(1 - \frac{l_B}{l_Q}\right) \quad (5.61)$$

avec $F_A = M_A g$ et $F_B = M_B g$, les poids associés aux masses en A et B . Il est intéressant de noter que dans le cas de figure (b) avec deux masses identiques de chaque côté de la roue, nous avons : $F_U/x = 2mg$. En revanche, pour deux mêmes masses placées en un même point, symétrique du pivot, par rapport à la roue, on aurait $F_U/x = 4mg$, soit deux fois la charge portée par la roue. En conclusion, nous ferons attention au placement des charges qui jouent un rôle important sur la charge effective au point de contact entre la roue et le sol.

En résumé, notre dispositif expérimental nous permet de mesurer la force nécessaire au maintien du mouvement à vitesse constante. Il permet de modifier le gonflage, le carrossage, la charge et l'alignement de la roue et de la piste. Nous pouvons également modifier la nature du sol dur en plaçant une bande souple sur le disque en MDF. Le même montage expérimental, avec une charge de 35 N présente sur notre système, a été utilisé pour les mesures suivantes.

5.4.3 Effet de la vitesse

Nous considérons dans un premier temps la dépendance en vitesse de la force qui s'oppose au roulement. Dans cette expérience, nous utilisons une roue standard 700C, gonflée à 6 bars, sans charges supplémentaires présentes sur la roue. À vide, le dispositif (barre+roue) contribue de 14 N à la force exercée sur le capteur. Lors de notre expérience, la roue roule directement sur le disque en MDF qui est une surface rigide ($E \approx 12$ GPa). Nous renouvelons ensuite l'expérience en faisant rouler notre roue sur un sol souple en polymère de carbone ($E \approx 0,1$ MPa) placé sur le disque en MDF. Nous faisons varier la vitesse V imposée, et mesurée par chronométrage en moyenne sur dix tours.

Pour mesurer la résistance au roulement du pneumatique, nous supprimons toutes contributions de force exercée sur le capteur (20 N) à vitesse nulle, comme en cas de mauvais placement de la roue au sommet du disque. Pour cela, nous moyennons l'effort effectué par la roue tournée manuellement d'un quart de tour dans le sens horaire, puis d'un demi-tour dans le sens anti-horaire. Nous obtenons ainsi la dépendance de la force qui résiste à l'avancée de la roue en fonction de la vitesse (Fig. 5.15).

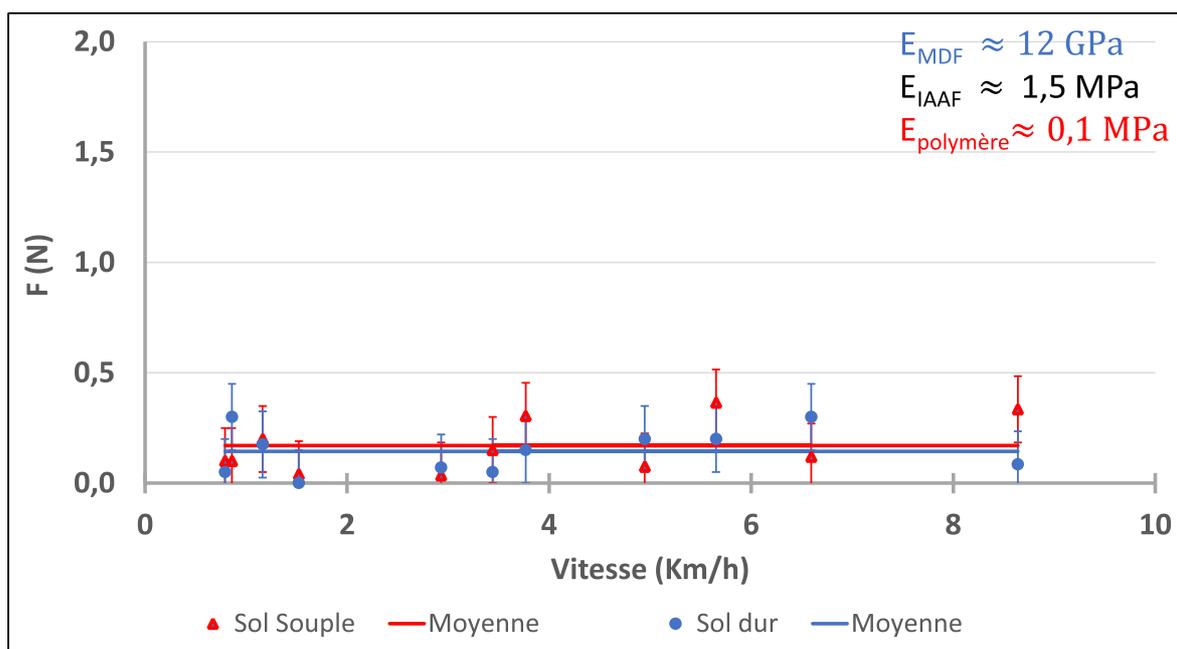


FIGURE 5.15 – Courbe de la force exercée par la roue en fonction de la vitesse

La résistance au roulement, pour un pneumatique gonflé à 6 bars, ne dépend pas de la vitesse. Les modules d'Young respectifs des sols expérimentaux utilisés, dur et mou, et celui d'une piste d'athlétisme olympique sont indiqués.

L'expérience montre que dans la gamme de vitesse explorée la résistance au roulement ne dépend pas, ou pas de manière notable, de la vitesse. Nous obtenons une première estimation de la force moyenne, respectivement de l'ordre de 0,14 N sur sol dur et 0,17 N sur

sol souple, sur une plage de vitesse de 0 à 9 km/h.

La plage de vitesse choisie, bien inférieure aux capacités des athlètes, nous permet de préserver la fragilité du capteur de force de notre dispositif expérimental. Des essais à une vitesse supérieure à 20 Km/h nécessiterait également d'installer un dispositif de sécurité autour de notre montage pour assurer la sécurité de l'expérimentateur. Dans la suite des expériences, nous présenterons des résultats obtenus à une vitesse intermédiaire de 3 Km/h.

5.4.4 Effet du gonflage

Nous étudions maintenant les effets du gonflage. La roue roule directement sur le disque en MDF rigide (sol dur) lors d'une première expérience, puis sur le polymère de carbone (sol souple) par la suite. Initialement, le pneumatique est gonflé à la pression maximale accessible (7 bars), puis dégonflé progressivement. Nous mesurons à intervalles réguliers la pression P avec une jauge de pression digitale. Des précautions ont été prises concernant l'alignement de la roue sur le disque, et l'alignement du disque avec le sol.

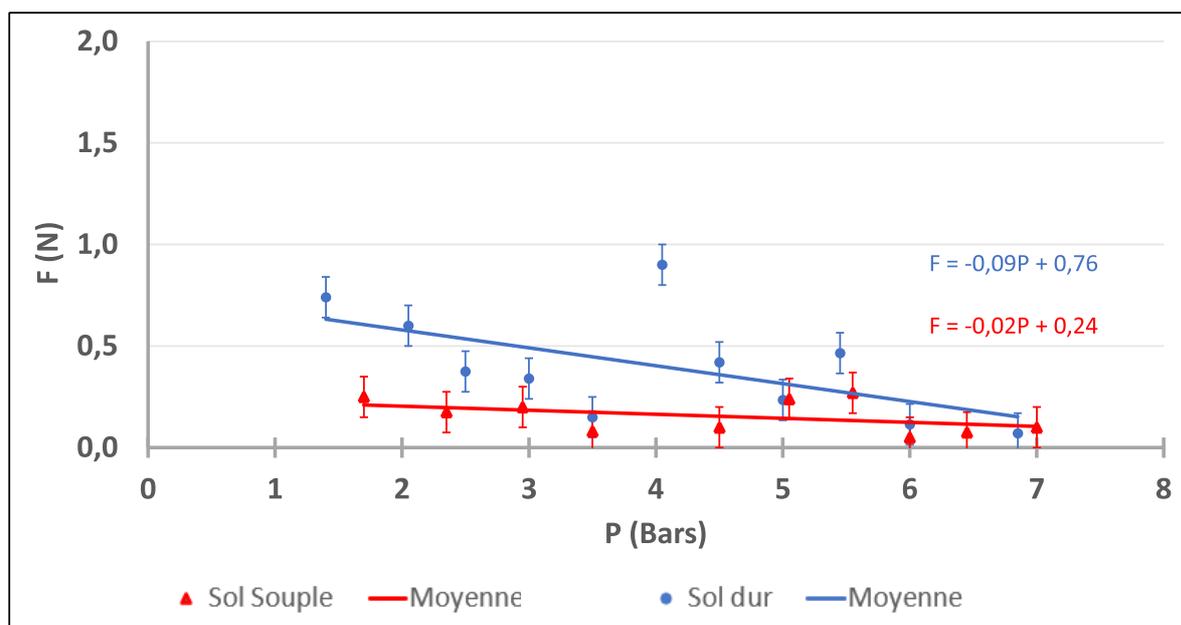


FIGURE 5.16 – Graphique de la force exercée par la roue $F(N)$ en fonction de la pression P (bars).

Lorsque la pression du pneumatique diminue de 1 bar sur sol dur, sa dissipation augmente de 50 % par bar autour de la pression maximale conseillée (6 bars), contre 20 % par bar sur sol souple. L'impact du gonflage sur la résistance au roulement est plus important sur sol dur que sur sol souple. Quelle que soit la nature du sol, gonfler au maximum le pneumatique diminue la résistance au roulement.

À nouveau, nous supprimons de la mesure toute contribution qui viendrait d'un mauvais positionnement de la roue sur le sommet du disque en effectuant une mesure dans le sens

horaire puis anti-horaire. Afin de diminuer la dispersion des résultats entre les différentes séries de mesures, nous effectuons des moyennes à chaque pression. Nous reportons la force qui résiste au roulement en fonction de la pression P sur la figure 5.16. Les mesures montrent clairement une augmentation de la résistance au roulement sur sol dur lorsque le gonflage diminue. La résistance au roulement est multipliée par 2,7 entre un pneumatique gonflé à 6 bars et un pneumatique à plat. La décroissance de la force est pratiquement linéaire avec la pression, avec une pente de 0,09 N/bar, ce qui représente une variation de l'ordre de 50% par bar autour de la pression maximale conseillée de 6 bars.

Sur sol souple, la résistance au roulement augmente faiblement lors de la diminution du gonflage du pneumatique. Entre un pneumatique gonflé à 6 bars et un pneumatique à plat, la résistance au roulement est multipliée par 1,7. La décroissance de la force est également quasiment linéaire avec la pression, avec une pente de 0,02 N/bar, ce qui représente une variation de l'ordre de 20 % par bar autour de la pression maximale conseillée de 6 bars.

La pression maximale conseillée de 6 bars sera conservée pour la suite des expériences.

5.4.5 Effet de l'alignement

Nous étudions maintenant l'effet d'un défaut d'alignement entre la direction d'avancée et la tangente à la roue. Cette mesure doit nous permettre de connaître l'effet d'un défaut de parallélisme des roues arrière du fauteuil.

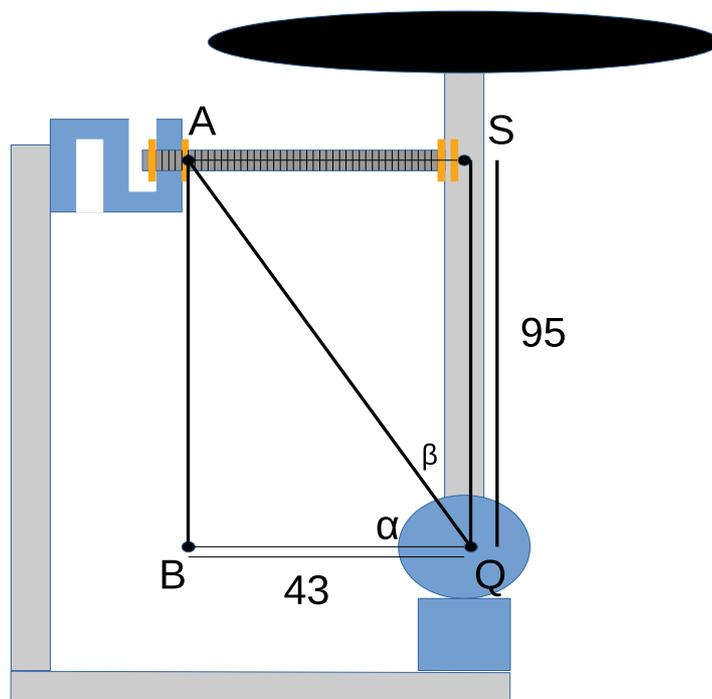


FIGURE 5.17 – Schéma du lien souple entre la roue et le capteur de force vu du dessus.

L'alignement de la roue avec le disque en MDF sur lequel elle repose est modifié en changeant la longueur du lien entre le capteur de force et l'axe qui tient la roue (Fig. 5.17). L'angle est estimé géométriquement en comptant le nombre de tour que fait la vis qui constitue ce lien.

Les mesures sont réalisées pour un gonflage à 6 bars et une charge de 35 N. Nous supprimons encore les contributions dues à un mauvais placement de la roue à l'aplomb du disque, par soustraction entre les mesures obtenues dans les sens horaire et anti-horaire.

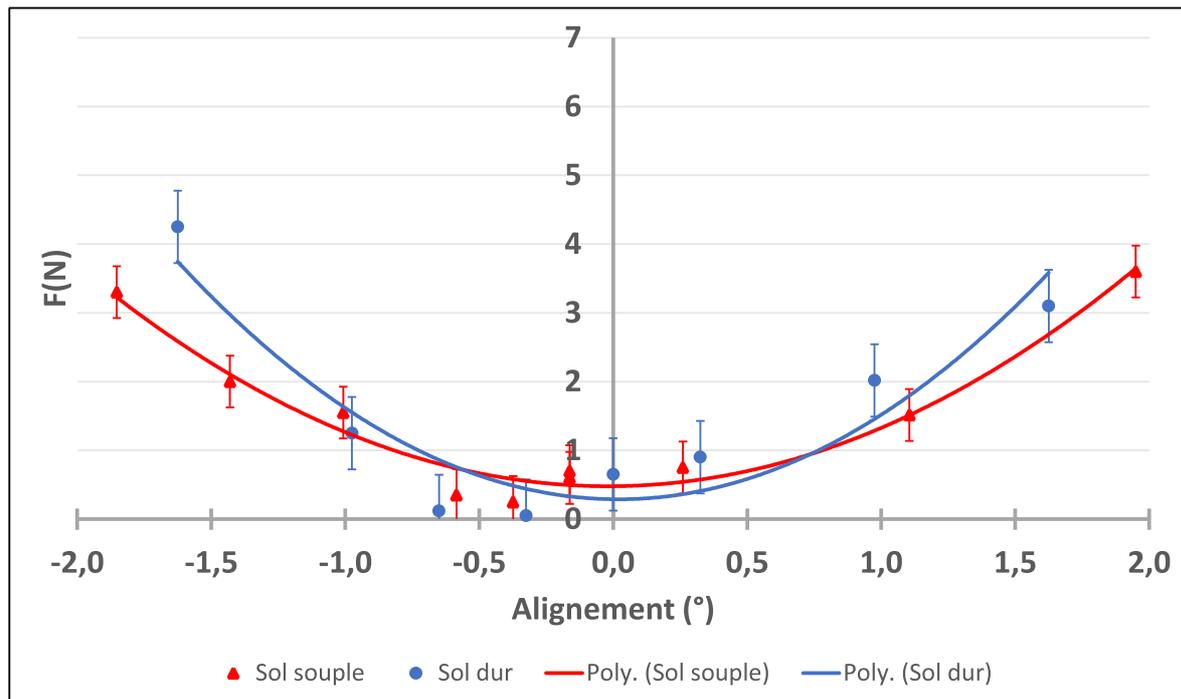


FIGURE 5.18 – Force qui résiste au mouvement (N) vs. l'angle de désalignement (°).

La dissipation minimale pour un alignement parfait serait de 0,3 N sur sol dur, et 0,47 N sur sol souple. Pour 1° d'écart à l'alignement idéal, la résistance au roulement est multipliée par 18 sur sol dur, et multipliée par 4 sur sol souple.

Nous observons (Fig. 5.18) que la force qui s'oppose au mouvement est multipliée par 18 sur sol dur, et multipliée par 4 sur sol souple, pour 1° d'écart à l'alignement idéal qui est celui qui correspond au minimum. L'effet d'un défaut de parallélisme sera donc très important pour un fauteuil de course, particulièrement sur sol dur.

5.4.6 Effet de l'alignement sur une roue carrossée

Nous étudions à présent l'effet d'un défaut d'alignement entre la direction d'avancée et la tangente à la roue, pour une roue carrossée à son maximum, soit 20°. Cette mesure doit nous permettre de connaître l'effet d'un défaut de parallélisme dans la position naturellement

carrossée des roues arrière du fauteuil. Cela nous permet de nous rapprocher des conditions physiques du fauteuil lors d'une compétition d'athlétisme.

Comme précédemment, l'alignement de la roue avec le disque en MDF sur lequel elle repose s'effectue en changeant la longueur du lien entre le capteur de force et l'axe qui tient la roue (Fig. 5.17). L'angle est également estimé géométriquement en comptant le nombre de tour que fait la vis qui constitue ce lien.

Les mesures sont réalisées pour un gonflage à 6 bars et une charge de 35 N. Nous supprimons encore les contributions dues à un mauvais placement de la roue à l'aplomb du disque, par soustraction entre les mesures obtenues dans les sens horaire et anti-horaire.

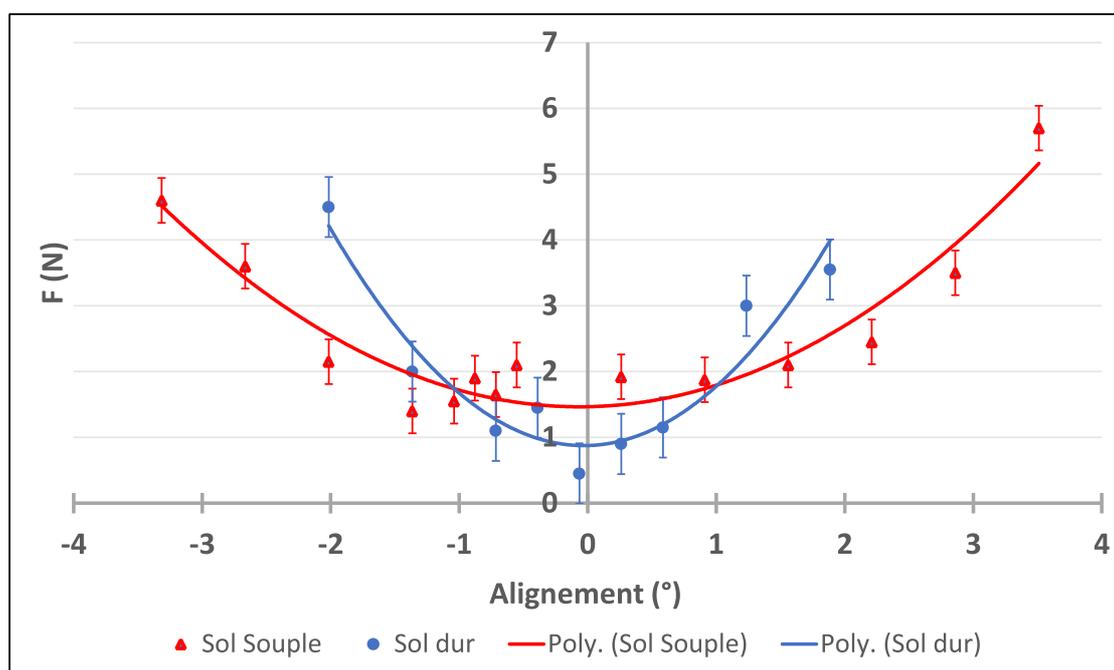


FIGURE 5.19 – Force qui résiste au mouvement (N) selon l'angle de désalignement (°) pour un carrossage de 20°.

La dissipation minimale pour un alignement parfait serait de 0,88 N sur sol dur, et 1,47 N sur sol souple. La résistance au roulement est multipliée par 2 sur sol dur et par 1,22 sur sol souple pour 1° d'écart à l'alignement idéal. Le minimum de la force produite est multiplié par 9 sur sol dur, et par 5,6 sur sol souple par rapport à une roue non-carrossée.

Nous observons (Fig. 5.19) que la force qui s'oppose au mouvement est multipliée par 2 sur sol dur, et par 1,22 sur sol souple pour 1° d'écart à l'alignement idéal, correspondant au minimum (0°). Bien que moindre par rapport à une roue non-carrossée, l'effet d'un défaut de parallélisme sera donc important pour un fauteuil de course aux roues carrossées.

Nous constatons également que, par rapport à une roue non-carrossée, le minimum de la force produite est multiplié par 9 sur sol dur, et par 5,6 sur sol souple. Le carrossage a donc un effet sur la résistance au roulement.

5.4.7 Effet du carrossage

Nous nous intéressons enfin aux effets du carrossage sur la résistance au roulement. Pour ce faire, nous faisons varier l'inclinaison du plan de la roue par rapport à la verticale dans une plage allant de 0° à 24° .

L'angle de carrossage imposé est mesuré par deux méthodes complémentaires. La première consiste à mesurer l'angle avec un inclinomètre placé sur l'axe tenant la roue. La deuxième consiste à mesurer l'inclinaison du plan de la roue à partir d'images prises avec une webcam. Comme précédemment, nous supprimons toute contribution qui pourrait être due au mauvais placement de roue au sommet du disque en effectuant une mesure dans le sens horaire puis anti-horaire. La dispersion des données est réduite en moyennant sur six séries de mesures. Nous présentons dans la figure 5.20 les résultats pour 35 N sur sol dur et sur sol souple pour un pneumatique gonflé à 6 bars.

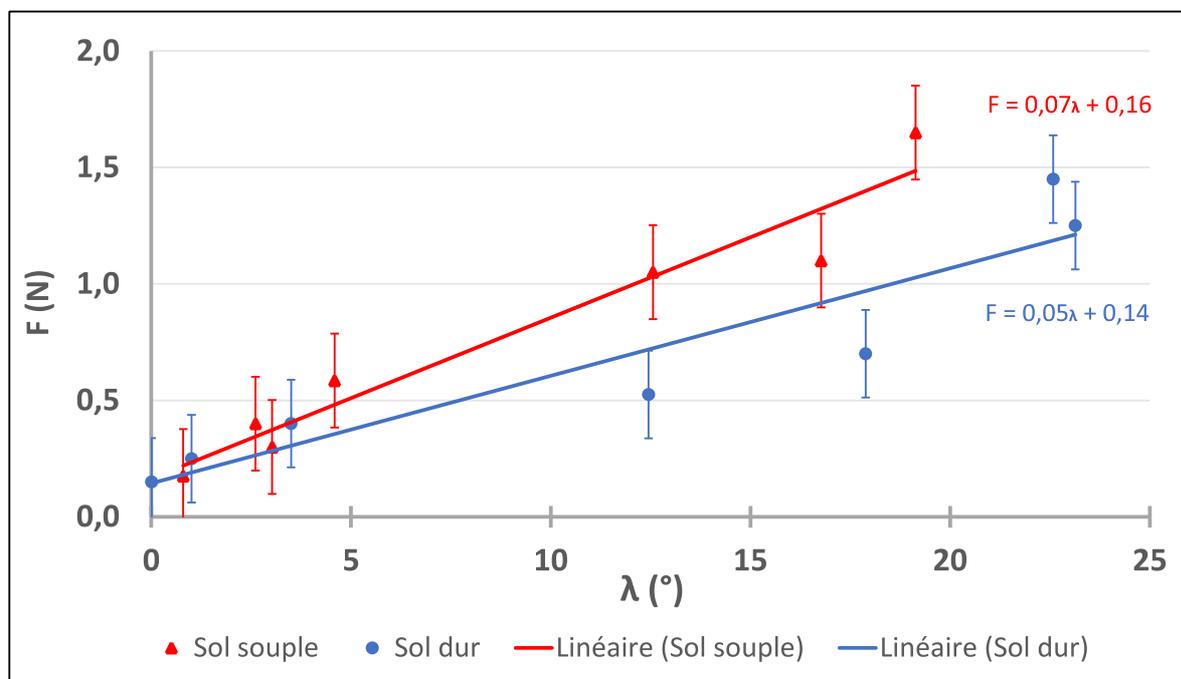


FIGURE 5.20 – Force qui résiste au mouvement (en N) en fonction de l'angle de carrossage (en $^\circ$)

L'utilisation d'un carrossage de 12° multiplie la résistance au roulement optimal (0°) par 5 sur sol dur, et par 6 sur sol souple.

