

La Switchair



Résumé :

Durant ce semestre nous avons suivi l'UV CS01 qui propose une initiation à l'analyse de la valeur sous fortes contraintes. Cette UV nous donne l'opportunité de réaliser un projet sur un sujet de notre choix en lien avec l'analyse de la valeur. Nous avons choisi de concevoir un fauteuil roulant modulable pour les personnes à mobilité réduite. A travers ce dossier nous décrirons toutes les étapes d'analyse de la valeur que nous avons effectué afin de concevoir ce produit.

[CS01-Rapport Projet]

Adrien CANARD

Table des matières

Table des illustrations	3
Introduction	4
I. Orientation.....	5
II. Rassemblement des informations	7
1. Fauteuil roulant pour personnes hémiplégiques	8
2. Athlétisme	9
3. Basketball fauteuil.....	10
4. Rugby-fauteuil.....	11
5. Paratennis	12
6. Caractéristiques des fauteuils de sport	13
a. Athlétisme fauteuil	13
b. Basketball fauteuil	13
c. Rugby fauteuil	14
d. Paratennis	14
III. Analyse fonctionnelle	15
1. Méthode APTE.....	15
a. Identification du besoin	15
b. Identification du cycle de vie.....	15
c. Composants et environnements extérieurs	15
d. Identification des fonctions.....	16
e. Validation des fonctions	17
2. Méthode SADT	19
a. Niveau A-0.....	19
b. Analyse du Rugby-fauteuil	19
c. Actigramme.....	24
d. Identification des fonctions.....	25
e. Validation des fonctions	26
3. Cahier des Charges Fonctionnelles (CdCF)	27
a. Le niveau d'importance K	27
b. Les critères, les niveaux et le niveau de flexibilité.....	29
c. Cahier des Charges fonctionnelles – Tableaux	29
d. Normes	36
e. Maintenance.....	39
IV. Créativité	41
1. Imagination	41
2. Prototypes.....	46
a. Prototype 1	47
b. Prototype 2	50
3. Maquettage	58
a. Maquette numérique.....	58
b. Q&D maquettage.....	59
V. Etudes et validations	60
1. Fiabilité des prototypes.....	60
2. Coût des prototypes	60
3. Valeur des prototypes	62
VI. Propositions et recommandations	63
VII. Mise en œuvre et suivi.....	64
VIII. Conclusion	65
IX. Bibliographie	66