Ces résultats expérimentaux montrent que, dans la plage d'angles de carrossage considéré, la force qui s'oppose au mouvement dépend de l'angle de carrossage. Pour un carrossage optimal de 0° , la résistance au roulement minimale est de 0,14 N sur sol dur, et de 0,16 N sur sol souple. Avec un carrossage de 12° , cette résistance au roulement est multipliée par 5 sur sol dur, et par 6 sur sol souple. Réduire le carrossage diminue ainsi la résistance au roulement.

5.5 Mise en commun des résultats

Dans cette partie, nous discutons les résultats théoriques et expérimentaux des deux parties précédentes.

Notre étude théorique nous a permis de déterminer le défaut de parallélisme introduit en virage par l'inclinaison de la potence qui résulte d'une rotation du guidon. D'une part, nous avons vu comment le parallélisme est affecté par l'inclinaison de la potence (5.4). Puis, nous avons étudié la variation de hauteur de la roue avant en fonction de la position du guidon et de l'inclinaison de la fourche (5.25). Ensuite, nous avons déterminé l'inclinaison de la potence induite par la rotation du guidon (5.29). Enfin, nous avons déterminé la rotation du guidon nécessaire pour prendre un virage (5.37), puis l'inclinaison de la potence qui en résulte. Nous avons ainsi pu obtenir le défaut de parallélisme introduit en virage en fonction des caractéristiques du fauteuil de course (5.38). Nous avons ainsi montré que ce défaut de parallélisme reste limité, de l'ordre de 10^{-4} degrés.

Expérimentalement, nous avons étudié la force qui résiste au roulement en fonction de nombreux paramètres. Nous avons constaté qu'une roue de fauteuil d'athlétisme dissipe, au niveau du moyeu, par des frottements fluides et solides, avec majoritairement des frottements visqueux à grande vitesse, et des frottements solides à petite vitesse. La transition entre la prédominance de ses contributions s'effectue à 0,85 rad/s, soit 5 Km/s. Les mesures montrent surtout que cette contribution est environ deux ordres de grandeur plus petite que la résistance totale au roulement, donc qu'elle ne représente au mieux qu'un pourcent de la dissipation totale. Les résultats de Sauret et coll. présentent eux aussi une dépendance à la vitesse des puissances mécaniques de roulement développées par leur sujet au cours d'un cycle de propulsion. En effet, les puissances des moments développées sont supérieures à allure rapide, autour de 5,3 Km/h par rapport à une allure lente de 3,5 Km/h (-28,4 W contre -17,4 W) [Sauret, 2010].

Dans une seconde série d'expériences, nous avons étudié les effets de la vitesse, de la charge, du gonflage, du parallélisme, du parallélisme avec carrossage, et du carrossage sur la résistance au roulement. Nos résultats pour une roue allant à 3 Km/h sont de l'ordre de 0,14 sur sol dur à 0,17 N sur sol souple, correspondant à un ordre de grandeur de 0,56 N à 0,68 N pour un fauteuil à quatre roues sur sol dur. Ces résultats sont inférieurs à ceux de Sauret et coll. [Sauret, 2010], dont les expériences ont montré que la force de freinage d'un fauteuil roulant est de l'ordre de 13 à 31 N. Cette différence peut s'expliquer par la faible masse de 35 N présente sur notre système, contre la masse d'un adulte sur son fauteuil, plus proche des 700 N. Une expérimentation avec une masse similaire à celle d'un adulte sur notre système serait une suite pertinente à notre travail.

Nous avons observé trois paramètres qui influent de manière notable sur la résistance au roulement : le gonflage, le parallélisme, et le carrossage. Concernant le gonflage d'un

pneumatique, la force qui s'oppose au mouvement augmente de 50 % environ sur sol dur, et 20 % sur sol souple, pour une diminution de la pression de l'ordre de 1 bar (à partir du gonflage optimal). Les résultats sont en accord avec l'étude de Gordon et coll. [Gordon et al., 2007]. Cette étude a montré, chez un cycliste, une augmentation de près de 50 % de la résistance au roulement pour la perte d'un bar de pression entre 5 et 6 bars sur sol dur. L'étude de Gordon a également montré une diminution non-linéaire du coefficient de roulement en fonction du gonflage du pneumatique d'un vélo avec cycliste : plus le pneumatique est gonflé, plus le coefficient diminue [Grappe, 2009]. À noter que l'impact d'un faible gonflage du pneumatique sur la résistance au roulement est plus important sur sol dur que sur sol souple. Quelle que soit la nature du sol, gonfler au maximum le pneumatique diminue la résistance au roulement. Nous conseillons donc aux athlètes sur piste et sur route de gonfler au maximum leurs pneumatiques en tenant en compte de l'amplitude recommandée indiquées sur leurs pneumatiques. Gonfler au-delà de la recommandation risquerait soit d'être inefficace en rendant poreux le pneumatique trop étiré, soit d'entraîner l'éclatement du pneumatique.

Lorsqu'on s'intéresse à l'influence du parallélisme, on remarque que la force qui s'oppose au mouvement est, pour 1° d'écart à l'alignement idéal, multipliée par 18 sur sol dur, et par 4 sur sol souple. En imposant l'alignement de la roue sur sol dur, la roue frotte énormément sur le sol indéformable : la résistance au roulement augmente rapidement. En revanche, sur sol souple, la contrainte est partagée entre la roue et le sol donc la force résistant au mouvement augmente plus faiblement que sur un sol dur. À noter que la résistance minimale au roulement est logiquement plus importante sur sol souple que sur sol dur. Pour sa part, l'étude de Vanderwiel présente bien une multiplication de la résistance au roulement, de l'ordre de de 1,5 pour 1° d'augmentation du désalignement d'une roue sur sol dur. Les différences peuvent s'expliquer par la méthode utilisée. En effet, cette étude se base sur un fauteuil à trois roues allant automatiquement à 1,8 Km/h, portant une masse de 60 Kg répartis entre les roues avant et arrière, et placé sur du carrelage [VanderWiel et al., 2016]. La dissipation, qui est majoritairement due à la déformation du pneumatique en ligne droite, et liée au dérapage lors d'un défaut d'alignement du pneumatique avec le sol, est moindre sur une surface lisse. L'étude de Van Der Woude et coll. mentionne elle aussi une augmentation de la résistance au roulement en raison de l'effet sur l'alignement des roulettes avant d'un fauteuil PMR [Van der Woude et al., 2001].

Nous avons étudié l'impact de l'alignement sur une roue carrossée, position utilisée pour les roues arrière du fauteuil d'athlétisme. Pour une roue carrossée de 20°, le minimum de la force produite est multiplié par 9 sur sol dur, et par 5,6 sur sol souple par rapport à une roue non-carrossée. Notre expérience révèle un effet du carrossage sur la résistance au roulement. Pour les mêmes raisons qu'évoquées précédemment, le désalignement du pneumatique a plus d'impact sur sol dur que sur un sol souple. En effet, pour 1° d'écart

à l'alignement idéal (0°), la force qui s'oppose au mouvement est multipliée par 2 sur sol dur, et par 1,22 sur sol souple. Bien que moindre par rapport à une roue non-carrossée, l'effet d'un défaut de parallélisme sera donc important pour un fauteuil de course aux roues carrossées. Nous n'avons pas trouvé de littérature à laquelle comparer cette expérience.

En se penchant sur le carrossage, nos résultats montrent bien un impact entre 0° et 24° et confirment les résultats de notre expérience précédente. Pour un carrossage optimal de la résistance au roulement minimale est de 0,14 N sur sol dur, et de 0,16 N sur sol souple. Un carrossage de 12° d'une roue multiplie la résistance au roulement par 5 sur sol dur, et par 6 sur sol souple par rapport à un carrossage optimal de 0° .

La littérature ne s'accorde pas sur l'effet du carrossage sur la résistance au roulement. L'étude de Faupin et coll. a montré une augmentation non-négligeable de la résistance au roulement avec l'augmentation du carrossage, qui passe respectivement de 8 N à 14 N entre 9° et 15° . Le carrossage du fauteuil de basket utilisé correspond à l'inclinaison standard d'un fauteuil d'athlétisme (entre 10° et 15°). Il est possible que l'utilisation d'un ergomètre amplifie la résistance au roulement du fauteuil [Faupin et al., 2004]. De plus, ces études sont en accord avec les résultats théoriques de Wegee qui estime une augmentation proportionnelle du carrossage des roues arrière et de la résistance au roulement [Weege, 1985].

En revanche, d'autres études estiment que la résistance au roulement augmenterait de manière négligeable pour un carrossage des roues arrière inférieure à 8° [Buckley and Bhambhani, 1998] ou 10° [O'Reagan et al., 1981]. Cette augmentation, inférieure à 5 % [O'Reagan et al., 1981], serait négligeable dans le coût énergétique de la propulsion du fauteuil roulant, comparée à l'impact de l'augmentation du stress physiologique [Buckley and Bhambhani, 1998]. L'étude de Vanderwiel, qui utilise un véhicule à trois roues ressemblant à un fauteuil d'athlétisme, n'a pour sa part pas trouvé d'effet du carrossage sur la résistance au roulement entre -8° et 7° [VanderWiel et al., 2016]. Ces résultats peuvent s'expliquer par le fait que cette étude a été effectuée sur un carrelage lisse.

À l'inverse, les résultats expérimentaux de Veeger ont montré une légère diminution significative de la résistance au roulement lors de l'augmentation de l'angle de carrossage, entre 0° et 9° , des roues arrière d'un fauteuil PMR sur tapis roulant. De plus, il n'y a pas eu d'impact sur les réponses physiologiques de l'individu pour une vitesse de 2 à 5 Km/h [Veeger et al., 1989]. Jusqu'ici, la question reste ouverte.

Au vu de notre méthodologie expérimentale et de nos résultats, nous constatons que réduire le carrossage diminue la résistance au roulement. Concernant les athlètes qui souhaitent diminuer leur résistance au roulement, et en prenant en compte les connaissances actuelles sur le sujet, il est préférable de diminuer le carrossage de leur roue autant que possible. Toutefois, il y a une compétition avec les besoins physiologiques de l'athlète qui a besoin du carrossage pour aller chercher la roue et mettre plus de puissance. Il serait pertinent de poursuivre les recherches dans le domaine pour découvrir les raisons précises de cette dissipation,

et optimiser le fauteuil d'athlétisme pour répondre à la fois aux besoins physiologiques des individus, et physiques du fauteuil d'athlétisme.

Aucune influence de la vitesse de déplacement sur sol dur n'a été observée sur la résistance au roulement, conformément à la littérature [Grappe, 2009]. Notre plage de vitesse testée est faible, inférieure à 10 Km/h. Or, l'influence de la vitesse sur la résistance au roulement apparaît à de grandes vitesses de déplacement, proche des 50 Km/h chez un automobiliste sur route [Schuring, 1980]. Nous n'avons pas trouvé de littérature concernant l'influence de la vitesse sur sol souple.

À noter, concernant nos expériences, qu'il a été dans un premier temps difficile d'obtenir des mesures absolues, avec une valeur de la force comparable d'une série à l'autre. Ceci est probablement dû au fait que les mesures ont été réalisées à des périodes différentes de l'évolution de notre dispositif expérimental. La période de confinement et l'impossibilité d'accéder au laboratoire ne nous avait alors pas permis de tenter de réaliser l'ensemble de ces expériences sur une unique configuration.

Les expériences présentées ont été effectuées après le premier confinement sur un unique prototype expérimental. En se plaçant en priorité sur l'alignement idéal, nous avons pu homogénéiser nos résultats par la suite. Notre estimation de la force pour une roue varie entre 0,13 et 0,88 N sur sol dur, et entre 0,12 N et 1,47 sur sol souple. Par exemple, une force de 0,5 N par roue arrêterait un athlète de 50 kg (athlète + fauteuil d'athlétisme) lancé à 15 km/h en 3 min et 30 secondes sur sol dur, soit en 870 m, contre un peu plus de 2 min sur sol souple, ou 550 m, ce qui paraît une estimation très raisonnable.

5.6 Perspectives

Afin de poursuivre nos expériences de caractérisation de la dissipation du fauteuil d'athlétisme, nous suggérons d'effectuer les tests de carrossage, de vitesse et d'alignement sur sol souple se rapprochant davantage du tartan®. Installer une balance sous notre dispositif permettrait de connaître la charge exacte imposée à notre roue par mesure directe et donc d'ajouter du poids pour représenter pleinement la masse d'un athlète. De plus, il serait intéressant d'effectuer la même série d'expériences sur la roue avant du fauteuil d'athlétisme pour vérifier si les contraintes subies sont les mêmes. Ce travail n'a pas été fait bien que notre dispositif nous le permette de changer de roue facilement. Par ailleurs, une réflexion sur notre dispositif expérimental est nécessaire pour réussir à créer un dispositif qui aligne automatiquement la roue avec le sol. Par exemple, dans l'industrie automobile un tambour géant rotatif permet de laisser la roue circuler sans fourche et de mesurer ses frottements avec l'angle qu'elle effectue par rapport au point le plus bas du tambour. Enfin, pour élargir notre recherche, comprendre la source de dissipation liée au carrossage permettrait d'optimiser la résistance au roulement du fauteuil d'athlétisme, tout en répondant aux besoins

physiologiques des athlètes.

Aérodynamisme

Après discussion avec des usagers et recherches bibliographiques nous suggérons de se pencher sur deux autres facteurs susceptibles d'agir sur la biomécanique du fauteuil d'athlétisme : l'aérodynamisme et la main courante. Concernant ce deuxième point, il est intéressant de noter que les gagnants des courses d'athlétisme ne sont pas les mêmes en fonction de la météo. L'amélioration des gants et l'optimisation de la main courante sont donc à étudier de plus près pour augmenter les chances de remporter les courses tout en prenant en considération la morphologie et les capacités physiques de chaque athlète [Marcou et al., 2013]. L'aérodynamisme est, pour sa part, un des problèmes majeurs soulevé par les athlètes. En cyclisme, la résistance au roulement représente 30% de la résistance totale à 25 Km/h. La force développée par un cycliste pour la vaincre oscille entre 7% et 10 % à une vitesse supérieure à 50 Km/h, contre 90% utilisé pour lutter contre la traînée aérodynamique [Grappe, 2009]. Toutefois le carénage, qui consiste à profiler aérodynamiquement les fauteuils d'athlétisme, est interdit. Actuellement, des chercheurs japonais s'intéressent particulièrement à l'aérodynamisme et travaillent sur un système de coque protégeant le pilote des turbulences de l'air ainsi que sur la stabilité. Un de leurs récents modèles a gagné en stabilité avec sa potence arquée et ses roues ovales carrossées qui empêchent le fauteuil de chavirer, et sa conception en carbone absorbe vibration du sol et permet de maintenir sa vitesse sur piste d'athlétisme [[youtube.com/watch?v=wkqir0zTvM](https://www.youtube.com/watch?v=wkqir0zTvM)].

Maquette et essai en soufflerie

Une perspective d'étude serait d'effectuer des essais sur l'aérodynamisme en fonction de l'inclinaison du pilote sur différents types de fauteuils. Pour des raisons de reproductibilité, et d'autres raisons pratiques de sécurité, de coûts et d'espace, il serait intéressant de faire des essais en soufflerie avec le modèle réduit d'un fauteuil et de son athlète. Ainsi nous pourrions mettre à l'épreuve du vent différentes maquettes de fauteuils dans des études ne nécessitant pas la présence d'un athlète, ne mobilisant qu'un faible espace, et présentant un moindre coût.

Par exemple, un modèle réduit d'athlète sur un fauteuil roulant aux bonnes proportions placé dans une soufflerie permettrait d'étudier les effets du vent, de la position de l'athlète, et de la traînée aérodynamique sur différents modèles de fauteuil, à l'image de l'étude de MacLeish qui testait les matériaux composites sur les fauteuils d'athlétisme. Leur étude a prédit l'avènement des fauteuils monocoques pour diminuer la traînée de l'utilisateur et le flux d'air passant dans les jambes [MacLeish et al., 1993].

Des essais en soufflerie à taille humaine, avec des athlètes s'entraînant en fauteuil d'athlétisme, pourraient être envisagés parallèlement à des essais sur terrain dans un second temps. Cela a été fait très récemment (2020) avec les travaux d'étude de Miazaki sur la relation entre le mouvement propulsif et la traînée aérodynamique des athlètes en fauteuil d'athlétisme

en soufflerie [Miyazaki et al., 2020]. Pour cela ils ont mis au point un système de mesure de force utilisable en soufflerie placé directement sur les roues du fauteuil d'athlétisme.

Essai de terrain

Des essais sur le terrain permettraient de confronter la recherche théorique et expérimentale auprès de pratiquants en exercice. Par exemple, des tests avec différents gonflages et inclinaisons de roues effectués sur piste nous informeraient immédiatement du ressenti des athlètes, et permettraient des mesures en conditions réelles (variations météorologiques, variations de la condition physique des athlètes). Il serait également possible de leur faire tester des versions du fauteuil, avec une potence plus ou moins longue, pour avoir leurs retours sur la variation de leur stabilité. Cela compléterait les recherches précédentes, sans compter que les échanges avec des utilisateurs ou des professionnels du milieu permettraient d'élargir le champ de recherches et de donner une direction à la recherche en fonction des besoins prioritaires.

Banc de test du sportif

Pour pouvoir s'entraîner tout au long de l'année les sportifs utilisent des bancs d'essai. Or même les bancs les plus sophistiqués ne procurent pas les mêmes sensations que sur le terrain. Une étude de Vanlandewijck montre que le positionnement de l'athlète en fauteuil affecte sa performance, le tronc jouant un rôle dans la poussée de démarrage [Vanlandewijck et al., 2011]. Concevoir un banc d'essai optimal, reproduisant les sensations du terrain et permettant de suivre les performances individuelles, serait à envisager pour améliorer les résultats des sportifs. Ainsi nous avons conçu une balance six-axes, décrite en annexe 8, qui pourrait être une base de réflexion pour la conception d'un banc de test.



FIGURE 5.21 – Banc d'essai professionnel

Chapitre 6

Conclusion

6.1 Récapitulatif

Au travers de cette thèse nous retrouvons cinq chapitres en lien avec le handicap et le handisport. Une première partie, sociologique, traite de l'histoire du handicap et des regards de la société dans un premier chapitre, puis du transfert de la technologie sportive de pointe vers la personne en situation de handicap dans un second chapitre. La seconde partie, technique, est composée de trois chapitres : le premier concerne le fauteuil roulant et ses déclinaisons sportives. Le second chapitre zoome sur le fauteuil d'athlétisme. Le troisième chapitre décrit nos études sur la dissipation du fauteuil d'athlétisme. Pour terminer, trois annexes concluent ce travail.

Dans la partie sociologique, le premier chapitre traite de l'histoire du handicap et du handisport à travers les âges, et les différentes approches et philosophies du handicap selon les sociétés.

Les personnes en situation de handicap ont été tantôt vénérées, tantôt rejetées, et si le handicap ne laisse pas indifférent la société humaine, il a toujours isolé les individus du reste de la population. La philosophie évolutive des sociétés transparaît au travers des lois et de la prise en charge du handicap, notamment dans les domaines de l'éducation et de l'accessibilité, mais également dans l'appellation même des personnes en situation de handicap.

L'histoire du handisport a commencé pour sa part avec une volonté médicale de reconstruction des blessés de la seconde guerre mondiale. La mise en avant du handisport grâce aux Jeux Paralympiques est alors un moyen de mettre en valeur le handicap pour en changer l'image dans la société. La sportivisation du mouvement et les développements technologiques ont considérablement réduit l'écart entre les performances des valides et les performances des handi-athlètes. De nos jours, les athlètes en fauteuil effectuent le 100 m en moins de 14 secondes, contre moins de 10 secondes pour les valides. La proximité des résultats entre athlètes valides et certaines catégories d'athlètes en situation de handicap pourrait, d'ici une

décennie, remettre en cause la séparation de ces deux mondes sportifs.

Le deuxième chapitre détaille dans une première partie les bienfaits d'une pratique sportive chez les personnes en situation de handicap, qui prévient des maladies secondaires (maladies cardio-vasculaires, obésité, escarres) et améliore la reconstruction psychologique pour un handicap acquis.

La réalisation par et avec leur handicap dans le sport développe la résilience des individus, il donne du sens à leur handicap. La pratique de sport à haut niveau valorise leur capacités fonctionnelles et leur apporte une reconnaissance et une réussite sociale, faisant de leur handicap un merveilleux malheur. La compétition est néanmoins source de douleurs physiques et de troubles psychologiques. De plus, les personnes en situation de handicap éprouvent des difficultés à pratiquer une activité physique régulière. Par exemple, les personnes à mobilité réduite souhaitant faire du sport ont un accès limité aux équipements, aux programmes sportifs et aux différents services des établissements sportifs [Rimmer et al., 2017]. L'handiphobie s'ajoute aux discriminations géographiques (peu d'aménagements urbains et de zones de pratiques) et financières (matériel adapté, spécialistes compétents), le handicap étant majoritairement techno-dépendant.

Face à ces multiples obstacles, la seconde partie de ce chapitre présente les méthodes pour faciliter le transfert de la technologie sportive de pointe vers les personnes en situation de handicap. Une réflexion sur la pratique sportive de haut niveau et sur le physio-gaming complète ce chapitre.

Les partenaires majoritaires de l'innovation au service du handicap sont les entreprises, l'État, les associations et les médias. Les entreprises cherchent des solutions techniques innovantes rentables pour les besoins du handisport. Pour gagner en efficacité, leur réflexion sur le handicap doit se faire avec les personnes concernées, qui vont alors soutenir et amplifier l'aura du produit. L'État favorise pour sa part les interactions autour du handicap. Il lutte contre les discriminations liées au handicap au travers de lois (sport sur ordonnance, lois d'accessibilité) et en valorisant l'image du handicap nationalement et internationalement. L'État engage des politiques de développement pour rendre accessible son savoir-faire technologique (aides financières, labels, formations diplômantes). Les associations, quant-à elles, forment un réseau qui milite et utilise ses moyens (matériel, locaux, bénévoles, expertise) pour favoriser et promouvoir l'accès des personnes en situation de handicap à la pratique sportive. Les associations organisent des événements pour faire évoluer le regard sur le handicap, elles offrent des espaces inclusifs apportant du soutien psychologique sur le handicap. Enfin, les médias influent sur les représentations du handicap et popularisent la pratique handi-sportive en créant des stars handi-sportives de haut niveau. La gain médiatique est nécessaire pour agir en faveur des personnes en situation de handicap, il a pris de l'ampleur avec les réseaux sociaux, toutefois les enjeux médiatiques développent des comportements néfastes au bien-être des athlètes. Des actions communes et une coordination entre les diffé-

rents acteurs, comme des journées de sensibilisation au handisport, augmentent l'efficacité du transfert technologique, et améliorent les conditions sociales et matérielles des handi-athlètes.