Table des illustrations

Figure 1 : Logo du système	5
Figure 2: Photographie d'un fauteuil à double main courante – Action 4 NG DUAL HR	8
Figure 3: Photographie d'un fauteuil à levier pendulaire– Action 3 LP	8
Figure 4: Photographie d'un fauteuil à propulsion podale– Weely podal	8
Figure 5: Classification des capacités fonctionnelle pour l'athlétisme	9
Figure 6: Photographie d'un fauteuil pour course sur piste - OX GPX version carbone	9
Figure 7: Classification des capacités fonctionnelles pour le basketball fauteuil	10
Figure 8: Capacités fonctionnelles des joueurs pour dribbler en fonction de leur classe	10
Figure 9: Photographie d'un fauteuil pour basketball – RGK Elite CX	10
Figure 10: Classification des joueurs en fonction de leurs capacités fonctionnelles	11
Figure 11: Photographie d'un fauteuil d'attaque (fauteuil de gauche) et d'un fauteuil de défense (fauteuil de droite)	11
Figure 12: Photographie d'un fauteuil pour Paratennis – Invacare TOP END PRO	12
Figure 13: Tableau comportant les caractéristiques d'un fauteuil d'athlétisme	13
Figure 14: Tableau comportant les caractéristiques d'un fauteuil de basketball	13
Figure 15: Tableau comportant les caractéristiques d'un fauteuil de rugby	14
Figure 16: Tableau comportant les caractéristiques d'un fauteuil de paratennis	14
Figure 17: Représentation graphique du niveau A-0	19
Figure 18: Tableau mettant en relation les activités et les données de la phase « équipement »	20
Figure 19: Tableau mettant en relation les activités et les données de la phase « installation-transfert »	20
Figure 20: Tableau mettant en relation les activités et les données de la phase « installation-éléments de sécurité »	21
Figure 21: Tableau mettant en relation les activités et les données de la phase de « déplacement »	21
Figure 22: Tableau mettant en relation les activités et les données de la phase de « jeu-freinage »	21
Figure 23: Tableau mettant en relation les activités et les données de la phase de « jeu-rotation »	21
Figure 24: 1 ^{er} tableau mettant en relation les activités et les données de la phase de « jeu-passe »	22
Figure 25: 2 ^{ème} tableau mettant en relation les activités et les données de la phase de « jeu-passe »	22
Figure 26: 3 ^{ème} tableau mettant en relation les activités et les données de la phase de « jeu-passe »	22
Figure 27: Tableau mettant en relation les activités et les données de la phase de « jeu-réception »	22
Figure 28: Tableau mettant en relation les activités et les données de la phase de « jeu-chute »	23
Figure 29: Tableau relatant les activités et les données de la phase « installation dans son fauteuil quotidien »	23
Figure 30: Actigramme représentant le niveau A-n	24
Figure 31: Actigramme représentant le niveau A4-n	25
Figure 32: Extrait de la matrice triangulaire regroupant la comparaison des 11 premières fonctions	27
Figure 33: Extrait du tableau regroupant le pourcentage d'importance des 11 premières fonctions	27
Figure 34: Diagramme mettant en relation les fonctions et leur niveau d'importance	28
Figure 35: CdCF correspondant à la phase « achat du FaR »	29
Figure 36: CdCF correspondant à l'utilisation quotidienne du FaR	30
Figure 37: CdCF correspondant à la pratique du tennis-fauteuil	31
Figure 38: CdCF correspondant à la pratique du basket-fauteuil	32
Figure 39: CdCF correspondant à la pratique de l'athlétisme	33
Figure 40: CdCF correspondant à la pratique du rugby-fauteuil	34
Figure 41: CdCF correspondant au transport du FaR	35
Figure 42: CdCF correspondant au stockage du FaR	35
Figure 43: CdCF correspondant à la maintenance du FaR	35
Figure 44: CdCF correspondant au recyclage du FaR	35
Figure 45: Schéma explicitant des différents types de maintenance	39
Figure 46: Tableau explicitant les différents concepts imaginaire et réel pour FC3	42
Figure 47: Tableau explicitant les différents concepts imaginaire et réel pour FC6	43
Figure 48: Tableau explicitant les différents concepts imaginaire et réel pour FC8	44
Figure 49: Tableau explicitant les différents concepts imaginaire et réel pour FC39	45
Figure 50: Représentation cinématique du système de fixation	46
Figure 51: Schéma explicitant le système d'immobilisation	47
Figure 52: Schéma explicitant les différentes mécaniques du système	47
Figure 53: Schéma montrant l'utilité des entretoises et la présence des jeux	48
Figure 54 : Schéma explicitant les composants du système	49
Figure 55 : Schéma montrant les différents points de fixation	49
Figure 56: Schéma explicitant l'insertion du module dans le réceptacle	49
Figure 57: Schéma montrant les différentes positions des accoudoirs	50
Figure 58: Schéma montrant la forme du châssis d'accoudoir	50
Figure 59: Schéma montrant la largeur de l'assise lorsque les accoudoirs sont à l'horizontal	50
Figure 60: Schéma montrant le déplacement de la PMR du fauteuil vers un lit	51
Figure 61: Schéma explicitant le fonctionnement des crics losanges	51
Figure 62: Schéma explicitant le fonctionnement du cousin d'aide à la levée	52
Figure 63: Schématisation d'une chute vue de face	53
Figure 64: Schématisation d'une chute vue de côté	53
Figure 65: Schématisation d'une chute vue du dessus	53
Figure 66: Schéma de l'appui-tête vue de dessus et schéma du système sur le FaR vue de face	53
Figure 67: Vue en coupe de la vue de face et schéma du système sur le FaR vue de côté	53
Figure 68: Schéma explicitant le réglage du dossier	54
Figure 69: Schéma montrant l'action du système sur le pneu en fonction de sa position	55
Figure 70: Schéma cinématique du système d'immobilisation	55
Figure 71: Vue en coupe et schéma cinématique du système de fixation des régleurs d'angle	56
Figure 72: Vue en coupe du système de carrossage	56
Figure 73: Schématisation du système de fixation	57
Figure 74: Modèle 3D du 2 ^{ème} prototype	58
Figure 75: Visualisation du système de fixation	58
Figure 76: Photographie de la maquette Q&D	59
Figure 77: Tableau décrivant les différentes dépenses pour la mise en place du prototype 1	60
Figure 78: Tableau décrivant les différentes dépenses pour la mise en place du prototype 2	61
Figure 79: Tableau décrivant la valeur des prototypes	62
Figure 80: Table de décisions	63

Introduction

Ce projet a pour objectif de mettre en application une méthode appelée « Analyse de la valeur » sur un nouveau système.

La valeur est un jugement porté par un utilisateur sur un produit basé sur ses attentes ou ses motivations.

La méthode repose donc sur les besoins exprimés par un client. Ces besoins sont ensuite transformés en plusieurs fonctions par le concepteur. Par la suite, ces fonctions sont validées par le client afin que le système final réponde à ses besoins initiaux.

Pour mener à bien cette méthode d'analyse de la valeur, il est nécessaire de suivre sept étapes :

1. Orientation et préparation (objectifs, planning)
2. Rassemblement d'informations et description de l'utilisateur lorsqu'il utilise le système
3. Analyse des fonctions et des coûts (SADT, Cahier des charges fonctionnelles)
4. Création de solutions
5. Evaluation des solutions
6. Propositions et recommandations
7. Mise en place

I. Orientation

L'objectif de notre projet est de proposer à des personnes à mobilité réduite (PMR) un unique fauteuil d'apparence standard qu'elles pourront utiliser au quotidien ainsi que pour la pratique de plusieurs activités sportives. Pour cela, diverses solutions sont envisageables comme l'inclinaison des roues latérales, l'ajout d'équipement, la possibilité de transformer son fauteuil ou la proposition de nombreux réglages (au niveau de l'assise, dossier, cales pieds, ...). Tous ces points seront approfondis au cours des diverses étapes de la méthode.

Comme pour chaque entreprise qui développe un produit ou un système, nous avons dû imaginer un nom et un logo pour notre fauteuil.

Nom :

Notre système se prénomme « Switchair ». Il provient de l'association du mot anglais « Switch » signifiant « échanger » et du mot anglais « chair » signifiant « chaise ». Une fois l'appellation choisie, nous sommes allés sur le site inpi.fr afin de nous assurer que ce nom n'était pas utilisé par une autre entreprise.

Logo :

Le logo ci-dessous a été réalisé afin que les tiers puissent rapidement saisir le concept de notre système modulable. La flèche a pour but d'expliquer l'aspect interchangeable et l'aspect dynamique que nous souhaitons donner au fauteuil roulant.