Le handi-sport offre une représentation de la diversité des capacités fonctionnelles humaines et de leur complémentarité. L'équilibre est à trouver entre le sport santé et le sport-spectacle compétitif, entre le bien et le mieux. Le sport de haut niveau est une arène visibilisant au maximum le handisport, mais mettant à l'épreuve la santé des compétiteurs (sur-entraînement, dopage à risque). Le dopage chimique est réprimandé ou utilisé par les institutions pour conserver l'incertitude du résultat, tandis que le dopage technologique est encouragé. Les performances de l'être humain « augmenté » étant de plus en plus proches de celles des valides, les catégories fonctionnelles pourraient être repensées, avec des handisportifs et des valides concourant ensemble aux prochaines Olympiades. Comme Paris accueille les Jeux Paralympiques 2024, la France souhaite mettre en avant son progressisme en matière d'inclusion du Handicap. Une réflexion sur l'inclusion du handicap dans la société et dans la pratique sportive se cumule à une approche pratique sur l'accessibilité. L'échelle d'action semble pour l'instant focalisée sur la capitale, avec des initiatives périodiques locales encore timides (mois du handicap, semaine Olympique et Paralympique).

Un moyen ludique d'étendre l'accès à la pratique sportive auprès des personnes en situation de handicap est le physio-gaming. Pratiqué majoritairement à domicile, il présente des avantages en terme de coûts et de logistique. L'utilisation de jeux vidéos maintient le lien social par des pratiques de jeux en réseau, et l'ajout de réalité virtuelle favorise la stimulation sensori-motrice. Une balance multi-axes permettrait le suivi des progrès et la correction des postures en temps réel, avec de nombreuses possibilités à explorer. La technologie apporte une nouvelle dynamique dans l'accessibilité au sport et déstigmatise le handicap.

Dans la partie technique, le premier chapitre détaille l'évolution du fauteuil roulant à travers les âges.

Cet outil, initialement symbole de luxe, s'est progressivement démocratisé vers un usage pratique grâce à ses évolutions techniques et la diminution de son coût. D'abord outil médical utilisé en intérieur, le fauteuil s'adapte à l'extérieur et gagne en visibilité. Le fauteuil devient un prolongement de son utilisateur, qui souhaite se distinguer et personnalise son fauteuil selon ses goûts. Puis, avec le développement du handi-sport et l'arrivée des compétitions, le fauteuil gagne en spécificité selon les épreuves sportives. Par exemple, le rugby-fauteuil nécessite un fauteuil lourd protégeant de chocs brutaux. Le fauteuil du handi-basket doit avant tout être maniable, avec quelques protections lors des contacts, tandis que celui du tennis doit être maniable mais surtout léger pour gagner en vitesse. Le fauteuil d'athlétisme est pour sa part taillé pour la vitesse et la stabilité.

Nous nous sommes particulièrement intéressés dans le second chapitre au fauteuil d'ath-

létisme.

L'évolution temporelle des performances de marathon en fauteuil est très techno-dépendant. En 60 ans, le record est passé de 5h20min en 1960 à 1h18min25s en 2012. Les évolutions majeures du fauteuil d'athlétisme ont été son allègement avec le développement de matériaux légers et résistants, son allongement aérodynamique, et son gain en stabilité avec le passage à trois roues. Le fauteuil de compétition est désormais spécialement conçu selon la morphologie de chaque athlète. Nous rappelons dans ce chapitre le règlement encadrant une course d'athlétisme, et décrivons le fauteuil de course actuel. Ce fauteuil peut gagner en aérodynamisme comme en propulsion, et il peut limiter sa résistance au roulement.

Un troisième chapitre vise à améliorer les performances des athlètes en minimisant la résistance au roulement du fauteuil d'athlétisme.

Nous avons étudié théoriquement la géométrie du fauteuil d'athlétisme. Nos recherches nous ont permis de déterminer le défaut de parallélisme des roues arrière induit par un virage au fauteuil d'athlétisme. Nous avons constaté que ce défaut est négligeable, la variation d'angle induite dans un exemple de fauteuil standard étant de l'ordre de 10^{-4}° .

Nous avons ensuite effectué des expériences sur la résistance au roulement du pneumatique. Dans une première série d'expériences, nous avons étudié les caractéristiques de freinage d'une roue de fauteuil d'athlétisme. Nous avons constaté que les frottements fluides et solides participent au freinage de la roue au niveau du moyeu lors d'une course d'athlétisme. Les frottements solides sont toutefois bien moindres que les frottements fluides à grande vitesse, avec une transition à 5 Km/s. En effet, avec une dissipation périphérique estimée à 0,14 N pour les frottements fluides contre $3,68 \cdot 10^{-3}$ N pour les frottements solides, le frottement du moyeu est cent fois inférieur au couple du pneumatique lors d'une compétition. Nous avons ensuite étudié expérimentalement la résistance au roulement d'un pneumatique de fauteuil d'athlétisme, sur sol dur et sur sol souple, en faisant varier différentes configurations de la roue arrière (vitesse, carrossage, gonflage, alignement, alignement avec carrossage). Le désalignement de la roue par rapport au sol multiplie la dissipation de la roue par 18 sur sol dur, et par 4 sur sol souple, pour 1° d'écart à l'alignement idéal. De même, la perte de pression des pneumatiques sur sol dur augmente, de 50 % sur sol dur et de 20 % sur sol souple, la dissipation du pneumatique pour la perte d'un bar de pression dans les pneumatiques. Le désalignement d'une roue carrossée de 20° multiplie la force qui s'oppose au mouvement par 2 sur sol dur, et par 1,22 sur sol souple pour 1° d'écart à l'alignement idéal (0°). Le minimum de la force produite est multiplié par 9 sur sol dur, et par 5,6 sur sol souple par rapport à une roue non-carrossée. Le carrossage d'une roue entre 0° et 24° augmente la résistance au roulement qui, pour un carrossage de 12° , est multiplié par 5 sur sol dur, et par 6 sur sol souple par rapport à un carrossage optimal de 0° . À l'inverse, la dissipation n'est pas impactée par la vitesse entre 0 et 9 Km/h, ni sur sol dur ni sur sol souple. Des perspectives de notre travail sont proposées à la fin de ce chapitre.

À ces travaux s'ajoute quelques annexes.

La première annexe présente les prototypes de montages et les résultats de calibration du capteur de 200 Kg utilisé lors de nos expériences de résistance au roulement du pneumatique.

La seconde annexe concerne notre prototype de balance multi-axes, un outil développé dans le but de s'entraîner professionnellement pour améliorer ses performances sportives, ou ludiquement depuis chez soi.

La balance permet un suivi des progrès physiques d'un individu lors d'un entraînement en mesurant les forces et les moments exercés par un (ou plusieurs) individu(s) dans trois directions différentes. Nous pouvons ainsi suivre les déplacements verticaux, latéraux, et les mouvements de rotation d'un individu. La balance nous donne des résultats en temps réel, elle est mobile et très précise. Après une description de son principe de fonctionnement et du montage, nous présentons deux applications pratiques de notre balance. Nous avons ainsi cherché à comprendre la bio-mécanique de la prise d'impulsion d'un plongeur. Puis, en créant deux plateformes sur la balance, nous avons étudié la technique de frappe du tai-chi en la comparant à une poussée mécanique basique. Selon ses usages, la balance peut être utilisée telle quelle, ou elle nécessite un travail de développement. Comme perspectives, nous insistons sur son potentiel en physio-gaming et pour l'entraînement de sportifs de haut niveau.

La troisième annexe introduit la récupération musculaire des paralysés moteurs par stimulation électrique fonctionnelle.

La pratique de sport à électrostimulation permet de recréer un mouvement de pédalage par mobilité des membres muscles sous lésionnels de blessés médullaires via des électrodes de surfaces. Nous présentons ici le principe, le protocole, et les méthodes de mesures de notre étude des effets physiologiques, psychologiques, et psycho-sociaux de la pratique de vélo à stimulation électrique fonctionnelle. L'un des principaux objectifs est d'optimiser le pédalage et de développer de nouveaux protocoles de stimulation électrique pour surmonter la fatigue musculaire rapide. L'histoire de l'électrothérapie est brièvement rappelée, et nous présentons ses usages actuels en soins hospitaliers avec la neurostimulation transcutanée électrique (TENS) face aux douleurs névralgiques. L'électrothérapie est également utilisée pour le renforcement musculaire avec l'électro-myostimulation (EMS), ou pour recréer une fonction en stimulant des membres paralysés avec la Stimulation Électrique Fonctionnelle (SEF). Les différences de fonctionnements entre TENS et SEF sont expliquées. De plus, nous mettons en avant le rôle et l'importance historique du Comité de Protection des Personnes (CPP) dans la protection des sujets d'expérimentation. Leur objectif est de s'assurer que le travail de recherche minimisait au maximum les risques pour la santé des individus. Nous présentons également une réflexion sur les limites du décret de sport sur ordonnance,

concernant son application en électrostimulation. L'utilisation de l'électrostimulation dans un but récréatif était alors légale, alors que son usage thérapeutique sur des personnes atteintes de maladies chroniques était strictement encadré.

6.2 Perspectives

Concernant notre travail sur la partie expérimentale, nous sommes satisfaits de notre dispositif car il est facile d'utilisation, une personne seule pouvant effectuer les expériences, et il nous permet d'effectuer des mesures précises. Le montage est démontable et transformable facilement. Toutefois, notre dispositif est peu mobile, il nécessite des accroches solides en hauteur, et il a présenté trop d'instabilités pour mesurer la force fournie par la roue en équilibre. Le système de fourche devrait être repensé.

Afin de prolonger notre travail, il serait nécessaire de refaire des mesures avec une représentation précise de la masse d'un athlète, qui est plus proche des 40 Kg donc des 400 N. De plus, nous proposons d'effectuer nos expériences de carrossages, de vitesse et d'alignement du fauteuil d'athlétisme sur un sol souple au module d'Young encore plus proche du tartan [®] pour étudier la conséquence de cette contrainte imposée par la piste d'athlétisme. Nous proposons également d'autres approches pour améliorer l'aérodynamisme du fauteuil d'athlétisme allant des essais de terrain à l'utilisation d'une maquette miniature du fauteuil d'athlétisme en soufflerie pour étudier l'aérodynamisme, ou encore la création d'un banc de test pour sportifs.

Par ailleurs, il est essentiel d'impliquer les athlètes comme acteurs de la recherche et non uniquement comme sujets de recherche [Bundon et al., 2017]. La collaboration entre pratiquants sportifs et laboratoires permet une identification des problèmes de matériaux rencontrés depuis le terrain et l'aide de la science pour les résoudre. Dans le cas du handisport, les résultats sont liés aux évolutions technologiques et doivent être adaptées à chaque athlète.

D'un autre côté, il est nécessaire de promouvoir l'accès à la pratique sportive par tous les moyens possibles. Pour favoriser l'accès à une pratique sportive régulière tout en stimulant l'individu, des dispositifs de type plateforme de sport connectée pourraient être développées. Une balance multi-axes comme celle que nous avons développée permet par exemple à un individu de jouer à réapprivoiser son corps. Combinée à un jeu vidéo de type physio-gaming, notre balance est un moyen ludique de faire de l'exercice physique. Les jeux vidéos actifs, où l'individu incarne le personnage en action, est une porte d'accès à l'activité physique [Rowland et al., 2016]. La réhabilitation par le jeu apporte des bienfaits physiologiques, psychologiques, et psychosociaux [Deutsch et al., 2011]. Pour les sportifs de haut niveau, ce genre d'outils pourrait s'intégrer à un banc d'essai. En effet, grâce à la mobilité de la balance

six-axes nous pourrions effectuer un suivi des performances de l'athlète en soufflerie où nous pourrions reproduire certaines conditions météorologiques. De plus, équiper l'athlète d'un casque à réalité virtuelle lui donnerait des sensations plus vive lors de ces entraînements, activerait ces neurones-miroirs, et maximiserait son potentiel d'apprentissage.

Chapitre 7

Annexe A - Montage

Cette annexe contient les différents prototypes utilisés pour notre expérience de mesure de la résistance au roulement d'un pneumatique. Elle contient également la calibration du capteur de 200 Kg utilisé lors de ces expériences.

7.1 Prototypes

La dissipation dans le pneumatique va dominer tout le problème. Ainsi, sur notre premier prototype expérimental *I*, la roue était tenue par une chasse. À l'image d'une chasse de vélo se réalignant par le cycliste avec le guidon ou en fonction la roue avant, la chasse sert à réaligner dans l'axe par rapport au sol la roue lorsqu'elle est en mouvement : La roue se place naturellement dans la configuration limitant ses frottements avec le sol défilant, ici un cylindre métallique large entraîné par un moteur avec une courroie.

7.1.1 Prototype I

Le prototype *I* place l'axe de la chasse à l'avant du point central de la roue qui se réaligne naturellement avec la vitesse. La chasse doit néanmoins être précisément alignée avec la roue à l'arrêt. Autrement, la roue essaie de se réaligner avec une chasse désaxée, et une instabilité amplifiée par la vitesse apparaît ce qui augmente les forces de frottement (Fig. 7.2).

Nous pouvions également sur ce prototype faire coulisser la chasse en hauteur sur son axe pour augmenter la surface de contact entre le pneumatique et le sol, et ce afin de représenter la masse exercée par un sportif. Une caméra placée perpendiculairement à la roue permettait de mesurer l'écrasement du pneumatique. Cette méthode s'est toutefois révélée peu efficace, les variations de l'écrasement étant faibles.

Sur ce prototype nous utilisions un capteur de force de 200 Kg, qui bien qu'il ne soit pas dans la gamme de calibration optimale pour nos mesures, présentait une certaine sécurité pour notre expérience vu la fragilité des capteurs de la gamme 1 Kg.

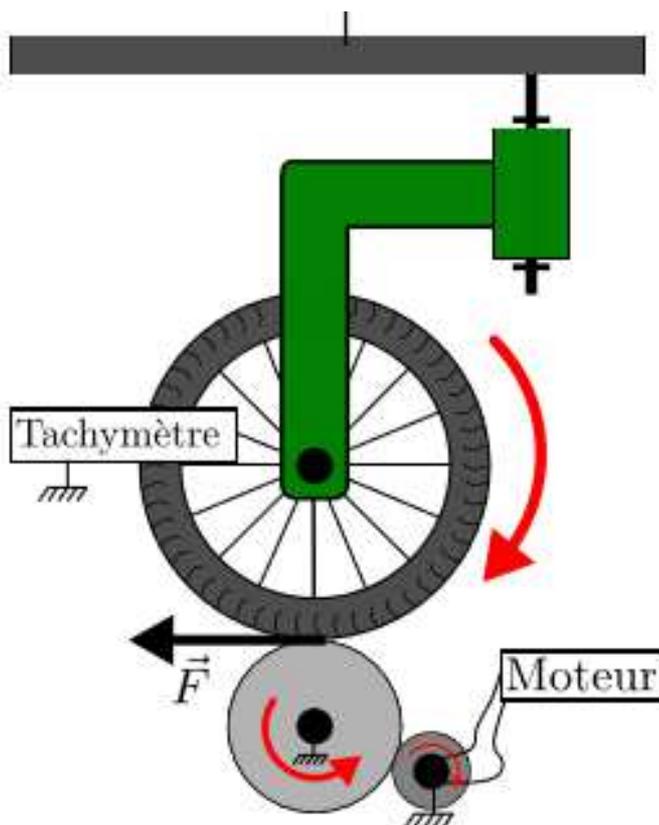


FIGURE 7.1 – Prototype *I* avec chasse vue de profil.

Ce prototype permet à la roue de se réaligner naturellement sur le sol défilant grâce à la chasse. Descendre la chasse sur son axe permet d'écraser le pneumatique et de mimer la présence d'un cycliste.

Le prototype expérimental *I* servira uniquement lors d'une première expérience de mesure de la résistance au roulement selon l'alignement de la roue.

7.1.2 Prototype II

Nous avons par la suite conçu un prototype *II* en conservant le système de chasse de notre prototype *I*. Nous avons placé la roue sur son support d'entraînement définitif (A) (Fig. 7.3). La roue était maintenue à l'équilibre par une large fourche de vélo en aluminium usinée par nos soins. La résistance au roulement était mesurée par le système de pivots décrits dans le support de la roue (B) (Fig. 7.3). À noter que ce système était installé sur un bras de la fourche, et que la roue était maintenue perpendiculaire à la fourche.

Le point central de la fourche était placé à l'aplomb du disque en MDF. La fourche était fixée directement à la chasse, ce qui obligeait à équilibrer le système par rapport à son axe

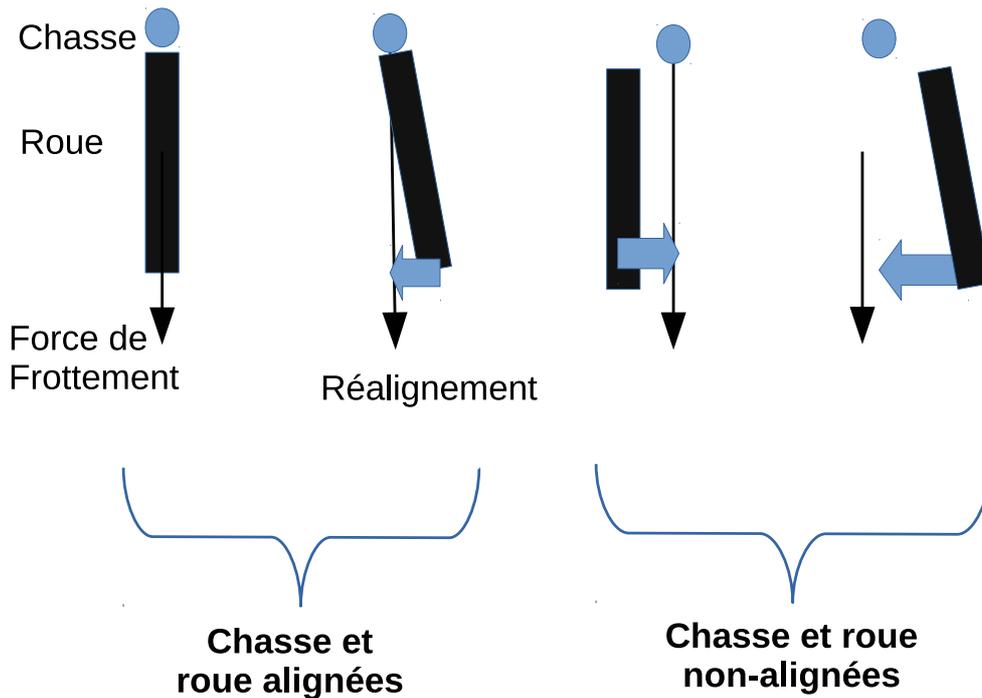


FIGURE 7.2 – Schéma du principe de la chasse, vue aérienne.

La roue se réaligne automatiquement avec la chasse. Si la roue et la chasse ne sont pas alignées, il y a un réalignment constant causant un déséquilibre.

de rotation en hauteur z . Nous pouvons toujours choisir la hauteur z de notre système pour simuler l'écrasement du pneu par la masse de l'athlète. La présence d'une fourche nous permettrait également d'équilibrer notre système sur les axes x et y , représentant respectivement l'axe droite-gauche et l'axe avant-arrière par rapport au point central de l'axe de rotation. Nous vérifions alors cet état d'équilibre en y et en x avec un fil à plomb : La roue ne doit pas pivoter sur son axe pour trouver sa configuration standard, telle une porte qui pend sur ses gonds.

Nous avons dû repenser notre dispositif expérimental car la fourche rendait notre système trop instable pour obtenir des résultats reproductibles. Le nombre de degré de liberté provoquait trop de vibrations qui amenait du jeu dans les pièces et des problèmes d'alignements. À noter que nous devons systématiquement vérifier avec un niveau que le disque soit bien replacé perpendiculairement par rapport au sol pour que sa tranche soit bien parallèle au sol afin d'éviter l'effet schimmy. L'effet schimmy tient son nom d'une danse gesticulante des états-unis de la fin du XIXe siècle et correspond à une oscillation de grande amplitude et très rapide de la roue de autour de son pivot au-dessus d'une certaine vitesse, qui apparaît lorsqu'un pneumatique adhère dissymétriquement au sol ou quand un jeu existe dans les articulations du montage. Cet effet est souvent présent au niveau de la roue avant des avions lors de l'atterrissage ou au niveau d'une roue de caddie de supermarché chargé et poussé

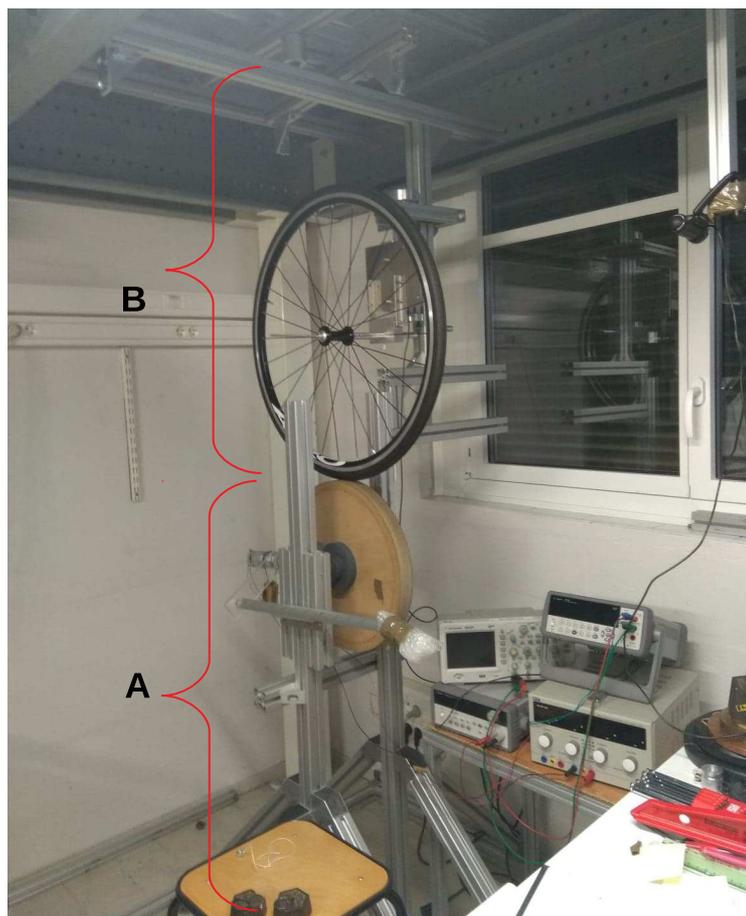


FIGURE 7.3 – Dispositif expérimental et appareils de mesure.

La partie A du montage correspond au support d'entraînement, et la partie B au support de la roue.

rapidement.

À défaut d'avoir réussi à palier à ce problème, nous avons simplifié notre montage et remplacé la fourche par un axe solide fixé au sol et en hauteur. Nous avons réaligné le disque en MDF pour qu'il soit bien perpendiculaire au sol. Nous avons également monté un système de barre d'appuis pour maintenir la roue alignée avec le disque.

Ce prototype *II* nous a servi pour une première expérience de résistance au roulement selon la vitesse de la roue.

7.1.3 Prototype III

Le prototype *III* a donc été dépourvu de fourche et de chasse. La modification du dispositif expérimental a allégé la masse reposant sur la roue que nous estimons être passé de 10 Kg à 1,4 Kg. Nous avons par la suite constaté une erreur de principe sur notre nouveau

montage (Fig. 7.4) : le bras articulé qui tenait solidement la roue était parallèle à l'axe de rotation (ou pivot). Or cette conception place la roue en dérapage constant par rapport au pivot. Nous avons donc modifié le montage pour que le pivot tienne directement la roue. Nous avons également modifié le lien souple entre le pivot tenant la roue et le capteur pour gagner en précision dans le réglage de l'alignement de la roue. Les aimants ont été remplacés par un système de vis.