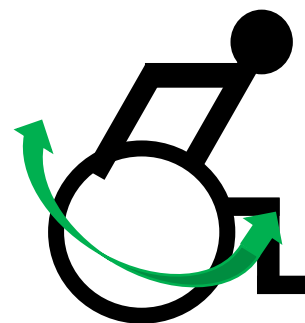


Figure 1 : Logo du système

L'idée d'un fauteuil adapté est apparue après l'analyse des difficultés économiques, sociales et technologiques que rencontrent les personnes à mobilité réduite au quotidien.

Aspect Social :

Ce système permet à la PMR de posséder un seul fauteuil. C'est un point important car certaines personnes atteintes d'un handicap n'ont plus les capacités fonctionnelles nécessaires pour pouvoir changer de fauteuil de manière autonome. Il est possible qu'elles aient besoin d'une tierce personne ou d'un système pour les assister tel qu'un lève-malade. Par conséquent, nous souhaitons que ce système roulant améliore l'autonomie de la PMR mais aussi sa vie sociale et ses expériences sportives.

Aspect économique :

Lorsque l'état de santé ou l'autonomie d'une personne est modifiée l'acquisition ou le renouvellement d'un matériel roulant peut s'avérer nécessaire. Dans ce cas, la sécurité sociale rembourse seulement 588.99€. Les conditions de prise en charge sont les mêmes lorsque le fauteuil roulant est trop vétuste pour pouvoir être utilisé en toute sécurité. Ce montant de 588.99€ est établi sur la base du prix du fauteuil le plus standard, « *l'Insacare Action 3NG* ». Cependant si la personne à mobilité réduite PMR souhaite exercer une quelconque activité sportive et si elle souhaite acheter un fauteuil adapté à cette activité, elle doit déboursier entre 1000€ et 8000€. Nous avons donc souhaité que le budget du fauteuil ne dépasse pas 1000€.

Nous avons choisi de baser notre travail sur deux exemples concrets :

1. En raison de la dégradation de son état de santé, une personne à mobilité réduite se trouve dans l'obligation d'acheter deux fauteuils : un fauteuil classique et un fauteuil sportif adapté à un seul sport. Le coût total minimum des besoins est 1588.99€ et le remboursement de la Sécurité social s'élevant à 588.99€, la PMR a à sa charge 411.09€.

Considérons la même situation, mais cette fois-ci, la PMR fait l'acquisition du système que nous proposons de créer. Le montant à la charge de la PMR est aussi de 411.09€ mais le fauteuil peut être utilisé pour l'usage quotidien et pour pratiquer plusieurs sports. L'achat d'un seul fauteuil suffit.

2. Une PMR désire acheter deux fauteuils sportifs pour pouvoir exercer deux sports différents. Partons du principe que la Sécurité Sociale contribue au remboursement d'un des deux fauteuils. Alors cette personne devra prendre en charge au minimum 1411.01€. Cette somme est bien supérieure au 411.01€ qu'elle devrait payer pour acquérir notre système.

Aspect technologique :

Une personne à mobilité réduite utilise son fauteuil quotidiennement pour ses déplacements mais aussi pour ses activités sportives. Il est donc essentiel que l'unique fauteuil acquis respecte les normes propres aux deux utilisations mais aussi qu'il permette la pratique de multiples sports.

Ensuite, nous souhaitons centrer notre étude sur trois types de handicap : orthopédiques, paraplégiques et tétraplégiques mais aussi sur certains sports : le tennis, le rugby, le basket et l'athlétisme.

De plus, le fauteuil devra être accompagné d'éléments de sécurité, être confortable, être facilement maniable et modifiable, être léger et être recyclable.

Quels sont nos moyens pour mettre en œuvre ce projet ?

D'un point de vue humain, nous sommes trois étudiants en deuxième année d'un cursus préparatoire au sein d'une école d'ingénieurs. Nous sommes accompagnés d'un enseignant spécialisé dans les approches d'analyse, de conception, et d'un second, spécialisé dans les matériaux et dans la mécanique. Durant les étapes « rassemblement d'informations » et « évaluation des fonctions », nous avons été assistés par un ergothérapeute d'une maison d'accueil spécialisée (MAS) et des éducateurs spécialisés dans le handicap.

D'un point de vue matériel, nous avons travaillé sur un fauteuil « *Insacare Action 3NG* » et avons utilisé des logiciels de simulation et de modélisation 3D tels que CREO 4.0 pour créer un aperçu de notre système.

Au niveau logistique, nous avons à notre disposition des véhicules pour réaliser les déplacements. Nous disposons de plusieurs créneaux de travail, une salle de réunion et un groupe de discussion vocale. La majeure partie de notre projet a été réalisée durant la crise sanitaire du Coronavirus de 2020. La réalisation de ce projet s'est donc effectuée dans des conditions très particulières.

A quelles contraintes internes et externes est soumis ce projet ?

Une contrainte interne est une condition qui dépend des problèmes techniques (aspect implicite) et des objectifs pour les résoudre (aspect explicite).

Une contrainte externe est une condition qui dépend des aspects situationnels et contextuels.

Par conséquent, nos contraintes internes vont s'orienter vers les matériaux, l'adaptabilité, l'interchangeabilité et la sécurité du fauteuil. En ce qui concerne nos contraintes externes, elles sont d'ordre budgétaire, temporel (temps passé pour chacune des étapes) et propres à la personne à mobilité réduite (nature du handicap et besoins).

Enfin, pour mener à bien notre projet, nous devons prévoir les tâches à effectuer avant et après chaque réunion et définir les dates limites pour chacune d'elle.

- Responsable du rapport : Adrien CANARD
- Responsable du support oral :
- Responsable du modèle 3D du système :
- Clôture du rapport : 5 juin
- Date de soumission du rapport : 16 juin
- Préparation et répétition de la présentation orale : 10 et 17 juin
- Date de l'exposé : 19 juin

II. Rassemblement des informations

L'objectif de cette étape est de rassembler des informations techniques, industrielles, économiques, commerciales et sociales. Celles-ci sont en lien avec le handisports et les fauteuils utilisés dans la vie quotidienne et sportive.

Quelles sont les disciplines du handisports ?

La Fédération handisports regroupe plus de quarante disciplines sportives et comptabilise près de 22 000 pratiquants pour 521 clubs. Parmi les sports proposés on trouve : l'athlétisme, le basket, le boccia¹, le canoë-kayak, le cyclisme, l'escrime, le foot, l'haltérophilie, la natation, la plongée subaquatique, la randonnée, le rugby, la sarbacane, le ski, le tennis de table, le tir à l'arc et le hockey.... Cette liste est exhaustive et varie selon le type de handicap de la personne. Le handicap peut être orthopédique, visuel, auditif, hémiplegique², neurologique³. Les personnes peuvent aussi souffrir d'hémiplégie, de paraplégies, de tétraplégies ou de paralysie cérébrale⁴. Nous avons choisi de baser notre étude sur certains sports et handicaps.

Quels types de handicap avons-nous ciblés ?

Puisque notre projet concerne un fauteuil roulant, certains handicaps ne pourront donc pas être traités, en particulier ceux liés à la vue et à l'audition. De plus, nous souhaitons que le fauteuil soit manuel et cet aspect rend le système incompatible avec les handicaps neurologiques et les personnes paralysées cérébrales qui utilisent un fauteuil électrique.

En ce qui concerne les personnes hémiplegiques, elles peuvent utiliser un fauteuil roulant manuel, mais celui-ci doit disposer d'un type de propulsion différent des fauteuils classiques. Les plus répandus sont la double-main courante, le levier pendulaire et la traction podale. En raison de la difficulté que représente l'implémentation d'un de ces systèmes sur un fauteuil classique, nous avons estimé que dans un premier temps, notre système ne sera pas destiné à ce type de handicap.

Par conséquent, nos recherches et notre étude se sont concentrées sur les personnes paraplégiques, tétraplégiques et les handicaps orthopédiques. Il est primordial de connaître les spécificités et les caractéristiques qui définissent chacun de ces handicaps.

La paraplégie et la tétraplégie sont des troubles moteurs qui résultent principalement d'une atteinte de la moelle épinière. La paraplégie désigne une paralysie des membres inférieurs et de la partie basse du corps alors que la tétraplégie est une paralysie partielle des quatre membres du corps.

Les handicaps orthopédiques se caractérisent par une aptitude limitée à se déplacer du fait d'une amputation ou d'une agénésie⁵, de raideurs articulaires ou de fragilités osseuses.

Quels sports avons-nous choisis ?

Nous avons décidé de baser notre étude sur l'athlétisme, le basket, le rugby et le tennis. Nous avons analysé leur pratique, leurs équipements et leurs éléments de sécurité.

¹ Sport d'opposition s'apparentant à la pétanque en intérieur avec des balles en cuir.

² Paralysie d'une ou plusieurs parties du corps d'un seul côté.

³ Maladie du système nerveux central ou périphérique. Ils touchent le cerveau, la moelle épinière, les nerfs crâniens ou périphériques, les racines nerveuses, la jonction neuro-musculaire et les muscles.

⁴ Lésions irréversibles survenues sur le cerveau du fœtus ou du nourrisson et qui provoquent des troubles du mouvement, de la posture ainsi que des difficultés cognitives et sensitives.

⁵ Absence de formation d'un membre.

1. Fauteuil roulant pour personnes hémiplegiques

L'hémiplégie ne fait pas partie des handicaps ciblés par notre système, cependant les différents modes de propulsion sont intéressants et l'étude de leur mécanisme peut être une source d'inspiration lors de la recherche de solution.

Fauteuil à double main courante :

Sur ce type de système, deux mains courantes ont été placées du côté valide de la PMR et sur la même roue. Le fauteuil dispose ainsi d'une petite main courante intérieure et d'une autre plus grande. La main courante intérieure est reliée à un arbre de transmission (pantographe ou cadran) qui permet la mise en rotation de la seconde roue. Il faut noter que la présence d'un pantographe empêche le démontage du fauteuil roulant, ce qui n'est pas le cas avec un cadran. Afin de se diriger tout droit, la PMR doit pousser sur les deux mains courantes en même temps. Si elle souhaite faire un demi-tour, elle devra tourner les mains courantes l'une après l'autre dans la direction opposée.

Par conséquent, les fauteuils dotés d'une double main courante demandent beaucoup d'effort physique pour la PMR.



Figure 2: Photographie d'un fauteuil à double main courante – Action 4 NG DUAL HR



Figure 3: Photographie d'un fauteuil à levier pendulaire– Action 3 LP

Fauteuil à levier pendulaire :

Il s'agit d'un fauteuil disposant d'une commande par levier située à l'avant. Par mouvement de pompage avant et arrière du levier, la roue arrière est actionnée et permet au fauteuil d'être mise en mouvement. La direction est aussi commandée par le levier. En effet, ce dernier peut être tourné pour entraîner la rotation des roues avant vers la droite ou vers la gauche. Cependant, ces fauteuils sont peu manœuvrables dans les petits espaces et sont difficiles à pousser pour les tierces personnes.