Ce prototype *III* nous a permis de recueillir des données d'une première expérience de

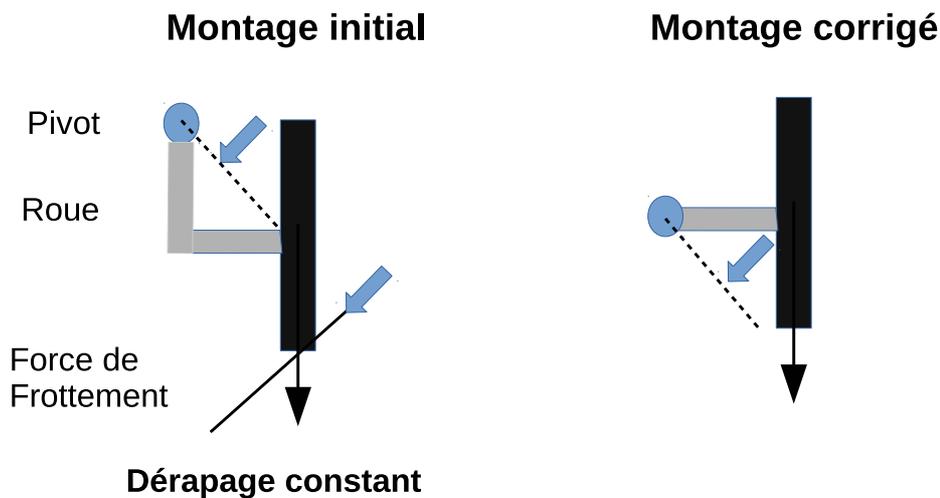


FIGURE 7.4 – Erreur de principe du nouveau montage, vue aérienne

Dans notre montage initial la roue dérape en permanence car elle est déportée par rapport au pivot, ce qui a été corrigé dans le montage suivant.

pression. Notre montage final *IV* (Fig. 5.12) a quant-à lui servi pour toutes les données expérimentales présentées dans ce manuscrit. Cela comprend donc des expériences sur la résistance au roulement en fonction de de la vitesse, de la pression, de l'alignement, de l'alignement avec carrossage, et de carrossage de la roue.

En résumé, le prototype *I*, avec chasse et un lien souple composé d'aimants, a servi à recueillir des données d'alignement dans un premier temps. Le prototype *II*, avec sa fourche, a permis d'obtenir un premier jeu de données de vitesse. Le prototype *III*, sans fourche ni chasse, nous a fourni les premières données de pression. Le montage final *IV*, avec un lien souple désormais composé de vis, est l'unique montage qui nous a donné nos résultats expérimentaux (vitesse, pression, alignement, alignement avec carrossage, carrossage) présentés ici.

7.2 Calibration du capteur

Afin de calibrer le capteur de 200 Kg, nous avons placé sur le capteur différentes masses connues, ce qui nous permet d'obtenir le tracé la tension en fonction de la masse (Fig. 7.5). Le coefficient de la droite nous donne le coefficient d'un capteur de 200 Kg, soit environ 5000 g/V ou 5 Kg/V, ce qui correspond à 50 N/V. Le coefficient du capteur de 20 Kg que nous utilisons, identique au capteur de 200 Kg, est donc de 5 N/V.

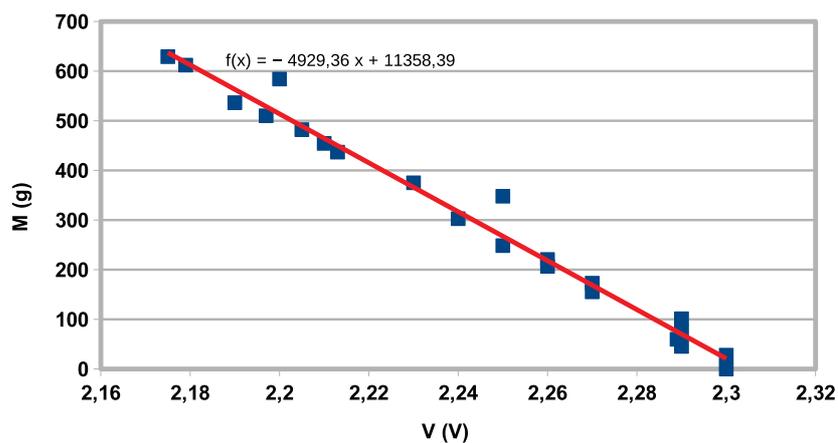


FIGURE 7.5 – Courbe de calibration du capteur de 200 Kg.

Placer des masses connues et mesurer la tension du capteur nous permet d'obtenir le coefficient de la droite pour un capteur de 200 Kg.

Chapitre 8

Annexe B - La balance 6 axes

8.1 Introduction

Une pratique sportive régulière procure à ses adeptes des bienfaits sur la santé physique, psychique, et psycho-sociale. Du sportif le plus débutant au plus confirmé, leur objectif commun est de s'améliorer dans leur pratique tout en gardant leur motivation primaire. Or les personnes en situation de handicap éprouvent des difficultés physiques et/ou sociales à effectuer une pratique sportive régulière. Elles ont du mal à se rendre ou à trouver des lieux dédiés au sport adapté. Pourtant il est nécessaire de pratiquer une activité physique pour se maintenir en bonne santé, particulièrement lorsque le handicap entraîne l'apparition de maladies secondaires (escarres, troubles cardio-vasculaires, obésité).

Nous cherchons à stimuler les personnes en situation de handicap pour qu'elles aient une pratique physique régulière. Pour cela nous avons construit un prototype simple et ludique qui une fois abouti permettrait d'effectuer du sport chez soi. Ce dispositif stimulant peut servir aux personnes valides comme aux personnes en situation de handicap. À l'image de la plateforme de la console *Wii*, notre dispositif devrait permettre aux pratiquants d'effectuer du sport de manière ludique et de suivre l'évolution de leurs progrès. Ce dispositif pourrait également être utilisé auprès des athlètes de haut niveau dans le suivi et l'amélioration des performances. Par exemple, dans le cas de l'athlétisme fauteuil, notre dispositif pourrait être utilisé en complément d'un banc d'essai pour suivre l'équilibre de l'individu dans sa course et sa symbiose avec son équipement. Ainsi, il serait possible à l'athlète de tester différentes techniques de boxage de la roue, ou encore d'étudier l'impact des modifications apportées à ces outils de compétitions (main courante, roues, gants). Autre exemple, ce dispositif peut-être utilisé dans le cadre d'arts martiaux comme le tai-chi afin d'étudier les différentes techniques de poussées physiques d'un individu sur l'autre.



FIGURE 8.1 – **Deux athlètes, deux handicaps, deux fauteuils d’athlétisme.**

Frédéric Dubowjy et Sagio Lubanzadio au départ du 21 Km de la course *Run In 2 Mure* le 15 septembre 2019, entre Saint Laurent de Mure et Saint bonnet de Mure. Tous deux ont terminé en 1 h 19 min avec une vitesse moyenne de 15,9 Km/h.

8.2 Objectif

Pour suivre et encourager leurs progrès lors de leur pratique d’activité physique, les sportifs souhaitent connaître la force qu’ils exercent, leur cadence, ou encore leur équilibre (Fig. 8.1). Nous avons donc conçu un dispositif technique, une balance 6 axes, qui permet de suivre les progrès physiques d’un individu présent sur la balance lors d’un entraînement. Cette balance nous permet de mesurer les forces et les moments exercés par un (ou plusieurs) individu(s) dans les trois directions d’espace. Nous pouvons ainsi suivre les déplacements verticaux, latéraux, et les mouvements de rotation d’un individu. Notre balance peut être utilisée pour suivre l’évolution individuelle des performances des athlètes dans leur discipline sportive, mais elle peut également servir à étudier les déplacements des individus dans différents sports. Par exemple, nous pouvons étudier les techniques de frappes utilisées dans les sports de combat comme le tai-chi, ou encore comprendre la méthode de prise d’impulsion d’un plongeur.

Notre balance possède des avantages intéressants pour étudier le sport chez les personnes en situation de handicap moteur. En effet, la balance permet d’optimiser le positionnement et la technique de chaque handi-sportif en fonction de leurs outils de compétition afin d’améliorer leurs facultés physiques. L’utilisation de la balance ne nécessite pas de démarches longues ou spécifiques, comme le déplacement jusqu’à un laboratoire ou le port d’une tenue en réalité virtuelle qui peut être compliquée à enfiler selon la pathologie de l’athlète. La ba-

lance est mobile, donc il est possible de l'installer directement chez l'athlète qui pourra alors pratiquer à volonté, et de recueillir les données à distance. Un des atouts de notre balance est, aussi, son côté ludique qui peut autant inciter les personnes valides qu'en situation de handicap moteur à pratiquer une activité sportive.

8.3 Principe

8.3.1 Principe général

Un individu debout, immobile, exerce constamment son poids $\vec{P} = m\vec{g}$ sur le sol. La réaction du support \vec{R} s'oppose à son poids \vec{P} . Or lorsque l'individu est en mouvement, l'accélération de son centre de masse G est le résultat des contributions du poids \vec{P} et de la réaction \vec{R} :

$$m \frac{d\vec{v}_G}{dt} = \vec{R} + m\vec{g} \quad (8.1)$$

Le principe général de nos expériences sera de mesurer la réaction \vec{R} afin d'obtenir des informations sur la dynamique. Un principe équivalent sera mis à profit pour déterminer les moments, c'est à dire les efforts en rotation.

8.3.2 Principe de mesure selon la verticale

Nous voulons connaître la réaction \vec{R} du support lorsqu'un individu se déplace sur la balance. Lorsqu'un individu est immobile, la réaction du support \vec{R} s'oppose au poids de l'individu \vec{P} . Cette réaction du support est détectée par des capteurs de force verticaux placés sous le plateau de la balance (Fig. 8.2). De plus, si l'individu est excentré sur la planche, les capteurs ne seront pas soumis à la même force, et ne délivreront donc pas le même signal électrique. Suivre les réactions des capteurs verticaux permet donc de déduire la position de l'individu dans le plan horizontal.

Soit O le centre de la planche reposant sur les capteurs V_1 et V_2 . Soit \vec{P} le poids de la masse M , et \vec{F}_1 et \vec{F}_2 les forces exercées respectivement en P_1 et P_2 . La distance OM est appelée x , et la distance $L = OP_1 = OP_2$. L'équilibre des forces appliquées à la planche (Fig. 8.2) s'écrit :

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + m\vec{g} = \vec{0} \quad (8.2)$$

De même, l'équilibre des moments s'écrit :

$$\vec{\mathcal{M}} = \overrightarrow{OP_1} \wedge \vec{F}_1 + \overrightarrow{OP_2} \wedge \vec{F}_2 + \overrightarrow{OM} \wedge \vec{P} = \vec{0} \quad (8.3)$$

En projection sur \vec{y} , nous obtenons :

$$-LF_1 + LF_2 - xmg = 0 \quad (8.4)$$

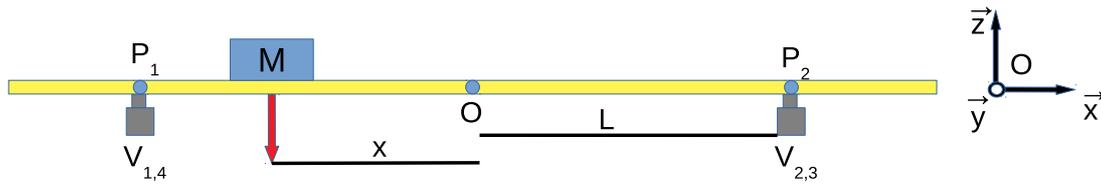


FIGURE 8.2 – Schéma de principe vertical

Une planche de centre O repose sur deux capteurs de force, V_1 et V_2 . Le poids \vec{P} d'un individu ou d'un objet présent sur la planche fait varier la tension délivrée par les capteurs V_1 et V_2 . La variation de la position de cette masse sur la planche agit sur la tension des capteurs, permettant ainsi de la localiser sur la planche. Les capteurs mesurent également les variations de l'accélération du centre de masse d'un individu selon la verticale.

$$\frac{x}{L} = \frac{F_2 - F_1}{mg} \quad (8.5)$$

Or l'équilibre des forces donne $F_1 + F_2 = mg$. En conséquence :

$$\frac{x}{L} = 1 - \frac{2F_1}{mg} \quad (8.6)$$

Nous pouvons à la fois obtenir le poids $m\vec{g}$ et la position de l'individu sur l'axe (Ox) .

Nous pouvons donc considérer ce principe pour une planche carrée reposant sur 4 capteurs verticaux (Fig. 8.3). Notre dispositif comprend une surface carrée portée par quatre capteurs verticaux V_1 , V_2 , V_3 , et V_4 , répartis aux quatre coins du système à une distance $a\sqrt{2}$ du centre O , tel que O est à une distance a de la droite V_1V_2 . Ces capteurs nous permettent de mesurer la force de réaction du support \vec{R} . Grâce à eux, nous pouvons obtenir la position du centre de masse G d'un individu au repos dans le plan (x,y) .

8.3.2.1 Forces selon l'axe (Oz)

Un individu exerce une force \vec{F} qui s'ajoute à son poids P selon la verticale. Pour mesurer uniquement \vec{F} , on peut effectuer une tare, avec l'individu sur la planche, ce qui permet de soustraire non seulement son poids mais aussi celui de la planche elle-même. Ensuite, nous suivons la force mesurée par les capteurs verticaux. Soit \vec{F}_1 , \vec{F}_2 , \vec{F}_3 , et \vec{F}_4 les forces exercées respectivement sur les capteurs verticaux V_1 , V_2 , V_3 , et V_4 . Nous avons, en supposant que la planche reste immobile :

$$\vec{F} = -(\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \vec{F}_4) \quad (8.7)$$

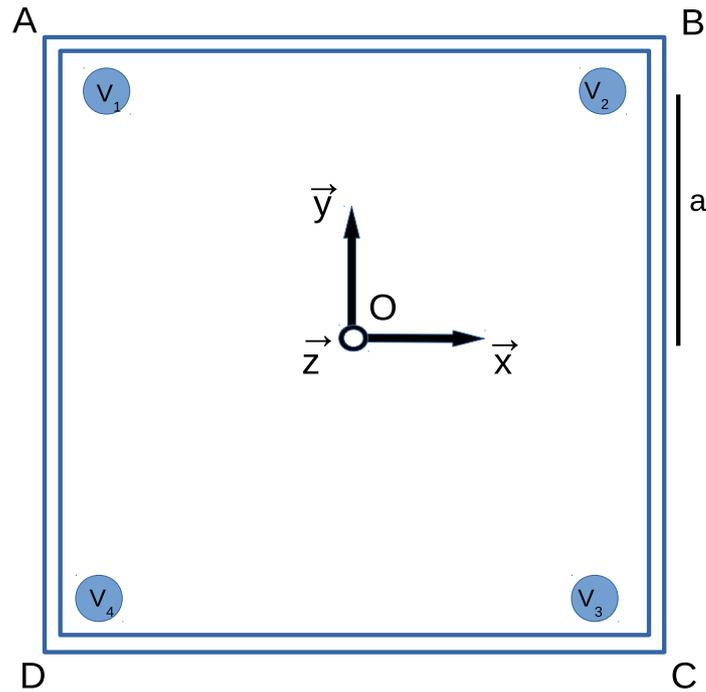


FIGURE 8.3 – Principe de mesures verticales

Une planche repose sur quatre capteurs qui nous donnent la force F_z et les moments M_x et M_y exercés sur la planche.

8.3.2.2 Moments des forces autour des axes (Ox) et (Oy)

En prenant en compte l'orientation des axes et la distance a des capteurs aux axes, les moments autour des axes (Ox) et (Oy) s'écrivent simplement :

$$\vec{M}_x = a(F_1 + F_2 - F_3 - F_4)\vec{x} \quad (8.8)$$

$$\vec{M}_y = a(F_1 + F_4 - F_2 - F_3)\vec{y} \quad (8.9)$$

8.3.2.3 Position du centre de masse

Les valeurs données par les capteurs verticaux permettant aussi d'obtenir la position du centre de masse dans le plan horizontal de l'individu au repos.

$$x = a \frac{F_1 - F_2 - F_3 + F_4}{F} \quad (8.10)$$

Et d'après l'équation (8.9) :

$$y = a \frac{-F_1 - F_2 + F_3 + F_4}{F} \quad (8.11)$$

8.3.3 Forces dans le plan

Afin de mesurer les efforts dans le plan, la balance est équipée de quatre capteurs supplémentaires qui mesurent les forces dans deux directions horizontales (Fig. 8.4). Nous verrons que ces capteurs permettent aussi de mesurer le moment des forces autour de l'axe vertical (Oz). Nous mesurons les moments produits par un individu autour de la verticale \vec{z} , ainsi que la force \vec{F} produite dans le plan.

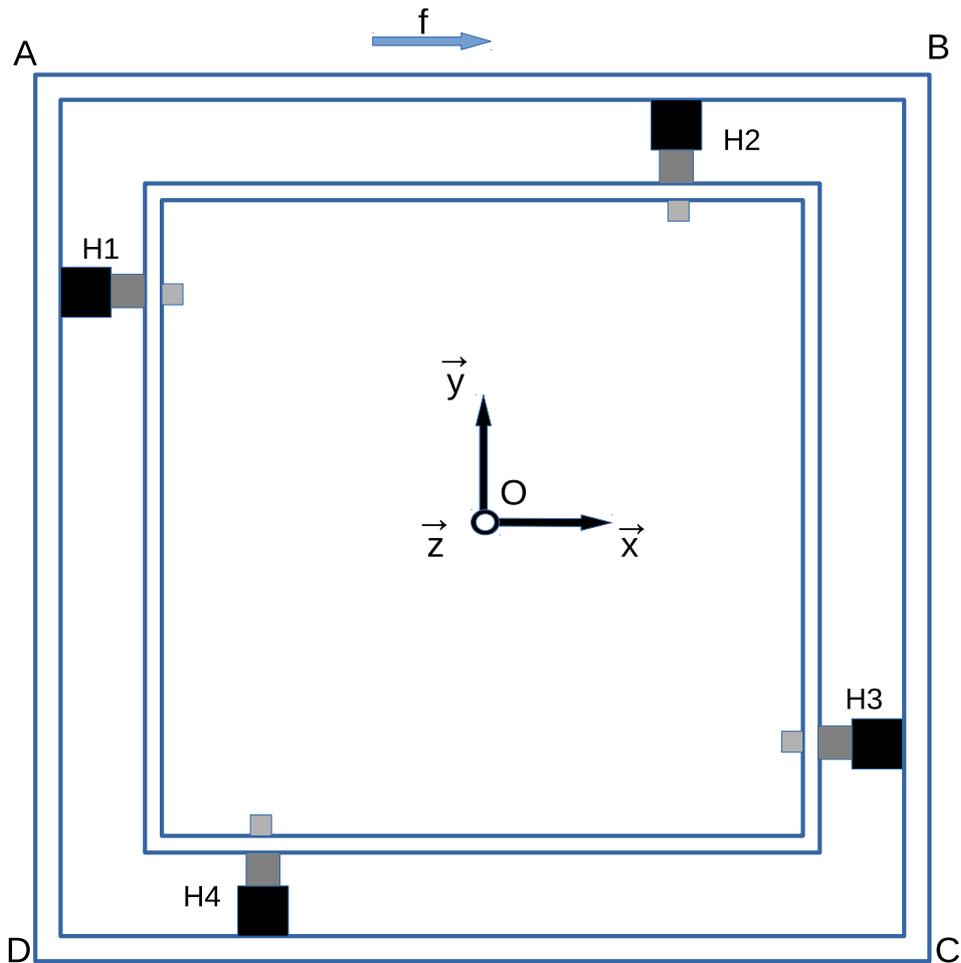


FIGURE 8.4 – Schéma de principe horizontal

Les capteurs de compression-dilatation nous donnent les forces en \vec{x} et en \vec{y} exercées par un individu A sur la planche, ainsi que les moments en \vec{z} .

8.3.3.1 Forces selon les axes (O_x) et (O_y)

Soit \vec{H}_1 , \vec{H}_2 , \vec{H}_3 , et \vec{H}_4 les forces exercées sur les capteurs horizontaux du même nom. Soit \vec{F} la force exercée sur la planche. L'équilibre des forces appliquées à la planche donne :

$$\vec{F} + \vec{H}_1 + \vec{H}_2 + \vec{H}_3 + \vec{H}_4 = \vec{0} \quad (8.12)$$

En projection sur les axes (O_x) et (O_y) , nous obtenons :

$$F_x = -(H_1 - H_3) \quad (8.13)$$

$$F_y = -(H_2 + H_4) \quad (8.14)$$

Nous obtenons la force exercée par un individu en \vec{x} et en \vec{y} .

8.3.3.2 Moments autour de l'axe (Oz)

Soit b la distance entre O et la projection orthogonale des capteurs de compression-dilatation (Fig. 8.5). En traduisant que la planche ne tourne pas, c'est à dire la nullité du moment des forces autour de l'axe (Oz) , en prenant $\vec{\mathcal{M}}_z$ comme moment extérieur appliqué nous avons :

$$\vec{\mathcal{M}}_z + b(-\vec{H}_1 + \vec{H}_2 + \vec{H}_3 - \vec{H}_4) = \vec{0} \quad (8.15)$$

8.4 Technique : Réalisation de la balance 6 axes

8.4.1 Montage

La balance six axes, conçue par nos soins (Fig. 8.6), permet grâce à huit capteurs de force de mesurer les forces et les moments exercés par un individu selon les trois axes (Ox) , (Oy) et (Oz) . La balance est composée de deux cadres métalliques fabriqués en barres de profilés rainurés Rexroth ® en aluminium, avec des cubes de jonction vissés à chaque angle. Un cadre externe de 1000 mm x 1000 mm (mesure prise côté bordure interne) pour 30 mm d'épaisseur, qui délimite la balance, et un cadre interne de 76 mm x 76 mm pour 20 mm d'épaisseur. Le fond de la balance est une planche fixée au cadre externe par des écrous en « T ». Le cadre interne repose quant-à lui sur des patins, des amortisseurs anti-vibration, d'un diamètre de 20 mm pour une hauteur 5 mm.

Quatre capteurs horizontaux sont placés entre deux cadres métalliques. Ils sont vissés avec un lien solide (vis) sur le cadre externe, et avec un lien souple sur le cadre interne. Ce lien souple a pour objectif de découpler les mesures des forces selon (Ox) et (Oy) en éliminant la composante de la force perpendiculaire à l'axe du capteur (composante de cisaillement). Le cadre interne repose sur les patins souples qui lui permettent de transmettre les efforts dans le plan aux capteurs. Ces patins contribuent à la force de rappel qui maintient le plateau en place. Cette contribution sera prise en compte en étalonnant la balance. Les quatre capteurs de force verticaux sont fixés aux quatre coins du cadre interne. Le plateau, une planche rigide, repose directement sur ces derniers.