Fauteuil à propulsion podale :

Sur ce type de fauteuil, l'assise a été abaissée afin que la PMR puisse se déplacer et se diriger à l'aide de son pied fonctionnel. La mise en mouvement du fauteuil pourra aussi être réalisée en tournant avec la main valide une des deux roues motrices. Il est primordial de déterminer la meilleure hauteur d'assise tout en prenant compte l'épaisseur du coussin et le bon appui du pied sur le sol. Pour cela, ce type de fauteuil dispose d'un réglage de la hauteur sol-siège.



Figure 4: Photographie d'un fauteuil à propulsion podale– Weely podal

Remarque : Chaque fauteuil destiné à une personne hémiplegique dispose d'un système de frein centralisé qui permet l'immobilisation du fauteuil

2. Athlétisme

L'athlétisme est le sport paralympique le plus populaire et le plus pratiqué. Il est l'un des premiers sports à avoir été intégré au programme des Jeux Paralympiques de Rome en 1960.

Les athlètes s'affrontent en fonction de leur classification fonctionnelle dans chaque épreuve. Certains participent en fauteuils, d'autres avec des prothèses tandis que les personnes déficientes visuelles peuvent courir en étant guidés.

De même qu'il existe des catégories d'âge ou de poids en sport, les sportifs en situation de handicap sont placés dans des classes. Au sein de cette classification, le chiffre des dizaines correspond à la famille de handicap et celui des unités à l'importance du handicap. Si le nombre est précédé d'un T signifiant Track, cela désigne les courses et les sauts tandis que la lettre F désigne Field correspond aux épreuves de lancers

11 - 13	athlètes ayant une déficience visuelle
20	athlètes ayant une déficience intellectuelle (sport adapté)
31 - 38	athlètes atteints de paralysie cérébrale
40 - 47	athlètes amputés ou ayant un autre handicap physique
50 - 54	athlètes en fauteuil roulant participant aux épreuves sur piste
50 - 57	athlètes en fauteuil roulant participant aux épreuves de lancers
60	athlètes sourds ou malentendants ne participant pas aux Jeux Paralympiques mais aux Deaflympiques

Figure 5: Classification des capacités fonctionnelle pour l'athlétisme

Le sport est règlementé par l'IPC (Comité International Paralympique) et est coordonné par le Comité Technique d'Athlétisme.

Les personnes porteuses de handicap peuvent réaliser de la course sur piste dont les sprints de 100 m, 200 m et 400 m, les demi-fond 800 m et 1500 m, les fond 5000 m et 1000 m et des courses de relais notamment le 4x100 m. Les PMR peuvent aussi participer aux courses sur route comme le marathon. Lors des concours, il y a aussi des épreuves de sauts en hauteur et en longueur, les triples sauts et les lancers de disques, de poids et de javelot.

Certaines de ces disciplines ne s'exercent pas avec un fauteuil roulant. En effet, les épreuves de sauts sont réservées aux personnes possédant une prothèse. Pour les épreuves de lancers, on distingue deux types de catégories : les personnes possédant une prothèse et les personnes utilisant un fauteuil roulant. Ici, les PMR ne n'effectuent pas les lancers au sein de leur fauteuil roulant mais dans un siège de lancer fixé au sol. Cette assise dispose d'éléments assurant la stabilité du joueur tels que des cales pieds, des sangles de maintien, des barres de maintien ajustables et un dossier.

Dans le cadre de notre projet, nous traiterons uniquement les courses sur pistes et les courses sur routes.

Les athlètes en fauteuil appartiennent aux catégories 31 à 34 et 51 à 54 (figure 4). Cela signifie qu'ils sont atteints de paralysie cérébrale ou qu'ils participent aux épreuves sur piste en fauteuil roulant. La masse de leur fauteuil varie de 8 à 10 kg et leur longueur est de 170 à 185 cm. Les roues du fauteuil peuvent être à rayons, à bâtons ou lenticulaires⁶. Les roues lenticulaires en carbone sont privilégiées car elles améliorent les performances. Ainsi, pendant les compétitions, les athlètes peuvent atteindre une vitesse de 36 km/h.

En plus du fauteuil, les athlètes s'équipent d'un casque de vélo et de gants durs ou mous. La qualité des gants diffère suivant le type de poussée.



Figure 6: Photographie d'un fauteuil pour course sur piste - OX GPX version carbone

⁶ Roues pleines permettant de minimiser la traînée aérodynamique.

3. Basketball fauteuil

Le basketball est à l'origine du développement du Handisport. En effet, ce sport a longtemps été le seul sport collectif à pouvoir être pratiqué en fauteuil roulant.

Le basket se joue à cinq contre cinq et s'adresse aux personnes ayant un handicap physique au niveau de la partie inférieure ou supérieure du corps. Cela concerne les personnes paraplégiques, poliomyélites⁷ ou amputées. Comme pour l'athlétisme, les joueurs sont classés en fonction de leur handicap et de leurs capacités fonctionnelles du haut de leur corps :

- La classe 1.0 définit une personne qui a un défaut de stabilité en position assise et qui ne peut pas réaliser de torsion de son tronc.
- La classe 2.0 définit une personne qui est en équilibre en position assise, qui peut réaliser des torsions de son tronc, qui peut effectuer un rebond. Cependant, dès lors qu'elle effectue des flexions avant, arrière, elle perd l'équilibre.
- La classe 3.0 définit une personne qui peut réaliser des mouvements avant et arrière de son tronc mais qui perd l'équilibre lors des mouvements latéraux.
- La classe 4.0 définit une personne dont le mouvement d'une personne est entravé sur un côté mais qui peut utiliser une ou ses 2 jambes.
- La classe 4.5 définit une personne dont les mouvements du tronc sont illimités.