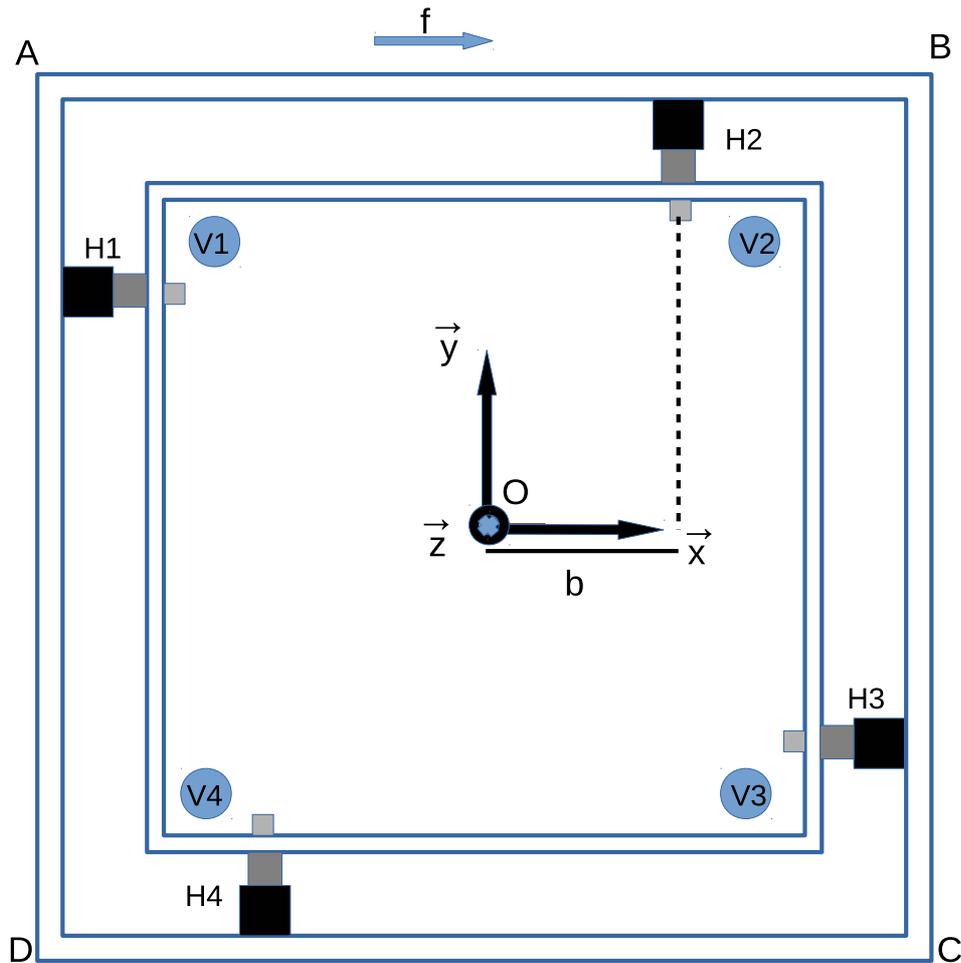


FIGURE 8.5 – Schéma complet de la balance vue de face

Une planche repose sur quatre capteurs de compression verticaux. Ces capteurs nous donne les forces en z , et les moments en x et en y de la réaction de la planche. Sous cette première structure, 4 capteurs horizontaux nous donnent le moment autour de (Oz) et les forces en x et en y .

8.4.1.1 Patins

Il convient ici de remarquer que le cadre interne repose sur des patins qui vont contribuer à la force de rappel qui maintient le plateau en place. Ainsi, on ne peut pas, a priori, obtenir les composantes horizontales de la réaction par les seules valeurs de forces mesurées par les capteurs horizontaux. Nous allons donc estimer l'effet introduit par la présence de ces patins.

Supposons une force extérieure de composante F_x selon l'axe (Ox) . Cette force provoque un déplacement δ_x du plateau dans la direction (Ox) . En désignant par K la raideur d'un capteur de force, en considérant les deux capteurs dans cette direction, nous avons :

$$F_x = -(2K + k) \delta_x = -2K \left[1 + \frac{k}{2K} \right] \delta_x \quad (8.16)$$

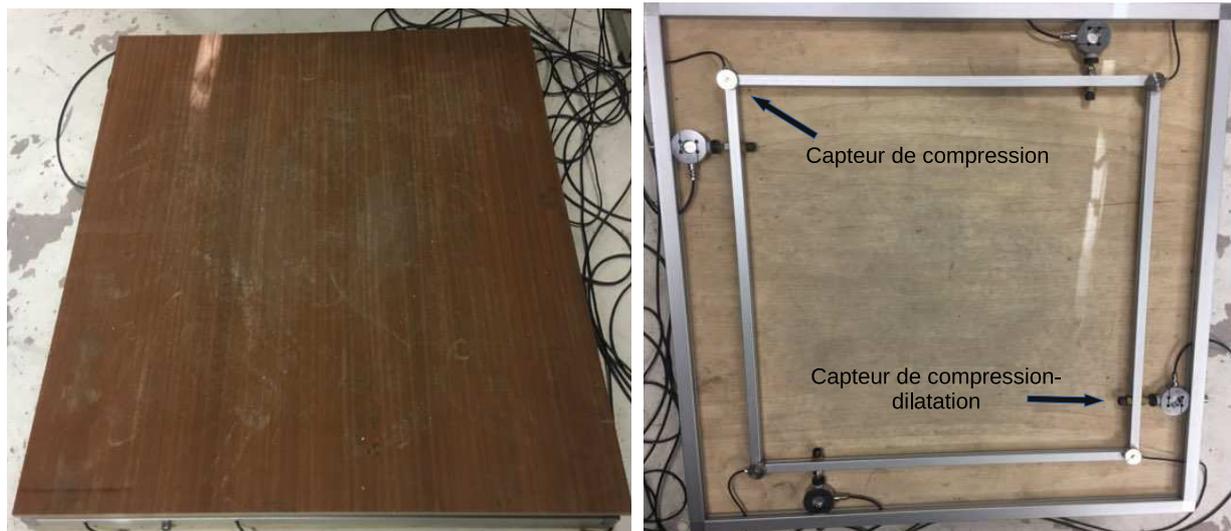


FIGURE 8.6 – Montage de notre balance

À gauche la balance avec la planche sur laquelle un individu peut monter. À droite la même balance sans le plateau supérieur. On distingue aux quatre coins du cadre interne les capteurs de force donnant la composante verticale de la réaction \vec{R} . Entre le cadre interne et le cadre externe, on distingue les quatre capteurs mesurant les composantes horizontales de la réactions \vec{R} .

où k rend compte de la raideur associée aux patins. L'effet des patins se traduit donc par une correction de l'ordre de $\frac{k}{2K}$ de la raideur effective du système.

Une estimation facile de la raideur K est obtenue en considérant que les capteurs reculent de $50 \sim \mu\text{m}$ pour la charge nominale de $2000 \sim \text{N}$, ce qui donne $K \sim 4 \cdot 10^7 \text{ N/m}$. Pour un patin de hauteur h , de surface S et de module d'Young E nous avons $k = ES/h$. Pour 10 patins sous le cadre, nous estimons donc que la contribution de ces derniers est du même ordre que celle des capteurs (i.e. $10 k \sim 2K$) si le module d'Young est de l'ordre de 100 MPa. Les patins étant constitués de polyuréthane, nous ne pourrions pas négliger ces contributions.

8.4.2 Capteurs de force

La force exercée par le sujet sur la balance est obtenue via deux types de capteurs de force de la marque Sensel Measurement $\text{\textcircled{R}}$.

Les capteurs de force verticaux mesurent 41 mm de diamètre pour 15 mm de hauteur. Ces capteurs peuvent supporter une masse de 250 Kg, soit une force de 2500 N. Ces capteurs ne fonctionnent qu'en compression.

Les capteurs de force horizontaux mesurent quant-à eux 63,5 mm de diamètre pour 22 mm de hauteur. Ils peuvent fonctionner en étirement et en compression. Ces capteurs peuvent supporter une masse de 200 Kg, soit une force de 2000 N.

À noter que les capteurs sont sensibles aux variations de température. Ces variations lentes de la réponse des capteurs seront prises en compte en effectuant régulièrement une

tare de la balance au cours des expériences.

Les capteurs sont directement alimentés par une alimentation de PC, 12 V. Une alimentation ordinaire délivre une tension suffisamment propre et stable pour des capteurs qui ne sont que des ponts de mesure qui délivrent en sortie une tension proportionnelle à la tension d'entrée. Les sorties des capteurs sont directement connectées à une carte d'acquisition National Instrument [®] NI 9202. Cette carte permet d'acquérir 16 voies en simultanément à 100 Hertz avec une résolution de 24 bits. Un tel système d'acquisition permet de se passer des conditionneurs des capteurs qui sont onéreux.

8.4.2.1 Étalonnage

A priori, les capteurs sont étalonnés d'usine. Cependant, au moins en ce qui concerne la composante horizontale, nous ne pouvons nous contenter des valeurs obtenues par les capteurs, en particulier parce que le cadre interne repose sur les patins dont nous ne connaissons pas précisément les propriétés mécaniques. Ainsi, pour étalonner les capteurs de force verticaux, nous plaçons des masses connues sur le capteur pour obtenir une courbe d'étalonnage. Les capteurs horizontaux peuvent être individuellement étalonnés en pressant contre chacun d'eux un des capteurs verticaux. De plus, la réponse de la balance dans le plan horizontal est étalonnée en pressant sur les bords du plateau avec un capteur vertical de référence.



FIGURE 8.7 – Alimentation et récupération des signaux de la balance

En bas de l'image se trouve un boîtier électronique comprenant la carte National Instrument [®] et les connectiques permettent d'alimenter et de récupérer les informations transmises par les capteurs de force. En haut de l'image notre alimentation électrique récupérée d'un vieil ordinateur.

8.5 Première application

8.5.1 Prise d'impulsion au plongeon

Un groupe d'étudiants de l'INSA de Lyon souhaitant comparer leur modèle numérique de plongeon avec une étude expérimentale est venu mimer la prise d'impulsion simple d'un plongeur valide depuis notre balance.

Afin de comprendre la bio-mécanique de la prise d'impulsion d'un plongeur, nous avons testé différents types de prise d'impulsion sur notre balance : des sauts d'extension classique, et des sauts d'extension en bloquant le mouvement des chevilles sur la planche. Lors d'une prise d'impulsion classique, un plongeur se ramasse sur lui même en fléchissant ses genoux, faisant chuter la partie supérieure de son corps afin de préparer son saut. Puis, il exerce une détente maximale de ses jambes, suivi d'une détente de ses chevilles afin de maximiser sa propulsion verticale sur la planche (Fig. 8.8).

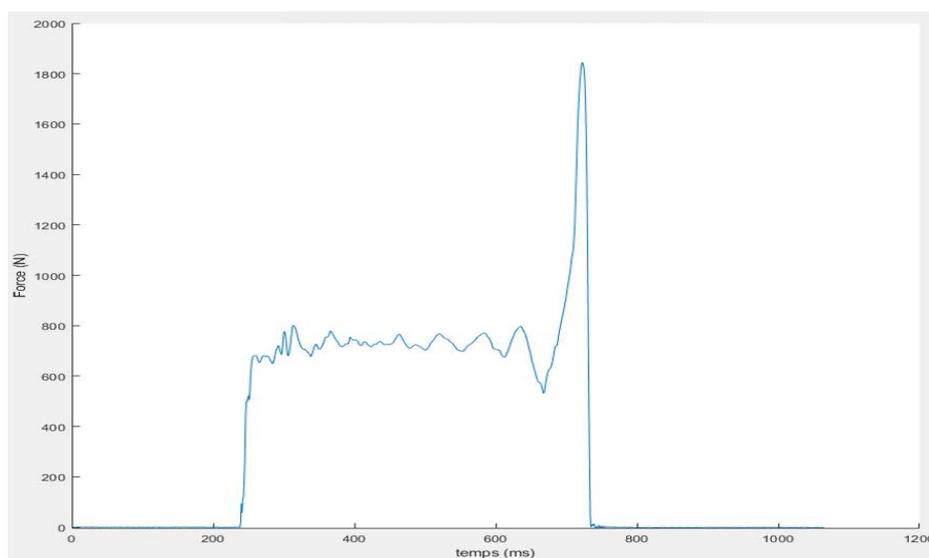


FIGURE 8.8 – **Force verticale au cours d'une prise d'impulsion.**

Un plongeur de 75 Kg monte sur la balance à $t = 220$ ms. La balance indique alors son poids. Puis à $t = 600$ ms, le plongeur fléchit les genoux, provoquant une légère diminution de la force mesurée. Il pousse ensuite sur ses membres inférieurs afin de maximiser sa propulsion verticale à $t = 700$ ms. Lors de sa prise d'impulsion, il exerce une force maximale de 1850 N sur la balance.

Afin de mieux comprendre la prise d'impulsion, nous avons effectué des tests de saut en demandant au sauteur un saut naturel ou de tenter de rendre simultané le déploiement de ses chevilles (Fig. 8.9). Nous constatons tout d'abord que la balance marque très clairement la différence dans la dynamique de la force : il existe bien un double pic lors de la prise d'impulsion naturelle, ce double pic marquant le déploiement successif des genoux puis des chevilles. De plus, le plongeur déployant simultanément ses chevilles perd en détente lors

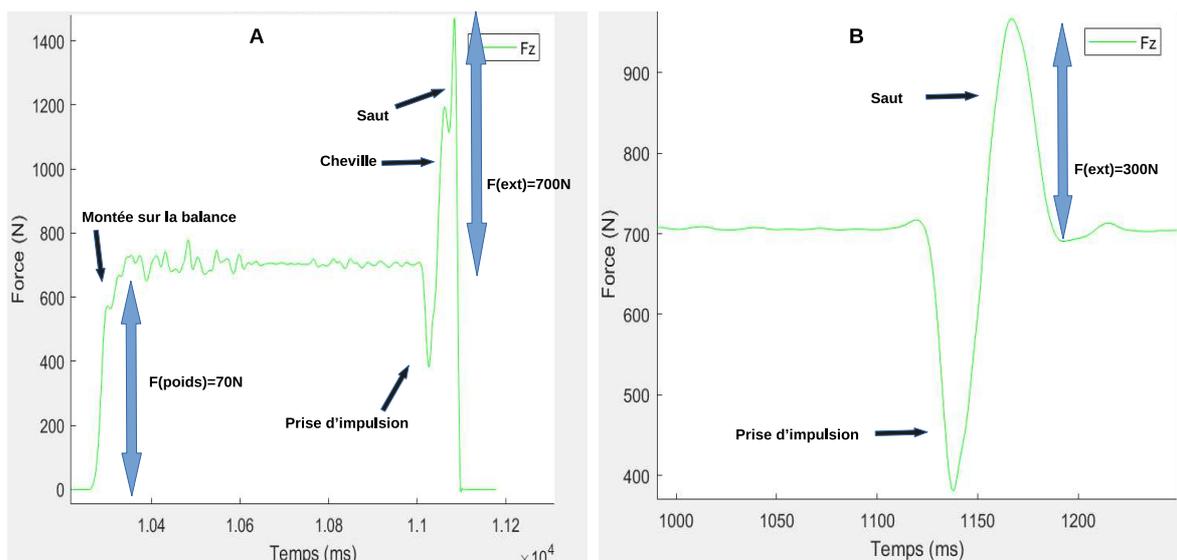


FIGURE 8.9 – Graphique de l'effort vertical F_z (N) lors de la prise d'impulsion d'un plongeur en fonction du temps (ms), avec (A) et sans (B) rotation des chevilles.

Un plongeur de 70 Kg monte sur le dispositif à $t=10300$ ms (A). Puis à $t=11000$ ms (A) et $t=1125$ ms (B), le plongeur fléchit les genoux, provoquant une diminution de la force verticale. Il pousse sur ses membres inférieurs afin de maximiser sa propulsion verticale à $t=11900$ ms (A) et $t=1175$ ms (B). Lors de sa prise d'impulsion il exerce une force maximale de 700 N en (A) et en 300 N en (B) : L'utilisation des chevilles en (A) améliore la propulsion du plongeur.

de sa prise d'impulsion. Il passe en effet d'une force verticale exercée de 700 N à 300 N. La cheville est donc très importante dans la prise d'impulsion d'un plongeur.

Nous avons également suivi les déplacements du plongeur sur la balance dans le plan (x,y) durant l'expérience (Fig. 8.10). Cela nous permet par exemple de voir que le plongeur était bien positionné parallèlement au bord de la planche pour son saut dans la direction (Oy) . Un mauvais positionnement du plongeur peut ainsi être détecté et corrigé en temps réel.

Notre expérience nous montre que le déroulé naturel de la jambe lors de la prise d'impulsion du plongeur évolue en deux temps entre la cheville et le reste des membres inférieurs. Cette configuration produit une force plus importante et donc potentiellement un saut plus haut, qu'en l'absence d'utilisation de la cheville. D'autres essais de saut en extension, non-présentés ici, ont également montré que l'utilisation simultanée du membre inférieur et de la cheville est moins efficace en terme de force produite.

Les membres de l'INSA souhaitent poursuivre la collaboration pour mieux saisir le moment d'activation au niveau du genou et de tester un autre modèle de plongeur non linéaire plus élaboré comprenant les chevilles.

De plus, une équipe de l'ENS travaillant sur le projet Sciences 2024 de la coulée d'un plongeur en situation de handicap pourrait utiliser notre dispositif pour des essais expéri-

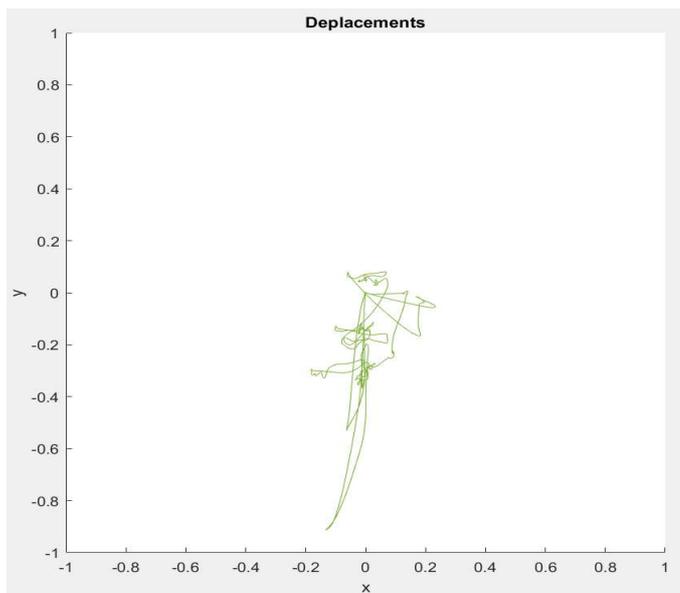


FIGURE 8.10 – Graphique des déplacements du plongeur sur la balance dans le plan (x, y) .

Nous constatons que le plongeur saute dans la direction Ox le plus parallèlement possible au bord de la balance.

mentaux. La coulée dépend en effet de la prise d'impulsion première, et notre dispositif peut servir à l'étudier.

8.6 Balance double

Sur le principe de la balance simple que nous venons de présenter, il nous a semblé pertinent de mettre au point, pour des sports de combat en particulier, une double balance six axes. Cette balance permet d'obtenir les mêmes informations que précédemment pour deux sportifs qui se font face. Pour cela nous avons dû adapter notre dispositif.

8.6.1 Dispositif expérimental

Sur le principe de la balance présentée plus haut, nous avons conservé le cadre extérieur et remplacé le cadre interne par deux cadres triangulaires (Fig. 8.11). Chaque demi-plateau est désormais porté par 3 capteurs verticaux : V_{A1} , V_{A2} , et V_{A3} pour le plateau A et V_{B1} , V_{B2} , et V_{B3} pour le plateau B. Les positions des quatre capteurs horizontaux H_1 , H_2 , H_3 , et H_4 restent inchangées. Sont ajoutés ici deux capteurs C_1 , et C_2 qui permettent de compléter la mesure des composantes des forces dans le plan horizontal. Comme précédemment, les 3 composantes des forces et les 3 composantes des moments, pour les plateaux A et B, sont obtenues par les combinaisons linéaires appropriées des forces mesurées.

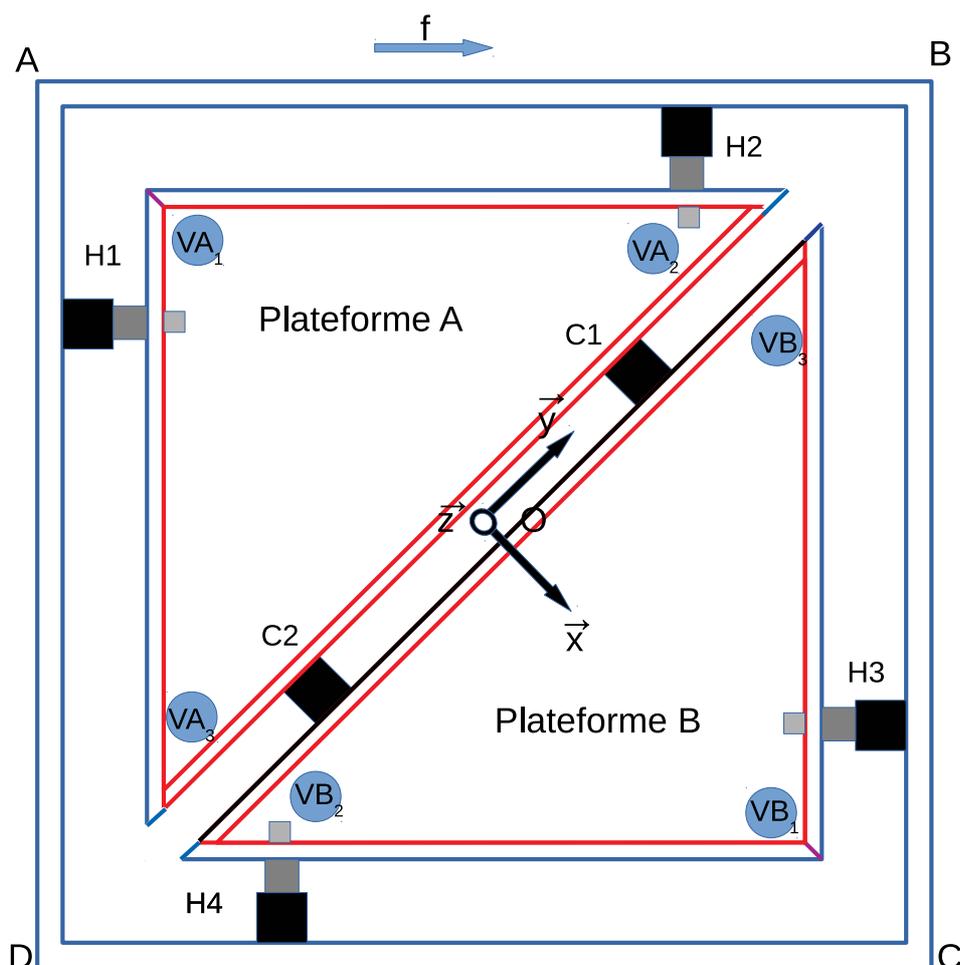


FIGURE 8.11 – Balance à deux plateformes.

Trois capteurs triangulent la position des participants sur leur plateforme. Deux capteurs horizontaux, C_1 et C_2 , ont été ajoutés entre les deux plateformes pour mesurer les moments en z de chaque plateforme.

Un dispositif brachial appelé bouclier vient compléter les signaux enregistrés (Fig. 8.12). C'est un cylindre creux en plexiglas que le sujet porte autour du bras. Sur ce cylindre se trouve deux jauges de pression recouverte d'une plaque en plexiglas. Lorsqu'un individu A veut pousser le porteur du bouclier B , il prend appui sur la plaque. Les jauges de compression vont alors nous communiquer l'effort transmis de A sur B en temps réel. Nous filmons nos séquences afin de conserver un maximum d'informations visuelles sur les exercices effectués par les individus.

8.6.2 Tai-chi-chuan

Nous avons effectué différentes expériences sur le tai-chi-chuan (« chuan » signifie boxe en chinois). Le tai-chi est un art martial chinois mêlant gymnastique de combat et spiritisme.



FIGURE 8.12 – **Poussée entre deux maîtres de Tai-chi.**

Sur la balance un des maîtres exerce une poussée tandis que l'autre la réceptionne. Nous analysons ce mouvement avec les capteurs de la balance et du bras.

L'objectif est de se servir de son chi, son énergie interne, de manière souple et dynamique pour affronter un adversaire. Notre objectif est donc de comparer des mesures objectives des forces exercées par un individu avec le chi dite « Souffle Interne », *SI*, à des poussées physiques sans le chi dite « Poussée Mécanique », *PM*, pour étudier les différences entre les deux.

Lors de nos expériences de comparaison des poussées *PM* et *SI*, le protocole était le suivant : Les individus *A* et *B* sont respectivement sur les plateformes *A* et *B*. Nous effectuons une tare quand les individus sont sur la balance, immobiles et séparés. Puis l'individu *B* exerce une poussée mécanique *PM* sur le dispositif brachial porté par *A* pendant dix secondes. Nous attendons 30 secondes de récupération puis *B* exerce une poussée « Souffle Interne » *SI* sur *A* pendant dix secondes. Une phase de récupération de dix secondes suit. Nous répétons ce schéma. Nous effectuons plusieurs fois l'expérience en faisant varier le rôle et l'emplacement de *A* et de *B* pour supprimer les biais possibles. Dans la même optique nous effectuons des sessions en inversant l'ordre des deux tâches à effectuer. Cela donnait le schéma suivant : *PM-SI-PM-SI*, puis *SI-PM-SI-PM*. Notre balance nous a permis de capter les signaux de déplacement de l'individu sur la balance. Nous traiterons ci-dessous un exemple de signaux reçus lors d'un test au schéma suivant : *PM-SI-SI*.

Nos résultats préliminaires nous ont permis de distinguer les deux types de poussée.

L'effort sur le bras de A lors de la poussée mécanique PM est deux fois plus long que durant une poussée de type souffle interne SI . L'intensité de la force exercée est similaire entre les deux poussées, avec une force de 140 N (Fig. 8.13). La poussée SI avec le chi semble fonctionner comme un impact, l'intensité étant maximale sur une durée plus courte.

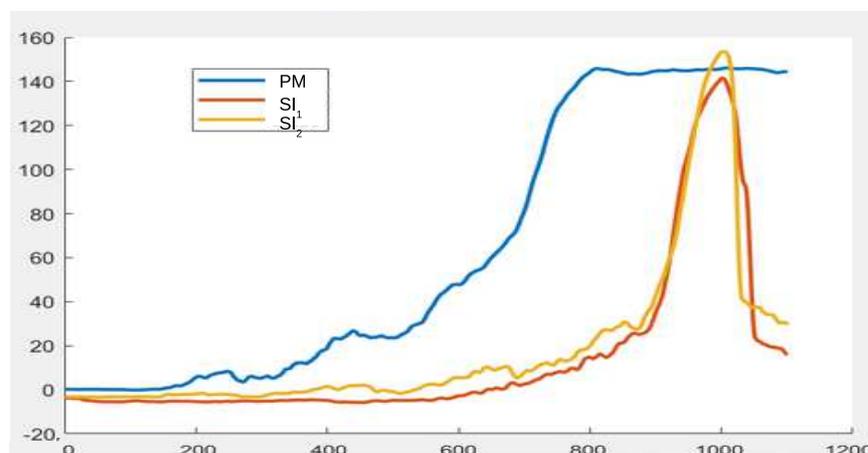


FIGURE 8.13 – Force (N) de la poussée brachiale entre deux maîtres de Tai-chi en fonction du temps (ms).

Nous observons une différence entre la force reçue par le capteur du bras entre les deux types de poussées. La poussée PM a plus d'intensité sur une durée plus longue que les poussées SI .

La balance nous permet de connaître simultanément les efforts sur le sol. La poussée PM est effectuée à $t=3400$ ms, et les poussées SI à $t=7950$ ms (Fig. 8.14). Nous pouvons observer grâce à notre dispositif si la force reçue provoque une rotation, un déplacement latéral ou un déplacement vers l'avant ou l'arrière. En suivant les variations de la force F_z sur notre balance, nous pouvons voir que l'individu A reste sur la balance avec la poussée PM , et se fait éjecter de sa plateforme lors des poussées SI . Dans les deux types de poussée, l'individu A s'allège et donne l'impression d'être déséquilibré. L'individu A effectue des efforts dans les directions (Ox) et en (Oy) , respectivement plus (+20 N) et moins (-90 N) importants en SI qu'en PM . Pour l'individu B , l'effort dans la direction (Ox) diminue de 20 N, et il ne change pas dans la direction (Oy) . Nous observons que les forces exercées en F_{Ax} et F_{By} sont de valeurs opposées à la somme de F_{Ay} et F_{Bx} lors d'une PM , mais pas lors d'une SI . Notre expérience nous montre que les forces perçues par les capteurs horizontaux sont plus petites que les forces verticales. La balance nous permet de mesurer les moments des forces et, en particulier, le moment associé à la rotation autour de l'axe vertical (Oz) (Fig. 8.15). Nous observons ici que la composante en rotation du sujet A qui reçoit est plus importante que celle du pousseur B qui reste faible. Hormis la vitesse d'action, nous n'observons ici pas de différence entre l'efficacité de SI et de PM dans la composante de rotation. Nous soupçonnons toutefois, par observation visuelle, que l'efficacité de poussée SI viendrait du fait que le maître fait pivoter rapidement la personne A et, ainsi, la déstabilise. Ces résultats

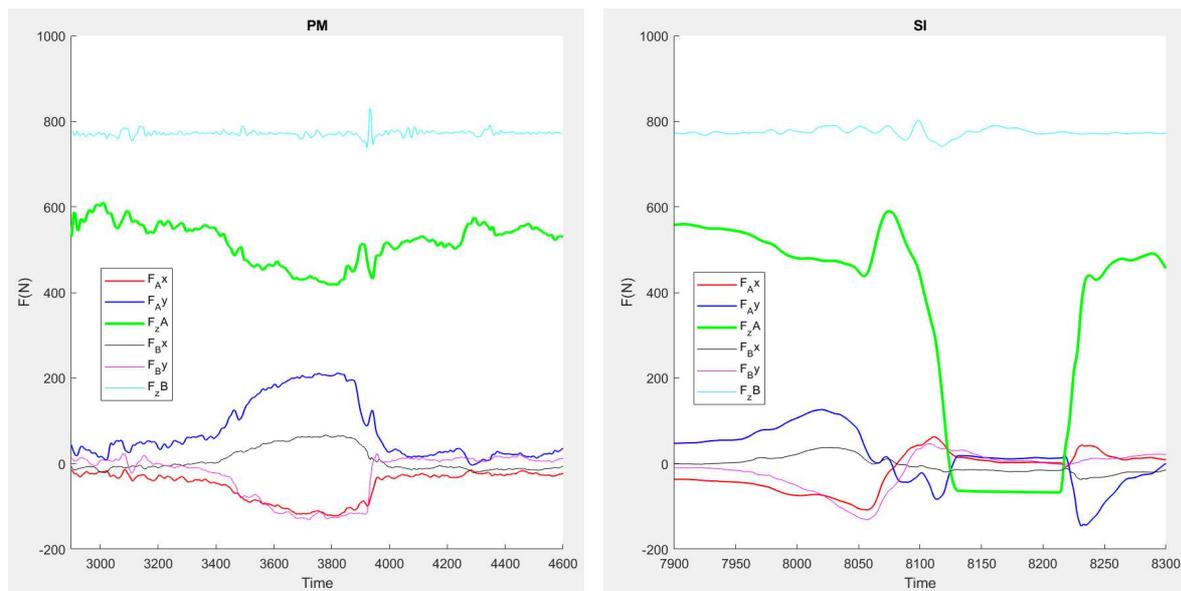


FIGURE 8.14 – Forces sur les plateformes *A* et *B* en fonction du temps (ms).

À gauche la force exercée en *A* et *B* lors d'une poussée mécanique *PM*, et à droite lors d'une poussée souffle interne *SI*.

restent cependant à confirmer.

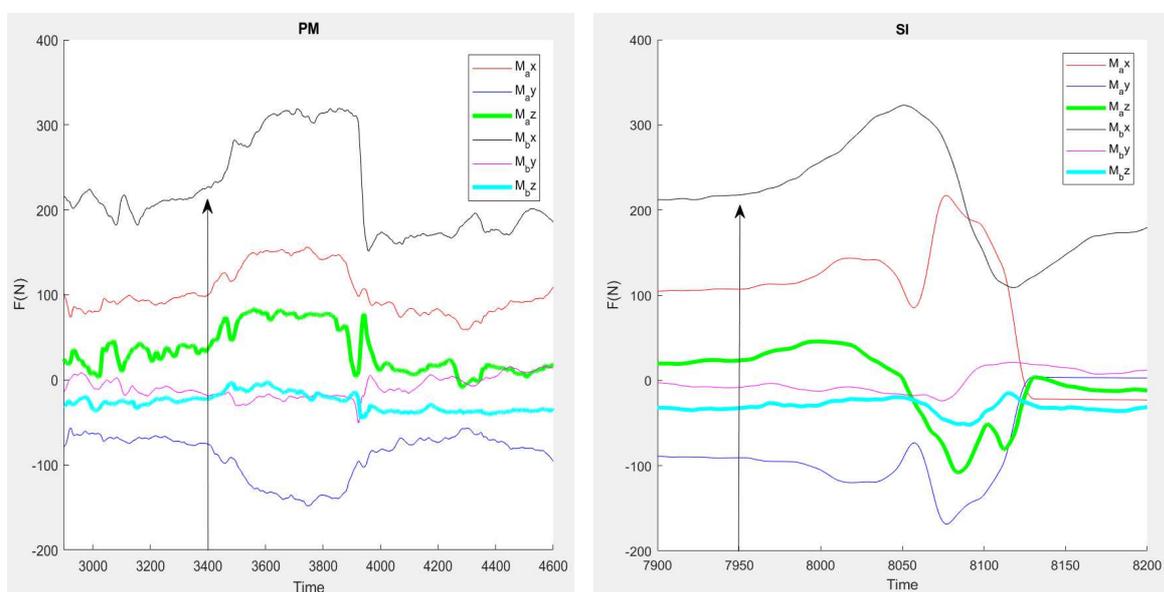


FIGURE 8.15 – Moments sur les plateformes *A* et *B* en fonction du temps (ms).

À gauche les moments exercés en *A* et *B* lors d'une poussée mécanique *PM*, et à droite lors d'une poussée souffle interne *SI*.

8.7 Perspectives

Notre dispositif est encore un prototype et selon les besoins, diverses modifications pourraient le faire évoluer de différentes manières. Par exemple, nous pourrions faire évoluer la balance afin de suivre le profil précis de handi-athlètes de haut niveau. En effet ces athlètes ont besoin d'un suivi constant de l'évolution de leurs progrès sportifs. Le traçage de leur courbe de Heel donne la relation entre la force fournie par les athlètes et leur vitesse exercée [Cohen, 2014]. Avec un banc d'essai installé sur la balance (Fig. 8.16), nous pourrions optimiser les mouvements de chaque athlète et suivre l'évolution de leurs progrès réalisés en fonction de leur handicap respectifs. Cela permettrait également de tester et d'optimiser rapidement les nouveaux matériaux selon les besoins de chaque athlète comme différentes mains courantes (forme, taille, matériau) en fonction de la longueur de la piste ou du handicap de chacun. Notre dispositif pourrait permettre d'analyser la position d'un handi-athlète et d'optimiser la relation entre chaque sportif et leurs outils de compétition par un contrôle constant et facile d'utilisation.



FIGURE 8.16 – Banc de test de la marque de fauteuil d'athlétisme japonaise Honda.

Concevoir un modèle réduit de notre balance se plaçant sous l'assise du fauteuil des athlètes permettrait d'être plus précis dans les différences de poussée entre bras droit et bras gauche. Combiner cette pratique à de la réalité virtuelle permettrait de stimuler l'individu à la pratique, tandis qu'installer une caméra thermique permettrait d'observer instantanément les variations thermiques du corps humain chez les coureurs. La circulation sanguine étant propre à chaque individu, cela permettrait de faire le lien entre fatigue et réchauffement du muscle pour anticiper les douleurs et dommages causés aux athlètes par les mouvements

répétés des entraînements. De plus, notre balance pourrait également être utilisée dans un objectif de sport à domicile interactif tourné vers le jeu de type physio-gaming. Le développement de la balance multi-axes combiné à la création de jeux vidéos utilisables avec ce dispositif serait un excellent moyen de stimuler les personnes en situation de handicap à la pratique sportive. Cumuler ce type de dispositif à de la réalité virtuelle serait un moyen d'immerger les individus dans la pratique sportive et de les stimuler davantage.

Différentes expériences ont déjà été menées avec notre dispositif sur la prise d'impulsion de plongeur et sur le tai-chi. Nous décrivons ci-dessus les méthodes et les résultats préliminaires.

Chapitre 9

Annexe C - Stimulation Électrique Fonctionnelle

Cette annexe rapporte mon travail de première année de thèse sur un sujet intitulé : « Quantifier les effets de la stimulation électrique fonctionnelle (FES) afin de promouvoir le sport auprès des personnes en situation de handicap ». Ce travail a été effectué à l'ENS de Lyon avec l'équipe de Vance Bergeron, il a abouti à deux articles scientifiques. Le premier concerne l'entraînement d'une équipe participant au Cybathlon en 2016 à Zurich, la première olympiade cybernétique. Le second article concerne une réflexion sur le décret du Sport sur Ordonnance, décret qui permet la prescription de sport aux patients atteints de maladies chroniques. La présentation de cette partie de mon travail dans ce manuscrit permet de compléter le lien entre Sport et Handicap. Elle élargit le spectre des possibles en matière de sport, mais également de soin, pour les Personnes en Situation de Handicap.

9.1 Sujet de thèse annoncé

Je rapporte ici le sujet déposé initialement au CNRS : « Quantifier les effets de la stimulation électrique fonctionnelle (FES) afin de promouvoir le sport auprès des personnes en situation de handicap ».

9.1.1 Introduction

Une lésion de la colonne vertébrale entraîne chez le blessé médullaire des déficiences motrices, mais également des troubles physiologiques en conséquence de l'immobilisme et de la sédentarité. Des maladies secondaires apparaissent souvent, notamment les risques cutanés (formation d'escarres), la déminéralisation osseuse, les troubles de la circulation sanguine responsables d'une aggravation des facteurs de risque cardio-vasculaires, ou encore la spasticité dans les jambes. La reprise d'une activité physique ludique au niveau des

membres inférieurs permet de lutter efficacement contre ces comorbidités, par stimulation des membres lésés. Cela permet un maintien de leur santé physique et également psychologique par une amélioration de leur qualité de vie et un regain de l'estime de soi.

La Stimulation Électrique Fonctionnelle (SEF) est une méthode qui utilise des champs électriques faibles pour déclencher des potentiels d'action qui provoquent des impulsions nerveuses conduisant à des contractions musculaires. Lorsque les contractions sont correctement séquencées, l'activité musculaire peut produire un mouvement qui a des résultats fonctionnels tels ; être debout, déambuler, prendre en main, et d'autres tâches pratiques. Cette méthode est particulièrement utile pour actionner les muscles parétiques (sans tonus musculaire) chez les personnes en situation de handicap physique, leur permettant de gagner en autonomie et d'améliorer leur santé en participant à des activités physiques. Le soin par stimulation électrique présente un intérêt particulier chez les patients tétraplégiques car il permet un remplacement du contrôle moteur, et une stimulation bas sensorielle (afférences). La pratique de vélo à électrostimulation (Fig. 9.1) permet ainsi de recréer un mouvement de pédalage par mobilité des membres inférieurs via des électrodes de surfaces non-invasives. Cette pratique améliore le bien-être des sujets, d'un point de vue physiologique comme psychique. Malheureusement, le recrutement musculaire SEF, contrairement au recrutement physiologique, ne fait pas de distinction entre les différentes fibres musculaires et conduit à une fatigue musculaire rapide. Cela limite fortement l'utilisation de la FES comme solution pour assurer l'autonomie dans les activités de la vie quotidienne (ADL).

Néanmoins, les études ne s'accordent pas sur l'optimisation idéale du pédalage (nombres et placement des électrodes, positionnement du cycliste), ni sur la quantité de bénéfices apportés, notamment pour l'augmentation de la densité osseuse. Une amélioration des connaissances scientifiques et pratiques dans le domaine permettrait d'avoir des éléments de preuves scientifiques quant au choix des techniques de rééducation et de leurs bienfaits.

9.1.2 Objectif

L'objectif de ce travail était d'étudier les effets de l'entraînement au pédalage sur vélo assisté par stimulation électrique des muscles sous lésionnels de blessés médullaires, avec une approche physiologique, physique et psychologique.

L'un des principaux objectifs de ce premier sujet de thèse était d'optimiser le pédalage par ajustement de la position du cycliste, et de développer de nouveaux protocoles FES pour surmonter la fatigue musculaire rapide. L'approche prévue était d'imiter le recrutement physiologique en utilisant une stimulation asynchrone couplée à des systèmes d'électrodes multipad. Cela aurait permis d'alterner à la fois spatialement et chronologiquement l'activation des différentes fibres musculaires pour éviter une surstimulation du fascicule musculaire. La fatigue musculaire aurait été quantifiée en surveillant l'évolution temporelle de son spectre

de puissance produit au cours de paradigmes d'exercices systématiques. Simultanément, en utilisant l'imagerie infrarouge, nous aurions mesuré la signature thermique produite pendant les contractions musculaires pour comparer la variation de la dissipation thermique (par exemple le flux sanguin) entre l'activité musculaire stimulée physiologiquement et extérieurement.

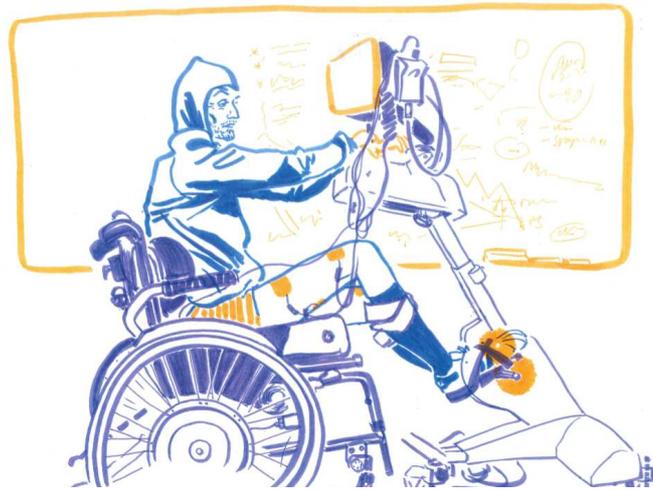


FIGURE 9.1 – Vélo à stimulation électrique fonctionnelle.

Dessin d'un tétaplégique faisant du vélo à SEF par Héléne Bléhaut, illustratrice du webcomic « Rethinking Disability » [www.heleneblehaut.com].

Ce sujet de thèse aurait abordé également un aspect transversal de la recherche visant à apporter des innovations technologiques de pointe aux handicapés physiques par le biais de l'association ANTS¹. En particulier, les paradigmes d'exercices à développer auraient été axés sur le principe « motiver à se rééduquer ». Nous aurions ainsi étudié l'impact physique et psychologique d'un entraînement régulier de vélo à stimulation électrique fonctionnel. Une étroite collaboration avec les personnes en situation de handicap moteur était prévue, et ce afin de mieux comprendre leur sensation de fatigue physique et psychologique lors de différentes tâches physiques. Ces sensations auraient été comparées à des mesures quantitatives d'enregistrements d'électroencéphalographie (EEG) surveillant le cortex moteur. Les paramètres métaboliques tels que ; la modifications des douleurs, les fonctions cardio-respiratoires (fréquence cardiaque, pression artérielle, VO_2 max), la trophicité musculaire et osseuse, la spasticité devaient être surveillés pour mesurer l'efficacité globale des protocoles de stimulation. Les mesures de fatigue auraient été corrélées avec nos études de fatigue musculaire physiologique, pour obtenir une compréhension globale, et voir la meilleure fa-

1. L'association ANTS (Sport et Thérapies Neuro-rééducatives Avancées) promeut la rééducation des paralysés moteurs par électrostimulation.

çon d'optimiser les thérapies de rééducation.

Ce travail de recherche transversal aurait regroupé divers champs d'études (physiologie, ingénierie, physique, handicap, juridique, psychologie) nécessitant une collaboration entre de multiples partenaires. Les aspects étudiés auraient été regroupés en trois piliers : Technologique (matériel), Médical (population étudiée, essais cliniques déjà mis en place), et Social (mener la technologie aux paralysés moteurs). La partie sociale aurait été séparée en deux parties, une sur le Droit (vérification de la légalité de nos travaux, réflexion sur les lois), et une Psychologique (étude auprès de la personne de l'acceptation de la technologie).

9.2 Travail réalisé

9.2.1 Histoire de l'électrothérapie

L'utilisation thérapeutique de l'électricité est connue, depuis le 1er siècle après J.-C. où les décharges électriques des poissons-torpilles servaient à soulager les douleurs arthritiques, le mal de tête et la goutte. Puis, avec l'avènement de la batterie électrique, l'électrothérapie s'est particulièrement développée au XIXe siècle (Fig. 9.2) où elle était présentée comme le remède à presque tous les maux : Maladies nerveuses réelles ou fictives (hystérie, névralgies, paralysies), Maladies de nutrition (dyspepsie, dilatation de l'estomac, chlorose, anémie, rhumatisme). Bien sûr il n'y a eu aucun test clinique pour prouver ces effets. En 1855, le neurologue français Guillaume Duchenne de Boulogne a inauguré l'utilisation du courant électrique pour le traitement ou le soulagement de maladies touchant à la gynécologie ou à la psychiatrie.



FIGURE 9.2 – Boîtier d'électrothérapie du XIXe siècle.

Depuis, son utilisation actuelle s'est séparée en deux branches distinctes : Une première

ournée vers les soins hospitaliers, comme l'utilisation de la neurostimulation transcutanée électrique (TENS) face aux douleurs névralgiques. Une autre utilisation tournée vers le sport avec l'électro-myostimulation (EMS) pour le renforcement musculaire, et la Stimulation Électrique Fonctionnelle (SEF) pour la mobilisation de membres paralysés via des contractions musculaires induites dans le but de recréer une fonction. Par exemple, en envoyant la stimulation électrique au bon moment, il est possible de recréer le mouvement d'un rameur ou d'un nageur.

Aujourd'hui, la neurostimulation transcutanée électrique (TENS) est une pratique médicale admise et reconnue. Sur le plan technique, un courant de faible intensité (ne permettant pas la contraction) est transmis du stimulateur à des électrodes placées vers la zone douloureuse. L'émission d'un courant va couper l'information nerveuse de douleur du corps, permettant ainsi d'atténuer les douleurs neurales. Cette technologie de neurostimulation, en vente libre dans le commerce (beaucoup de modèles existent) peut améliorer la qualité de vie de ceux qui sont gravement paralysés ou qui souffrent de déficiences sensorielles profondes. Elle permettrait également de réduire de façon durable la douleur chronique sévère.

En parallèle la stimulation électrique peut être utilisée dans la réadaptation des personnes handicapées motrices. Des électrodes placées sur la peau de la personne vont dépolariser la membrane de la fibre nerveuse et permettre la propagation d'un potentiel d'action (Fig. 9.3). Ce potentiel va atteindre le muscle via la jonction neuro-synaptique et permettre une contraction du muscle similaire à un ordre cérébral direct.

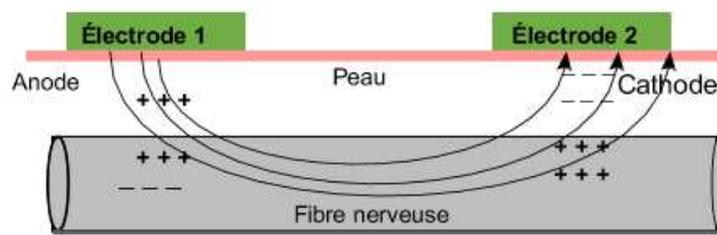


FIGURE 9.3 – Principe de l'électro-myostimulation (EMS).

Un champ électrique dépolarise la membrane, ce qui induit un potentiel d'action qui contracte les muscles.

Les différences entre les signaux électriques de neurostimulation transcutanée électrique TENS, et ceux de la Stimulation Électrique Fonctionnelle FES résident dans leur intensité et leur fréquence.