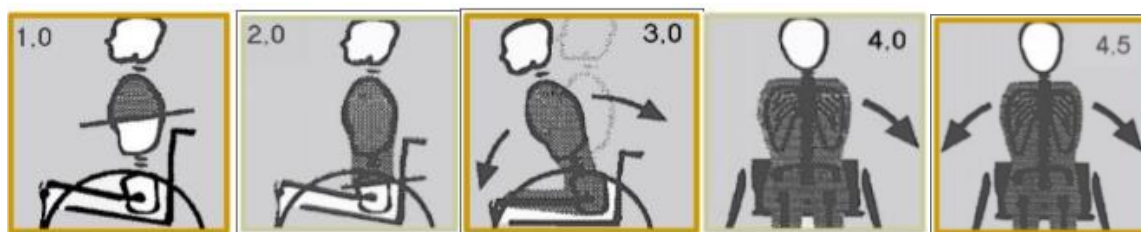


Figure 7: Classification des capacités fonctionnelles pour le basketball fauteuil

Remarque : Au total, une équipe professionnelle ne doit pas excéder 14.5 points.

Pour la phase de jeu, le règlement autorise les reprises de dribble, les contacts avec les adversaires dès lors qu'ils ne nuisent pas à l'intégrité physique des PMR. Le fauteuil est considéré comme une partie intégrante du joueur.

Les phases de dribble, de rotation, de freinage et de passe diffèrent suivant la classe à laquelle la personne appartient. Prenons l'exemple des dribbles, une personne de classe 1.0 a uniquement la capacité de dribbler du côté gauche ou droit du fauteuil et le mouvement de la balle reste aligné avec son buste. Alors qu'une personne de classe 3.0 est capable de dribbler aussi bien à gauche qu'à droite mais aussi devant lui, sur un angle de 180°.

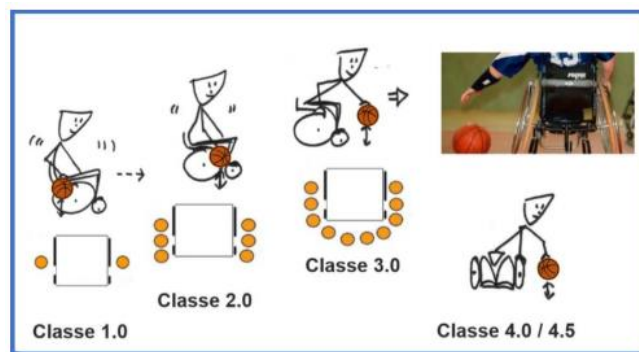


Figure 8: Capacités fonctionnelles des joueurs pour dribbler en fonction de leur classe



Figure 9: Photographie d'un fauteuil pour basketball - RGK Elite CX

La masse d'un fauteuil roulant de basket varie de 7 à 12 kg et son prix de 1 500 à 6 500€ selon le modèle (réglable ou sur mesure) et les options choisies.

Le fauteuil doit être accompagné de divers équipements, notamment d'un système anti-bascule qui se matérialise par deux roulettes à l'avant et de sangles de maintien (abdominal, lombaires ou des jambes).

Remarque : Les sangles et les positions de la PMR diffèrent selon la classe de la personne. Une personne de classe 1.0 a des sangles de maintien abdominal, maintien des jambes et des sangles sur ses cuisses tandis qu'une personne de classe 4.0/4.5 a des sangles au niveau des cuisses et des jambes.

⁷ Pathologie infectieuse grave engendré par le « poliovirus » et qui peut provoquer des paralysies irréversibles.

4. Rugby-fauteuil

Le rugby-fauteuil est un sport mixte opposant deux équipes de quatre joueurs. L'objectif est de franchir la ligne de but adverse en possession d'un ballon de volley tout en empêchant l'adversaire de faire de même. Pour cela, le joueur en possession du ballon doit réaliser au minimum un dribble ou réaliser une passe toutes les 10 secondes. Durant cet intervalle de temps, le joueur peut poser la balle sur ses genoux. En ce qui concerne les chocs et les contacts, ils font partie intégrante de ce sport. Cependant la saisie d'un adversaire avec ses mains et les contacts pouvant nuire à l'intégrité physique des PMR sont interdits.

Comme pour la pratique du basketball fauteuil, les joueurs sont classés selon les capacités fonctionnelles de leur tronc et de leurs aptitudes dans le maniement du fauteuil et du ballon. Ainsi chaque joueur reçoit entre 0.5 et 3.5 points. La PMR qui possède le plus de points sera celle qui a le plus de facilité à se mouvoir. Dès lors que le joueur est classé entre 0.5 et 1.5 points, on parle de petits points et de gros points lorsqu'il est classé entre 2 et 2.5 points.