L'objectif lors de l'utilisation de TENS est de couper l'information nerveuse sans déclencher un potentiel d'action, et donc la contraction musculaire. Lors d'une utilisation sur les membres inférieurs, le TENS envoie moins de 40 mA et pendant 600 microseconde au maximum (Fig. 9.4). Le TENS envoie du courant de manière plus fréquente mais à plus faible amplitude que la FES, avec respectivement des signaux de 10 à 30 mA pour 40 à 150 Hz

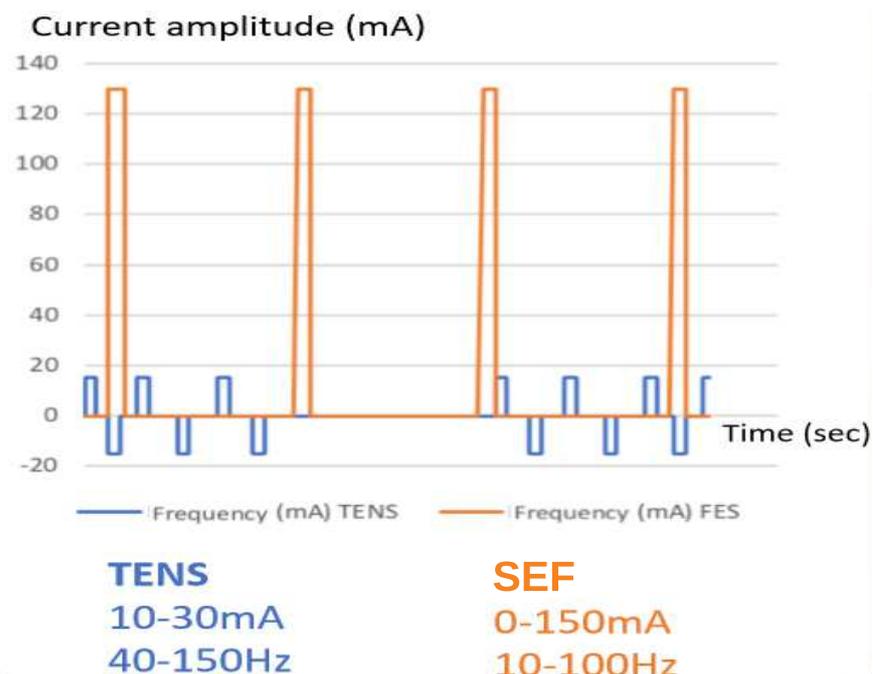


FIGURE 9.4 – Différences de signaux de stimulation électrique.

Le système TENS bloque l'information douloureuse des nocicepteurs en court-circuitant le message des nerfs afférents. Le courant envoyé est trop faible pour induire une contraction musculaire, contrairement aux systèmes SEF.

contre 0 à 150 mA pour 10 à 100 Hz. La FES cherche en effet à dépasser la chronaxie, soit le minimum de courant électrique requis pour contracter artificiellement le muscle (Fig. 9.5).

La FES est au-dessus de 40 mA et stimule à plus de 200 micro-secondes.

Les muscles peuvent donc être contractés séquentiellement pour créer des mouvements fonctionnels chez les paralysés moteurs, ce qui permet d'atténuer certains troubles physiologiques grâce à l'augmentation de la masse musculaire et à l'amélioration de la circulation sanguine.

La FES peut également influencer des aspects psychologiques comme l'estime de soi. Ce dispositif peut, de ce fait, avoir un impact sur la qualité de vie en favorisant la réintégration sociale des personnes à mobilité réduite, notamment lors d'activités sportives dans des lieux d'accueil adaptés.

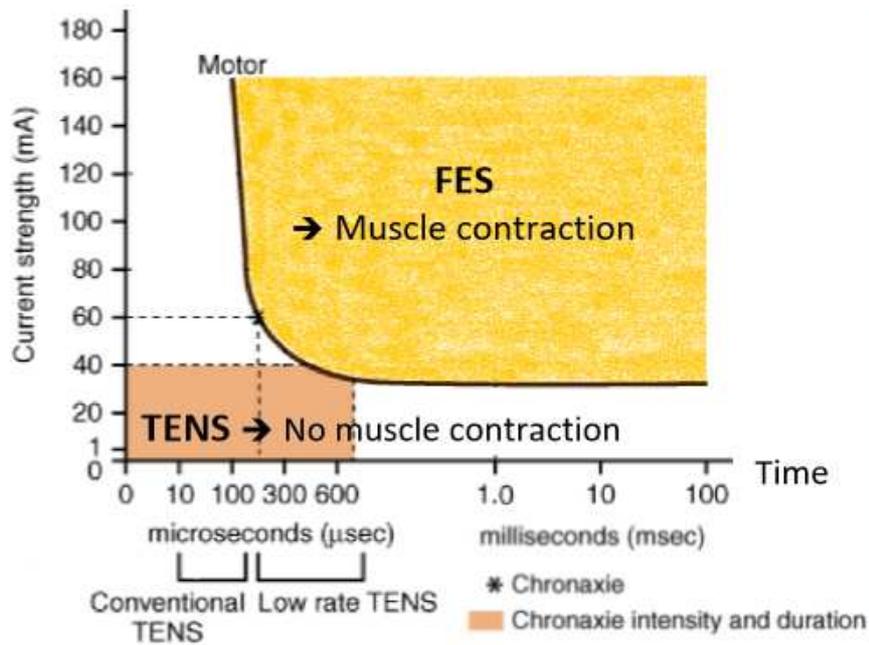


FIGURE 9.5 – Schéma de la chronaxie.

La chronaxie est le courant électrique minimal requis pour contracter artificiellement le muscle.

9.3 Étude des effets de la pratique de vélo à SEF

Dans cette partie se trouve le travail préparatoire d'une étude que j'ai mis en place.

9.3.1 Principe

La stimulation électrique neuro-musculaire permet d'améliorer les capacités motrices de paralysés moteurs. L'objectif de notre étude était de quantifier les effets physiques et psychologiques de la Stimulation Électrique Fonctionnelle (SEF) dans le but de promouvoir le sport chez les personnes en situation de handicap physique.

Pour cela, nous projetions de faire pédaler des personnes en situation de handicap sur un vélo stationnaire à SEF, et d'évaluer l'impact de cette pratique sur les sujets. Notre recherche impliquait de mesurer différents paramètres observables et mesurables impactant cette population spécifique. Des paramètres physiques : variation de la masse musculaire, calcification osseuse, variation de la spasticité, renforcement cardio-vasculaire; Des paramètres psychologiques : qualitatif (estime de soi, bien-être, perception de la douleur), et quantitatif (réinsertion sociale mesurée par des entretiens semi-directifs).

9.3.2 Protocole

Le protocole de notre expérience de pédalage à SEF aurait été le suivant : Les sujets pédalent sur le vélo à SEF à raison de 1 h deux fois par semaine durant quatre mois. La vitesse de rotation des pédales est de 30 rpm, l'intensité de stimulation électrique de départ des groupes musculaires d'intérêt (quadriceps, glutei, et ischio-jambiers) est choisie en fonction de la chronaxie des sujets.

Les impacts physiologiques et psychologiques auraient été mesurés aux intervalles suivants :

- Quatre sessions de mesures de la densité minérale osseuse réparties le long de l'expérience (e.g. début – milieu – fin – post-expérience).
- Mesure quotidienne des performances physiques et du tour de cuisse.
- Mesure hebdomadaire de la spasticité du sujet.
- Mesure bimensuelle quantitative de la psychologie de l'individu.
- Mesure mensuelle de la modification musculaire par échographie.
- Dix entretiens psychologiques qualitatifs répartis le long de l'expérience.

9.3.3 Mesures

Il était prévu de mesurer les impacts physiologiques (densité minérale osseuse, composition corporelle) de différentes manières :

- Les paralysés moteurs ont des carences musculaires. La variation de la masse musculaire aurait été étudiée par mesure du tour de cuisse et par échographie, une méthode précise pour suivre l'évolution qualitative et quantitative des fibres musculaires.
- Les paralysés moteurs subissent une déminéralisation osseuse des membres inférieurs dont les os deviennent creux (ostéoporose) et cassants. La densité minérale osseuse correspond à la quantité de calcium dans un volume donné de matière osseuse. Nous comptons la mesurer avec des tests HR-pQCT (high resolution peripheral quantitative computed tomography), qui nous auraient fourni la microarchitecture et les propriétés biomécaniques des os.
- Les maladies cardio-vasculaires sont la première cause de mortalité chez l'être humain. Le renforcement cardio-vasculaire aurait été mesuré avec un test de VO_2 , une mesure de l'air expiré par les poumons pendant un effort. Un tensiomètre aurait servi à mesurer le rythme cardiaque et la pression sanguine de la personne.
- La spasticité est l'augmentation exagérée et permanente du tonus musculaire (tension musculaire) d'un muscle au repos. L'augmentation de la spasticité aurait été mesurée à l'aide d'un électro-goniomètre appelé « pendule » qui mesure l'angle du genou en fonction du temps. Des essais cliniques sur l'impact du vélo à SEF sur la spasticité de personnes en situation de handicap moteurs ont été mis en place chez des patients paralysés moteurs, avec pour objectif une réduction de la spasticité chez ces personnes et faciliter leur rééducation.
- La mesure de l'angle formé par le genou et le bassin lors du pédalage nous aurait fourni des indications sur la position du sujet.

Nous aurions évalué les impacts psychologiques (estime de soi, qualité de vie) par différents tests :

- L'estime de soi conditionne les réactions d'un individu, donc sa réussite personnelle et professionnelle. L'estime de soi de nos sujets aurait été mesurée par le test de Rosenberg².
- La qualité de vie d'un individu nous donne des informations sur son état de santé. La mesure de la qualité de vie permet d'étudier l'impact d'une thérapie ou d'un dispositif médical sur le bien-être d'un individu. Nous aurions mesuré la qualité de vie de nos sujets par le test standardisé SF36³.
- La perception de la douleur aurait été mesurée avec une échelle quantitative.

Le regard des autres a un impact fort sur les personnes en situation de handicap. Les aspects psychosociaux du sport à SEF sur nos sujets et leur réintégration sociale aurait été étudiés de manière qualitative avec des entretiens d'explicitation. C'est une technique d'entretiens semi-structurés tournés vers l'action où le sujet est guidé par l'interviewer. Les entretiens auraient permis de s'intéresser à l'écosystème où évoluent les patients, ici à l'impact de la pratique du sport à SEF dans un lieu dédié aux handi-sports. Cet espace permet de connecter et re-connecter les personnes valides et handicapées les unes aux autres, nous nous serions donc intéressés aux interactions des personnes avec leur environnement proche et lointain.

En plus des travaux de recherche directe, nous avons également une association ANTS qui a acquis des locaux destinés à devenir une salle de sport adaptée. Cette salle permet aux personnes à mobilité réduite de profiter dès à présent des innovations technologiques du laboratoire de recherche. L'équipe de recherche aurait obtenu un retour direct des utilisateurs. Les tests en salle aurait permis à la fois de mieux cerner le besoin des personnes en situation de Handicap et donc de s'adapter à eux (et non l'inverse), mais également de mieux cerner l'impact physique et psychologique de la pratique de sport chez les paralysés moteurs dans un espace dédié au handicap.

L'association aurait permis également de promouvoir le sport à stimulation électrique en organisant des événements comme le Lyon Cyber Bike (Fig. 9.6). Cet événement de 2018 était un mélange de conférence scientifique autour de la stimulation électrique, de projection du film-documentaire « Toujours debout »⁴ sur l'entraînement de notre équipe au Cybathlon [Metani et al., 2017], et d'une compétition de vélo à SEF. La course cycliste a permis de tester différents pilotes sur différents vélos afin de chercher les meilleures combinaisons possibles.

2. Test où le sujet doit indiquer, sur une échelle de 1 à 4, dans quelle mesure les affirmations sont vraies pour lui.

3. Test échelonnant les variations des limitations physiques et psychologiques dans le temps.

4. Film réalisé par Marina Julienne et Raphaël Girardot pour l'émission infrarouge sur France 2.



FIGURE 9.6 – Flyer du Lyon Cyber Bike 2018.

Flyer réalisé avec l'aide de Joëlle Pornin, alors jeune retraitée du service *Communication* de l'ENS.

9.4 Travaux liés au sujet principal de la thèse

Durant cette première année de thèse, j'ai préparé le dossier de validation de nos expériences pour le Comité de Protection des Personnes (CPP). L'intérêt premier était de s'assurer que le travail que nous comptions effectuer minimisait au maximum les risques pour la santé des individus, que chaque geste avait été pensé et calculé.

Ce travail consistait à effectuer une recherche de l'état de l'art dans un premier temps afin de justifier la pertinence de nos choix concernant nos méthodes de mesure (outils, fréquence, intérêt), notre cohorte de volontaires, et nos outils étudiés (vélo et rameur à SEF). La recherche d'outils adaptés permettait également d'effectuer une évaluation de la pertinence et des coûts de notre étude. Il a fallu ensuite rechercher des volontaires aptes et rédiger les formulaires de consentements libres et éclairés concernant nos expériences physiques et psychologiques. Puis, avec certains patients volontaires, nous avons effectué des expériences préliminaires afin de vérifier la faisabilité logistique et temporelle de notre projet. Enfin, j'ai préparé les demandes d'autorisation de la CNIL ainsi que les grilles d'entretiens semi-directifs en vue des recherches psychologiques et me suis formée pour les mener. J'ai pris contact avec différentes équipes pour me former à effectuer les mesures physiologiques, ou

à défaut j'ai contacté des laboratoires pour planifier les mesures.

Au cours de cette première année, j'ai également participé à un groupe de réflexion sur la loi sport sur ordonnance. Avec une collègue spécialiste du droit, j'ai réfléchi aux problèmes posés par son application concernant l'électrostimulation. Son utilisation dans un but récréatif (sport en salle ou chez soi) est légale, toutefois son utilisation sur des personnes atteintes de maladies chroniques nécessite l'intervention d'un kinésithérapeute. Le cas de notre salle de sport adapté permettait de réfléchir aux limites et aux problèmes de cette loi.

9.4.1 CPP

Notre travail de recherche impliquait des personnes, or pour des raisons historiques la recherche avec sujets humains est très encadré légalement.

Parmi les débordements historiques marquants se trouvent les quarante années de recherches expérimentales sur la progression de la syphilis de Tuskegee (USA), démarrée en 1932, sur les populations noires et pauvres : Le groupe contrôle, de 200 personnes, était uniquement composé d'individus noirs, recrutés sur la promesse de soins gratuits, qui recevaient à leur insu des médicaments inutiles, voire risqués. Les expérimentations humaines non-consenties les plus connues ont été celles pratiquées sur les prisonniers de guerre des camps de concentration en Allemagne et au Japon (Unité 731) lors de la seconde guerre mondiale : Des tests sur l'hypothermie, l'ingestion d'eau salée, l'inoculation de maladies infectieuses (typhus, peste, choléra), la vivisection, ou encore sur la stérilisation ont été rapportés. Plus récemment, dans les années 1950-1972, ce sont les enfants handicapés mentaux de l'école Willowbrook (USA) qui étaient délibérément infectés par l'hépatite pour rechercher un vaccin.

Le consentement libre et éclairé du patient est aujourd'hui nécessaire, et les intérêts de la science ne doivent jamais prévaloir sur son bien-être personnel (pas de sacrifiés pour la science). Aussi il est nécessaire et même incontournable d'avoir l'aval du CPP, Comité de Protection des Personnes, pour tout projet de recherche en rapport avec l'être humain, que ça soit des études de mesures physiques comme psychologiques. Ce comité est composé de volontaires dont le but est la protection de l'intégrité des personnes participant à la recherche biomédicale, soit les protections médicales, éthiques et juridiques. J'avais donc commencé à monter un dossier CPP sur notre étude cherchant à déterminer les bénéfices physiologiques et psychologiques concernant l'utilisation d'un vélo à SEF.

L'utilisation de SEF peut procurer au patient des sensations désagréables avec un léger risque de brûlure. L'expérience aurait été réalisée sous la supervision d'un masseur kinésithérapeute expérimenté, qui aurait assuré les conditions de la stimulation et minimisé les risques encourus. Nous nous serions assurés de la sécurité des sujets grâce à différents indica-

teurs : Nous aurions surveillés la tolérance physique (cutanée), psychologique (satisfaction, acceptabilité), et fonctionnelle (durée maximale de pédalage) du sujet. La capacité de nos sujets aurait été surveillée par des indicateurs médico-techniques comme la cadence de pédalage.

Le montage d'un dossier complexe et unique portant à la fois sur la psychologie et physiologie des sujets nous a interrogé sur le CPP le plus indiqué pour notre dossier. Nous avons opté pour le CPP le plus médical afin de garantir au maximum la sécurité des sujets. Bien que le projet d'étude regroupant les aspects physiques et psychologiques n'ait pas abouti, les études sur les effets physiques du rameur à SEF ou sur l'optimisation du vélo à SEF se poursuivent.

9.4.2 Sport sur ordonnance

Le sport sur ordonnance est un outil juridique permettant la prescription médicale de l'activité physique aux personnes atteintes d'une affection de longue durée (diabète, hypertension artérielle, lombalgie, ostéoporose, cancer...). L'activité physique régulière s'intègre dans le parcours de soins des individus atteints de pathologies chroniques. Cette pratique n'est pas remboursée par la sécurité sociale, mais correspond à la volonté de promouvoir des thérapies non médicamenteuses [Ngo et al., 2018].

Notre analyse du décret relatif au sport sur ordonnance (2016-1990) cherchait à comprendre les enjeux et les conséquences concrètes de son application sur les acteurs socio-économiques et le monde sportif. En ce qui concerne l'électrostimulation, selon le Code de la santé publique son utilisation en séances de rééducation fonctionnelle ou pour l'atténuation de la douleur est sous la responsabilité d'un médecin ou d'un kinésithérapeute. Le décret Sport sur ordonnance soulevait des incertitudes juridiques sur les conditions de dispensation de l'Activité Physique adaptée (APA), ce qui risquait de modifier profondément l'organisation et la pratique des enseignants en APA. Le décret nous interrogeait également sur la place des mutuelles et sur celle des fédérations sportives.

Définir juridiquement un seuil de puissance, au-dessous duquel un patient pourrait utiliser un appareil d'électrostimulation, permettrait son utilisation hors du cadre médical lors de pratiques sportives. Un médecin ou un kinésithérapeute pourrait définir les objectifs premiers et les précautions à respecter (placement des électrodes, intensité de la stimulation), tandis que le patient organiserait indépendamment son parcours de soins et de vie. Les personnes en situation de handicap moteur deviendraient acteurs de leur santé, avec un accompagnement adapté par des professionnels formés à cet effet. Le contrôle régulier par un professionnel de santé accompagnerait le soin et permettrait un suivi correct de la progression des patients. La question de l'encadrement de l'activité physique régulière par un enseignant APA se posera alors. De même, le remboursement de cette pratique sportive par

les régimes d'assurance maladie obligatoire ou par les mutuelles, indispensable pour l'amélioration de la santé et du bien-être, sera à l'ordre du jour.

Le décret original de 2016 du Sport sur ordonnance permettait la prescription médicale aux patients souffrants d'une affection longue durée (ALD) uniquement dans le cadre d'un parcours de soins. Depuis le 1er mars 2017, le décret inclut la prescription pour des activités physiques adaptées (APA), concernant des activités sportives ou de loisirs reproduisant les mouvements corporels des muscles squelettiques que les individus n'arrivent pas à produire autrement [sport-ordonnance.fr].

Bibliographie

- [han, 1959] (1959). Préambule.
- [vhr, 2019] (2019). www.thoughtco.com/history-of-the-wheelchair-1992670.
- [Ajavon, 2005] Ajavon, F.-X. (2005). Trois exemples historiques d'eugénisme avant galton (1883) : Platon, soranos & vandermonde (i ère partie). *Vesalius*, pages 70–75.
- [Akrich, 2013] Akrich, M. (2013). Les utilisateurs, acteurs de l'innovation. *Sociologie de la traduction : Textes fondateurs*, pages 253–265.
- [Akrich et al., 1988] Akrich, M., Callon, M., and Latour, B. (1988). A quoi tient le succès des innovations ? 1 : L'art de l'intéressement ; 2 : Le choix des porte-parole.
- [Ancet and Nuss, 2012] Ancet, P. and Nuss, M. (2012). *Dialogue sur le handicap et l'altérité*. Dunod.
- [APF, 2002] APF, A. d. p. d. F. (2002). *Déficiences motrices et situations de handicaps : Aspects sociaux, psychologiques, médicaux, techniques, troubles associés*. Broché.
- [Auberger et al., 1998] Auberger, A., PAILLARD, C., PAILLER, D., PINELLI, P., and TERRAZ, C. (1998). Handisport : sport et activités sportives des personnes handicapées. *Réadaptation (Paris)*, (452) :5–40.
- [Balard, 2011] Balard, M. (2011). *Le Moyen-âge en occident*. Hachette Éducation.
- [Barral et al., 2000] Barral, C., Paterson, F., Stiker, H.-J., and Chauvière, M. (2000). L'institution du handicap. le rôle des associations. *XIXe-XXe siècles, Presses universitaires de Rennes*.
- [Barraud, 1954] Barraud, G. (1954). La puériculture et l'eugénisme chez les grecs. *Bulletin de l'Association Guillaume Budé*, 1(1) :70–76.
- [Barth et al., 1999] Barth, J. T., Varney, R. N., Ruchinskas, R. A., and Francis, J. P. (1999). Mild head injury : The new frontier in sports medicine. In *The evaluation and treatment of mild traumatic brain injury*, pages 93–110. Psychology Press.
- [Beacom et al., 2016] Beacom, A., French, L., and Kendall, S. (2016). Reframing impairment ? continuity and change in media representations of disability through the paralympic games. *International Journal of Sport Communication*, 9(1) :42–62.
- [Beaucher, 2012] Beaucher, H. (2012). La scolarisation des élèves en situation de handicap en europe. *Paris : Centre de Ressources et d'Ingénierie documentaires*.

- [Bernstein, 2016] Bernstein, C. (2016). T4, un médecin sous le nazisme.
- [Berthelot et al., 2008] Berthelot, G., Thibault, V., Tafflet, M., Escolano, S., El Helou, N., Jouven, X., Hermine, O., and Toussaint, J.-F. (2008). The citius end : world records progression announces the completion of a brief ultra-physiological quest. *PLoS One*, 3(2).
- [Bhambhani et al., 2010] Bhambhani, Y., Mactavish, J., Warren, S., Thompson, W. R., Webborn, A., Bressan, E., De Mello, M. T., Tweedy, S., Malone, L., Frojd, K., et al. (2010). Boosting in athletes with high-level spinal cord injury : knowledge, incidence and attitudes of athletes in paralympic sport. *Disability and rehabilitation*, 32(26) :2172–2190.
- [Bideau et al., 2009] Bideau, B., Kulpa, R., Vignais, N., Brault, S., Multon, F., and Craig, C. (2009). Using virtual reality to analyze sports performance. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 30(2) :14–21.
- [Boake, 2002] Boake, C. (2002). From the binet–simon to the wechsler–bellevue : Tracing the history of intelligence testing. *Journal of clinical and experimental neuropsychology*, 24(3) :383–405.
- [Brégain, 2018] Brégain, G. (2018). *Pour une histoire du handicap au XXe siècle : approches transnationales (Europe et Amériques)*. Presses universitaires de Rennes.
- [Brehm et al., 2005] Brehm, W., Wagner, P., Sygusch, R., Schönung, A., and Hahn, U. (2005). Health promotion by means of health sport—a framework and a controlled intervention study with sedentary adults. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 15(1) :13–20.
- [Brundtland et al., 1988] Brundtland, R. et al. (1988). Commission mondiale sur l’environnement et le développement. *Notre avenir*.
- [Brunet et al., 2009] Brunet, F., Blanc, C., and Margot, A.-C. (2009). *Polyhandicap, handicap sévère : activités motrices et sensorielles*. Actio.
- [Buckley and Bhambhani, 1998] Buckley, S. M. and Bhambhani, Y. N. (1998). The effects of wheelchair camber on physiological and perceptual responses in younger and older men. *Adapted physical activity quarterly*, 15(1) :15–24.
- [Bugnicourt, 2017] Bugnicourt, R. (2017). *Simulation of the contact between a rough surface and a viscoelastic material with friction*. PhD thesis.
- [Bundon et al., 2017] Bundon, A., Mason, B. S., and Goosey-Tolfrey, V. L. (2017). Expert users’ perceptions of racing wheelchair design and setup : the knowns, unknowns, and next steps. *Adapted physical activity quarterly*, 34(2) :141–161.
- [Burnham et al., 1997] Burnham, R., Martin, T., Stein, R., Bell, G., MacLean, I., and Steadward, R. (1997). Skeletal muscle fibre type transformation following spinal cord injury. *Spinal cord*, 35(2) :86.
- [Canguilhem, 1966] Canguilhem, G. (1966). Le normal et le pathologique.