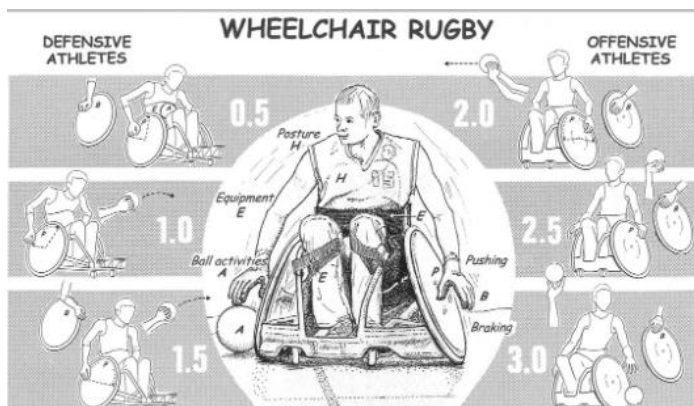


Figure 10: Classification des joueurs en fonction de leurs capacités fonctionnelles

Remarque : Le total de points d'une équipe ne doit pas être supérieur à 8.

Durant la pratique, le joueur doit posséder un fauteuil spécifique au rugby permettant de préserver son intégrité physique. Pour cela, le fauteuil dispose de protections latérales et de pare-chocs. Il doit également être composé de deux roues anti-bascules et de sangles de maintien.

Remarque : Il existe deux types de fauteuils qui diffèrent en fonction du poste occupé sur le terrain. En effet, un joueur offensif possède un fauteuil d'attaque dont le pare-chocs est arrondi. Un joueur défensif utilise un fauteuil de défense dont le pare-chocs est allongé (le bumper) qui permettra d'accrocher le fauteuil de l'adversaire et d'empêcher son déplacement lors des phases de défense.



Figure 11: Photographie d'un fauteuil d'attaque (fauteuil de gauche) et d'un fauteuil de défense (fauteuil de droite)

En ce qui concerne les équipements, les joueurs mettent des gants grippés leurs facilitant la prise de balle et la mise en mouvement du fauteuil. Ils s'équipent également de genouillères et de coudières pour assurer leur protection corporelle.

5. Paratennis

Le paratennis ou le tennis en fauteuil roulant suit les règles de la Fédération internationale de tennis. Les dimensions du terrain et la hauteur du filet sont donc les mêmes que pour le tennis classique. Néanmoins quelques règles sont différentes. Le joueur a la possibilité de laisser rebondir la balle deux fois avant de la renvoyer. De plus, le second rebond peut avoir lieu à l'extérieur des limites du terrain. Certaines fautes ont été également ajoutées. Un point est attribué à l'adversaire dans différentes situations notamment après le troisième rebond de la balle, après que la balle touche une partie du corps du joueur ou son fauteuil ou après que le joueur effectue un renvoi et qu'une de ses deux fesses n'est pas en contact avec le fauteuil.

Remarque :

- Si un joueur tétraplégique ne dispose pas des capacités fonctionnelles pour effectuer le service, un tiers pourra alors lancer la balle à sa place.
- Lors du déplacement de son fauteuil, le joueur doit garder la raquette en main, il n'a donc pas le droit de la poser sur ses genoux

Tous les joueurs souhaitant pratiquer cette discipline doivent disposer d'un handicap moteur ne leur permettant pas de jouer debout. Si cette condition est respectée, les joueurs sont placés dans une des deux catégories. Les quads concernent les personnes disposant d'une atteinte fonctionnelle de leurs jambes et d'un ou de leurs deux membres supérieurs. Ils ont alors la possibilité d'utiliser une orthèse⁸ pour fixer la raquette à leur main et d'utiliser un fauteuil électrique. L'autre catégorie regroupe toutes les personnes dont le handicap nécessite un fauteuil roulant mais dont les membres supérieurs sont fonctionnels.

Là aussi, le fauteuil utilisé pour la pratique du paratennis possède certaines spécificités. En effet, il doit être léger et il doit disposer d'une ou deux roulettes à l'avant ainsi que d'un carrossage⁹ de 20°. Une roue anti-bascule à l'arrière du fauteuil est également recommandée. Cela confère au fauteuil une grande maniabilité et une grande stabilité. Ces deux aspects sont primordiaux car les joueurs sont constamment en mouvement et sont amenés à effectuer des pivots intérieurs et extérieurs lors du renvoi de la balle. Lors des déplacements, le joueur évite les déplacements en marche arrière puisque cela nécessite de devoir relancer le fauteuil et cela lui demande beaucoup d'énergie. D'autres équipements peuvent également être ajoutés comme des sangles, des cales genoux et des ceintures de maintien. Le coût du fauteuil peut ainsi varier entre 1 300€ et 3 500€.



Figure 12: Photographie d'un fauteuil pour Paratennis – Invacare TOP END PRO

⁸ L'orthèse compense ou stabilise une structure articulaire ou musculaire en entourant le muscle ou l'articulation. Elle peut être fixe ou articulée.

⁹ Définit l'angle entre l'axe des roues et la verticale perpendiculaire au sol.

6. Caractéristiques des fauteuils de sport

Après avoir décrit brièvement les spécificités des fauteuils roulants propres à l'athlétisme, au basketball, au rugby et au tennis nous allons désormais analyser quelques fauteuils de marques différentes.

a. Athlétisme fauteuil

La gamme de fauteuil d'athlétisme Flying Start de la marque Actinomie est destinée à la course sur piste ou sur route. Son prix s'élève à 1 091€.