- [Champollion, 2007] Champollion, P. (2007). Approche comparative des systèmes éducatifs européens de scolarisation des jeunes handicapés (ash). *La nouvelle revue de l'adaptation et de la scolarisation*, (1) :215–224.
- [Chapireau, 2001] Chapireau, F. (2001). La classification internationale du fonctionnement, du handicap et de la santé. *Gérontologie et société*, 24(4) :37–56.
- [Cohen, 2014] Cohen, C. (2014). *La Physique du Sport*. PhD thesis, Ecole Polytechnique.
- [Conac, 1992] Conac, G. (1992). *La déclaration des droits de l'homme et du citoyen de 1789 : histoire, analyse et commentaires*. FeniXX.
- [Courant et al., 2014] Courant, F., Gourmaud, J., and Quindou, S. (2014). *C'est pas sorcier -PNEUS : sorciers mettent la pression*. France 3.
- [Crane et al., 2017] Crane, D. A., Hoffman, J. M., and Reyes, M. R. (2017). Benefits of an exercise wellness program after spinal cord injury. *The journal of spinal cord medicine*, 40(2) :154–158.
- [Crété, 2007] Crété, M. (2007). Hand in cap : tous dans le même chapeau ? *Journal français de psychiatrie*, (4) :11–13.
- [Cyrułnik, 2013] Cyrułnik, B. (2013). *Le merveilleux malheur de Benoît Pinton*. Broché.
- [Dasen, 2009] Dasen, V. (2009). Naître et grandir différent dans le monde grec. In *Décrypter la différence : lecture archéologique et historique de la place des personnes handicapées dans les communautés du passé*, pages 57–62.
- [DDHC, 1789] DDHC (1789). Déclaration des droits de l'homme et du citoyen de 1789.
- [Deci and Ryan, 1985] Deci, E. L. and Ryan, R. M. (1985). Conceptualizations of intrinsic motivation and self-determination. In *Intrinsic motivation and self-determination in human behavior*, pages 11–40. Springer.
- [DePauw, 1997] DePauw, K. P. (1997). The (1n) visibility of disability : cultural contexts and “sporting bodies”. *Quest*, 49(4) :416–430.
- [Deutsch et al., 2011] Deutsch, J. E., Brettler, A., Smith, C., Welsh, J., John, R., Guarrera-Bowlby, P., and Kafri, M. (2011). Nintendo wii sports and wii fit game analysis, validation, and application to stroke rehabilitation. *Topics in stroke rehabilitation*, 18(6) :701–719.
- [Diderot, 2017] Diderot, D. (2017). *Lettre sur les aveugles à l'usage de ceux qui voient-Lettre sur les sourds et muets à l'usage de ceux qui entendent et qui parlent*. Flammarion.
- [Didier-Courbin and Gilbert, 2005] Didier-Courbin, P. and Gilbert, P. (2005). Éléments d'information sur la législation en faveur des personnes handicapées en France : de la loi de 1975 à celle de 2005. *Revue française des affaires sociales*, (2) :207–227.
- [Doriguzzi, 1994] Doriguzzi, P. (1994). *L'histoire politique du handicap : de l'infirmes au travailleur handicapé*. Editions L'Harmattan.

- [Druvert and Rusakievick, 2012] Druvert, J. and Rusakievick, F. (2012). La course fauteuil : matériel et réglage, technique de propulsion, prévention des blessures. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, (55) :e248.
- [europa.eu, 2020] europa.eu (2020). Access city award.
- [Evans et al., 2015] Evans, N., Wingo, B., Sasso, E., Hicks, A., Gorgey, A. S., and Harness, E. (2015). Exercise recommendations and considerations for persons with spinal cord injury. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 96(9) :1749–1750.
- [Faupin et al., 2004] Faupin, A., Campillo, P., Weissland, T., Gorce, P., and Thevenon, A. (2004). The effects of rear-wheel camber on the mechanical parameters produced during the wheelchair sprinting of handibasketball athletes. *Journal of Rehabilitation Research & Development*, 41.
- [Ferez and Thomas, 2012] Ferez, S. and Thomas, J. (2012). *Sport et VIH. Un corps sous contrainte médicale*.
- [Foray and Le Bas, 1986] Foray, D. and Le Bas, C. (1986). Diffusion de l'innovation dans l'industrie et fonction de recherche technique : dichotomie ou intégration in innovation et concurrence. *Economie appliquée*, 39(3) :615–650.
- [Fougeyrollas, 2002] Fougeyrollas, P. (2002). L'évolution conceptuelle internationale dans le champ du handicap : Enjeux socio-politiques et contributions québécoises. *Perspectives interdisciplinaires sur le travail et la santé*, (4-2).
- [Fougeyrollas, 2010] Fougeyrollas, P. (2010). *La funambule, le fil et la toile : transformations réciproques du sens du handicap*. Presses de l'Université Laval Québec.
- [Freeman and Soete, 1997] Freeman, C. and Soete, L. (1997). *The economics of industrial innovation*. Psychology Press.
- [Fuss et al., 2013] Fuss, F. K., Subic, A., Strangwood, M., and Mehta, R. (2013). *Routledge handbook of sports technology and engineering*. Routledge.
- [Gaillard, 2007] Gaillard, J. (2007). *Pratiques sportives et handicaps : " ensemble sportons-nous bien "*. Chronique sociale.
- [Geremek and Arnold-Moricet, 1987] Geremek, B. and Arnold-Moricet, J. (1987). *La potence ou la pitié : l'Europe et les pauvres du Moyen Âge à nos jours*. Gallimard Paris.
- [Germain, 2016] Germain, G. (2016). *Épictète et la spiritualité stoïcienne*. Le Seuil.
- [Gerrits et al., 2003] Gerrits, H., Hopman, M. T., Offringa, C., van Engelen, B. G., Sargeant, A. J., Jones, D. A., and De Haan, A. (2003). Variability in fibre properties in paralysed human quadriceps muscles and effects of training. *Pflügers Archiv*, 445(6) :734–740.
- [Gordon et al., 2007] Gordon, R., Franklin, K., Davies, B., and Baker, J. (2007). Further mechanical considerations between polar and srm mobile ergometer systems during laboratory-based high-intensity, intermittent cycling activity. *Research in Sports Medicine*, 15(4) :241–247.

- [Gouvernement, 1946] Gouvernement (1946). Préambule de la constitution du 27 octobre 1946.
- [gouvernement, 2019] gouvernement (2019). Devenir accompagnant des élèves en situation de handicap.
- [Grappe, 2009] Grappe, F. (2009). *Cyclisme et optimisation de la performance : Science et méthodologie de l'entraînement*. De Boeck Supérieur.
- [Guiraud et al., 2014] Guiraud, D., Coste, C. A., Benoussaad, M., and Fattal, C. (2014). Implanted functional electrical stimulation : case report of a paraplegic patient with complete sci after 9 years. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 11(1) :15.
- [Hansen, 2015] Hansen, J. (2015). The origin of the term handicap in games and sports—history of a concept. *Physical Culture and Sport. Studies and Research*, 65(1) :7–13.
- [Hanson et al., 2001] Hanson, C. S., Nabavi, D., and Yuen, H. K. (2001). The effect of sports on level of community integration as reported by persons with spinal cord injury. *American Journal of Occupational Therapy*, 55(3) :332–338.
- [Harker, 2017] Harker, H. (2017). Portrait d'heather harker, mission égalité lyon 1.
- [Harker, 2018] Harker, H. (2018). Projet ucbl femmes handicap.
- [Hartkopp et al., 2003] Hartkopp, A., Harridge, S. D., Mizuno, M., Ratkevicius, A., Quistorff, B., Kjær, M., and Biering-Sørensen, F. (2003). Effect of training on contractile and metabolic properties of wrist extensors in spinal cord-injured individuals. *Muscle & Nerve : Official Journal of the American Association of Electrodiagnostic Medicine*, 27(1) :72–80.
- [Haüy, 1786] Haüy, V. (1786). *Essai sur l'éducation des aveugles*. Clousier.
- [Héas, 2010] Héas, S. (2010). *Les virtuoses du corps : Enquête auprès d'êtres exceptionnels-Essais-documents*. Max Milo.
- [Héas et al., 2012] Héas, S., Guillard, A., Thomas, J., and Ferez, S. (2012). Manager la visibilité du vih. *Op. Cit*, pages 63–76.
- [Holper et al., 2010] Holper, L., Muehlemann, T., Scholkmann, F., Eng, K., Kiper, D., and Wolf, M. (2010). Testing the potential of a virtual reality neurorehabilitation system during performance of observation, imagery and imitation of motor actions recorded by wireless functional near-infrared spectroscopy (fnirs). *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 7(1) :57.
- [Houssaini and Acharki, 2008] Houssaini, F. S. and Acharki, M. (2008). L'islam et les personnes en situation de handicap. *Journal de Réadaptation Médicale : Pratique et Formation en Médecine Physique et de Réadaptation*, 28(4) :148–152.
- [INSEE, 2011] INSEE (2011). Tableaux de l'Économie française, Édition 2011.
- [INSEE, 2015] INSEE (2015). *Tableaux de l'économie française, Personnes handicapés*. <https://www.insee.fr/fr/statistiques/2569386?sommaire=2587886>.

- [Jaeger, 2016] Jaeger, M. (2016). Les victimes civiles de la deuxième guerre mondiale : maladie mentale et handicap. *psychologie clinique*, (2) :207–222.
- [Jiménez et al., 2009] Jiménez, J., Olea, J., Torres, J., Alonso, I., Harder, D., and Fischer, K. (2009). Biography of louis braille and invention of the braille alphabet. *Survey of ophthalmology*, 54(1) :142–149.
- [Labronici et al., 2000] Labronici, R. H. D. D., CUNHA, M. C. B., OLIVEIRA, A. D. S. B., and GABBAI, A. A. (2000). Sport as integration factor of the physically handicapped in our society. *Arquivos de neuro-psiquiatria*, 58(4) :1092–1099.
- [Lane, 1991] Lane, H. (1991). *Quand l'esprit entend : histoire des sourds-muets*. Odile Jacob.
- [Latty, 2007] Latty, F. (2007). *La lex sportiva : recherche sur le droit transnational*. Brill.
- [Le Breton, 1992] Le Breton, D. (1992). La sociologie du corps.
- [Le Breton, 1999] Le Breton, D. (1999). *L'adieu au corps*. Editions Métailié.
- [Le Breton, 2011] Le Breton, D. (2011). *Anthropologie du corps et modernité*. Presses universitaires de France.
- [Lepers et al., 2012] Lepers, R., Stapley, P. J., and Knechtle, B. (2012). Gender differences in wheelchair marathon performance—oita international wheelchair marathon from 1983 to 2011. *Open access journal of sports medicine*, 3 :169.
- [Levieil, 2017] Levieil, A. (2017). Le niveau de vie des personnes handicapées : des différences marquées selon les limitations.
- [Lewisch, 1996] Lewisch, M. (1996). *Design japonais : 1950-1995*. Editions du Centre Georges Pompidou, Paris.
- [Liotard, 2004] Liotard, P. (2004). L'éthique sportive : une morale de la soumission. *Le sport et ses valeurs*, 1 :1.
- [MacLeish et al., 1993] MacLeish, M. S., Cooper, R. A., Harralson, J., and Ster, J. (1993). Design of a composite monocoque frame racing wheelchair. *Journal of rehabilitation research and development*, 30 :233–233.
- [Mansfield, 1961] Mansfield, E. (1961). Technical change and the rate of imitation. *Econometrica : Journal of the Econometric Society*, pages 741–766.
- [Marcellini, 2005] Marcellini, A. (2005). *Des vies en fauteuil : usages du sport dans les processus de déstigmatisation et d'intégration sociale*. Ed. du Centre technique national d'études et de recherches sur les handicaps
- [Marcellini and Villoing, 2014] Marcellini, A. and Villoing, G. (2014). *Corps, Sport, Handicaps, Tome 2. Le mouvement handisport au 21ème siècle, lectures sociologiques*. Editions Téraèdre.

- [Marcou et al., 2013] Marcou, F., Masson, G., Martel, F., Rancourt, D., Smeesters, C., Berrihan, F., Laroche, J., and Langelier, E. (2013). Enhancing friction between gloves and pushrims for wheelchair racing. In *Proceedings of the 37th Annual Meeting of the American Society of Biomechanics, Omaha, NE, USA*, pages 4–7.
- [Martin, 1997] Martin, J. (1997). *Game of throne*. Harper Collins/libri.
- [Martin et al., 1992] Martin, T. P., Stein, R. B., Hoepfner, P. H., and Reid, D. C. (1992). Influence of electrical stimulation on the morphological and metabolic properties of paralyzed muscle. *Journal of Applied Physiology*, 72(4) :1401–1406.
- [Masson, 2015] Masson, G. (2015). *Amélioration des performances d'athlètes en fauteuil roulant d'athlétisme à partir d'une configuration optimale*. PhD thesis, Université de Sherbrooke.
- [Metani et al., 2017] Metani, A., Popović-Maneski, L., Mateo, S., Lemahieu, L., and Bergeron, V. (2017). Functional electrical stimulation cycling strategies tested during preparation for the first cybathlon competition—a practical report from team ens de lyon. *European journal of translational myology*, 27(4).
- [MGK, 1941] MGK (1941). *Business cycles : A theoretical, historical and statistical analysis of the capitalist process*.
- [Miyazaki et al., 2020] Miyazaki, Y., Iida, K., Nakashima, M., Maruyama, T., and Yamanobe, K. (2020). Measurement of push-rim forces during racing wheelchair propulsion using a novel attachable force sensor system. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P : Journal of Sports Engineering and Technology*, page 1754337120904260.
- [Molet et al., 1989] Molet, H., Sautory, J., and GIGCH, J. V. (1989). The complexity of introducing robotics : lessons drawn from an industrial experience. *The International Journal of Production Research*, 27(3) :529–548.
- [Mollat, 1978] Mollat, M. (1978). *Les pauvres au moyen age. études sociales. Le temps et les hommes. Paris : Hachette*.
- [Muraki et al., 2000] Muraki, S., Tsunawake, N., Hiramatsu, S., and Yamasaki, M. (2000). The effect of frequency and mode of sports activity on the psychological status in tetraplegics and paraplegics. *Spinal Cord*, 38(5) :309.
- [Nagarajan, 2011] Nagarajan, K. (2011). The code of hammurabi : an economic interpretation. *International journal of business and social science*, 2(8).
- [Ngo et al., 2018] Ngo, M.-A., Lemahieu, L., and Bergeron, V. (2018). Analyse juridique du décret «sport sur ordonnance» : enjeux et perspectives. *Science & Sports*, 33 :S12–S13.
- [Nicolas, 2001] Nicolas, S. (2001). *Histoire de la psychologie*. Dunod Paris.
- [Noël, 2012] Noël, J.-P. (2012). *Sports et handicaps : le handisport*. Broché.

- [O'Reagan et al., 1981] O'Reagan, J., Thacker, J., Kauzlarich, J., Mochel, E., Carmine, D., and Bryant, M. (1981). Wheelchair dynamics. wheelchair mobility 1976–1981. *REC, University of Virginia* (p33–41).
- [Pappous et al., 2011] Pappous, A., Marcellini, A., and De Léséleuc, E. (2011). From sydney to beijing : the evolution of the photographic coverage of paralympic games in five european countries. *Sport in society*, 14(03) :345–354.
- [Parain, 1945] Parain, B. (1945). Recherches sur la nature et les fonctions du langage.
- [Parker, 2015] Parker, S. (2015). *Le Grand Larousse du corps humain*. Larousse.
- [Perrier and Perrin, 2017] Perrier, C. and Perrin, C. (2017). Le sport-santé, un nouvel espace à conquérir ? analyse des conflits d'acteurs et des reconfigurations du mouvement sportif face à l'émergence du sport sur ordonnance.
- [Pessis et al., 2013] Pessis, C., Topçu, S., and Bonneuil, C. (2013). *Une autre histoire des " Trente Glorieuses " . Modernisation, contestations et pollutions dans la France d'après-guerre*. Découverte (La).
- [Piéra and Pailler, 1996] Piéra, J. and Pailler, D. (1996). Handicapés physiques et sport.
- [Plaisance et al., 2007] Plaisance, E., Belmont, B., Vérillon, A., and Schneider, C. (2007). Integration ou inclusion ? *La nouvelle revue de l'adaptation et de la scolarisation*, (1) :159–164.
- [Poizat, 2013] Poizat, D. (2013). *Le handicap dans le monde*. Erès.
- [Queval, 2001] Queval, I. (2001). La culture sportive du dépassement de soi : entre santé et performance, quête du bien et quête du mieux. *Cahiers de l'INSEP*, 31(1) :49–59.
- [Quintanilla Barba, 2014] Quintanilla Barba, C. (2014). Commission sur l'égalité et la non-discrimination, égalité et insertion des personnes handicapées.
- [Ravaud et al., 2002] Ravaud, J.-F., Letourmy, A., and Ville, I. (2002). Les méthodes de délimitation de la population handicapée : l'approche de l'enquête de l'insee vie quotidienne et santé. *Population*, 57(3) :541–565.
- [Ravaud and Ville, 2003] Ravaud, J.-F. and Ville, I. (2003). Les disparités de genre dans le repérage et la prise en charge des situations de handicap. *Revue française des affaires sociales*, (1) :225–253.
- [Ravoud et al., 2011] Ravoud, J.-F., Watson, N., and Woods, B. (2011). Histoire sociale et technologique du fauteuil roulant.
- [Rimmer et al., 2017] Rimmer, J. H., Padalabalanarayanan, S., Malone, L. A., and Mehta, T. (2017). Fitness facilities still lack accessibility for people with disabilities. *Disability and health journal*, 10(2) :214–221.
- [Ripoll, 2008] Ripoll, H. (2008). Le mental des champions. *Paris : Payot*.
- [Ripoll, 2016] Ripoll, H. (2016). *La résilience par le sport : Surmonter le handicap*. Broché.

- [Rochegeude, 1999] Rochegeude, A.-S. (1999). *Un merveilleux malheur*. Odile Jacob.
- [Round et al., 1993] Round, J. M., Barr, F. M., Moffat, B., and Jones, D. A. (1993). Fibre areas and histochemical fibre types in the quadriceps muscle of paraplegic subjects. *Journal of the neurological sciences*, 116(2) :207–211.
- [Rousseau, 1772] Rousseau, J.-J. (1772). *Discours sur l'origine et les fondemens de l'inégalité parmi les hommes*, volume 1. Chez Marc Michel Rey.
- [Rowland et al., 2016] Rowland, J. L., Malone, L. A., Fidopiastis, C. M., Padalabalanarayanan, S., Thirumalai, M., and Rimmer, J. H. (2016). Perspectives on active video gaming as a new frontier in accessible physical activity for youth with physical disabilities. *Physical therapy*, 96(4) :521–532.
- [Ruffié and Férez, 2013] Ruffié, S. and Férez, S. (2013). L'institutionnalisation du mouvement handisport (1954-2008). tome 1-corps, sport, handicaps.
- [Ruffié and Marcellini, 2013] Ruffié, S. and Marcellini, A. (2013). *Corps, sport, handicaps*. Téraèdre.
- [Saposnik et al., 2010] Saposnik, G., Teasell, R., Mamdani, M., Hall, J., McIlroy, W., Cheung, D., Thorpe, K. E., Cohen, L. G., and Bayley, M. (2010). Effectiveness of virtual reality using wii gaming technology in stroke rehabilitation : a pilot randomized clinical trial and proof of principle. *Stroke*, 41(7) :1477–1484.
- [Sauret, 2010] Sauret, C. (2010). *Cinétique et énergétique de la propulsion en fauteuil roulant manuel*. PhD thesis.
- [Schantz and Gilbert, 2001] Schantz, O. J. and Gilbert, K. (2001). An ideal misconstrued : Newspaper coverage of the atlanta paralympic games in france and germany. *Sociology of sport journal*, 18(1).
- [Schmid et al., 1998] Schmid, A., Huonker, M., Stober, P., Barturen, J.-M., Schmidt-Trucksäss, A., Dürr, H., Völpel, H.-J., and Keul, J. (1998). Physical performance and cardiovascular and metabolic adaptation of elite female wheelchair basketball players in wheelchair ergometry and in competition1. *American journal of physical medicine & rehabilitation*, 77(6) :527–533.
- [Schuring, 1980] Schuring, D. (1980). The rolling loss of pneumatic tires. *Rubber chemistry and technology*, 53(3) :600–727.
- [Séguillon et al., 2013] Séguillon, D., Férez, S., and Ruffié, S. (2013). L'inclusion des «sourds sportifs» au sein du mouvement handisport. un impossible défi ?
- [Serlin, 2003] Serlin, D. (2003). Crippling masculinity : Queerness and disability in us military culture, 1800-1945. *QLG : A journal of Lesbian and Gay Studies*, pages 152–167–8.
- [Stiker, 2009] Stiker, H.-J. (2009). Les métamorphoses du handicap de 1970 à nos jours. *Grenoble : PUG*.

- [Stiker, 2013] Stiker, H.-J. (2013). *Corps infirmes et sociétés-3e éd. : Essais d'anthropologie historique*. Dunod.
- [Stiker, 2015] Stiker, H.-J. (2015). Vieillesse, pauvreté et handicap dans l'histoire. *Revue d'histoire de la protection sociale*, (1) :132–144.
- [Tant, 2014] Tant, M. (2014). *Inclusion en Education Physique et Sportive des élèves en situation de handicap. Mise en évidence d'un système inclusif en trois stades distincts chez les enseignants d'EPS français*. PhD thesis.
- [Titli, 2010] Titli, C. (2010). Surpopulation et exposition des enfants chez aristote : à propos d'un passage de la politique.
- [Travaillot, 1998] Travaillot, Y. (1998). *Sociologie des pratiques d'entretien du corps : l'évolution de l'attention portée au corps depuis 1960*. FeniXX.
- [Van der Woude et al., 2001] Van der Woude, L., Veeger, H., Dallmeijer, A., Janssen, T., and Rozendaal, L. (2001). Biomechanics and physiology in active manual wheelchair propulsion. *Medical engineering & physics*, 23(10) :713–733.
- [VanderWiel et al., 2016] VanderWiel, J., Harris, B., Jackson, C., and Reese, N. (2016). Exploring the relationship of rolling resistance and misalignment angle in wheelchair rear wheels. *RESNA, Arlington, VA*, 12.
- [Vanlandewijck et al., 2011] Vanlandewijck, Y. C., Verellen, J., and Tweedy, S. (2011). Towards evidence-based classification in wheelchair sports : Impact of seating position on wheelchair acceleration. *Journal of Sports Sciences*, 29(10) :1089–1096.
- [Veeger et al., 1989] Veeger, D., Van der Woude, L., and Rozendal, R. H. (1989). The effect of rear wheel camber in manual wheelchair propulsion. *J Rehabil Res Dev*, 26(2) :37–46.
- [Weege, 1985] Weege, R. (1985). Technische voraussetzungen für den aktivsport im rollstuhl. *Orthopaedie Technik*, 36(6) :395–402.
- [Wetterhahn et al., 2002] Wetterhahn, K. A., Hanson, C., and Levy, C. E. (2002). Effect of participation in physical activity on body image of amputees. *American journal of physical medicine & rehabilitation*, 81(3) :194–201.
- [Yonnet, 1998] Yonnet, P. (1998). *Systèmes des sports*. Gallimard.

« Mundi placet et spiritus minima », ça n'a aucun sens mais on pourrait très bien imaginer une traduction du type : « Le roseau plie, mais ne cède... qu'en cas de pépin » ce qui ne veut rien dire non plus.

Kaamelot Livre VI, Lacrimosa