Caractéristiques	Actinomie Flying Start
Largeur d'assise	Petit (25-29 cm), Medium (30.5-34 cm), Large (35.5-39.4 cm), Extra-large (40.5-44.5 cm)
Largeur totale du fauteuil	Petit (62 cm), Medium (67 cm), Large (72 cm), Extra-large (77 cm)
Type d'assise	Assis ou agenouillé
Structure	Cadre en V
Matière	Aluminium 6061-T6
Longueur totale	175 cm
Diamètre de l'essieu arrière	12 mm
Angle de carrossage	10°
Main courante	337 mm de diamètre avec 20 mm d'épaisseur de caoutchouc antidérapant
Frein	Cantilever V
Inclinaison repose-pieds	Horizontal ou à 15°
Couleur	Petit (argent), Medium (vert), Large (rouge), Extra-large (bleu)
Masse	Petit (12 kg), Medium (12.3 kg), Large (12.6 kg), Extra-large (12.9 kg)
Equipements	2 sangles de pieds, 1 sangle de genoux, 1 système anti-bascule

Figure 13: Tableau comportant les caractéristiques d'un fauteuil d'athlétisme

b. Basketball fauteuil

L'enseigne RGK est spécialisée dans les fauteuils pour sports collectifs et propose des fauteuils d'entrée de gamme (RGK Club Sport) et des fauteuils destinés aux pratiques professionnelles (RGK Elite).

Caractéristiques	RGK Club Sport	RGK Elite
Matériau du châssis	Aluminium 7020	Aluminium 7020
Éléments réglables	Repose-pieds (hauteur et angle) et centre de gravité	Assise, repose-pieds (hauteur et angle) et centre de gravité
Angles de carrossage		16°, 18°, 20° et 22°
Dossier		Toile aérée
Roue avant		Antifriction
Equipements	Barre d'attaque, système anti-bascule amovible et protège-vêtements (plaques latérales en aluminium)	Barre d'attaque et système anti-bascule intégrées au châssis
Masse maximum utilisateur		125 kg
Prix	2 329€	5 433€

Figure 14: Tableau comportant les caractéristiques d'un fauteuil de basketball

c. Rugby fauteuil

GTM est une marque polonaise qui propose deux gammes de fauteuil de rugby notamment :

- Le GTM Zoltar qui est un fauteuil défensif
- Le GTM Raptor qui est un fauteuil offensif

Remarque : Les deux fauteuils possèdent les mêmes caractéristiques, seul le pare-chocs situé à l'avant diffère.

Caractéristiques	GTM Zoltar
Matériau du châssis	Aluminium
Dossier	Rigide et non pliable
Eléments réglables	Cale-pieds
Tailles roues arrières	25", 26" ou 28"
Angle de carrossage	10° et 20°
Pression des pneus	20 bars
Roulettes avant	3", anti-bruit et intégrées au cadre
Equipements	Sangles de maintien, système anti-bascule
Couleurs du châssis	Rouge, noir, argent, graphite, bleu clair, bleu marine, cerise et vert

Figure 15: Tableau comportant les caractéristiques d'un fauteuil de rugby

d. Paratennis

La marque Quickie propose deux modèles de fauteuil roulant destinés à la pratique du paratennis : le Match Point et le Match Point TI possédant tous deux des caractéristiques similaires.

Caractéristiques	Match Point
Structure	Légère
Eléments réglables	Centre de gravité, assise (hauteur) et dossier (angle)
Angle de carrossage	16° et 20°
Equipements	Ceintures de maintien
Prix	3 945€

Figure 16: Tableau comportant les caractéristiques d'un fauteuil de paratennis

Remarque : On constate que chaque fauteuil sportif possède un angle de carrossage compris entre 10° et 22°. Cela permet d'améliorer la stabilité, le moment de rotation (2.2 fois plus important que pour un fauteuil classique avec un effort égal) et l'accélération angulaire (1.9 fois plus élevée). Cependant, cette configuration augmente la résistance à la rotation (10%).

III. Analyse fonctionnelle

Cette étape consiste à rechercher et à caractériser les fonctions¹⁰ offertes par notre produit. Pour cela, nous avons dressé l'inventaire des fonctions à l'aide de deux méthodes : la méthode APTE et la méthode SADT. Nous les avons organisées, triées et caractérisées afin d'établir ensuite le cahier des charges fonctionnel.

1. Méthode APTE

La méthode d'application aux techniques d'entreprise est une approche qui se décompose en quatre étapes distinctes :

a. Identification du besoin

« Trouver un système permettant aux PMR de pratiquer différentes activités sportives avec un seul et même fauteuil ».

b. Identification du cycle de vie

Le cycle de vie d'un produit ou d'un système est une série d'étapes qui commence par la production (extraction et récolte des matières premières) et qui se termine par son évacuation finale (élimination ou valorisation). Entre l'étape initiale et l'étape finale, se trouvent la fabrication, l'emballage, le transport, la consommation par les ménages et les industries et le recyclage ou élimination du système.

La réalisation de notre fauteuil pourrait s'effectuer dans les usines d'un fabricant français de fauteuils roulants tels qu'Invacare. Notre produit serait uniquement fabriqué à la demande du client. Il pourrait alors être visualisable et être commandé sur notre page internet ou par le biais d'un magasin spécialisé dans la vente de matériel médical. Après la commande, le système serait livré chez le client afin de régler le fauteuil en fonction de sa morphologie et de lui montrer son utilisation. Le fauteuil serait aussi accompagné d'un mode d'emploi et d'un guide de maintenance permettant à la PMR d'allonger la durée de vie de son fauteuil. En cas de question ou de problème technique, il serait alors possible de contacter le service après-vente. Lors du renouvellement du matériel, les anciens fauteuils seraient alors reconditionnés et revendus d'occasion à d'autres personnes. Ce recyclage pourrait être renouvelé autant de fois que possible dans la mesure où le fauteuil resterait sécurisé et que le coût de remise en état serait convenable. En fin de vie, le fauteuil serait démantelé en vue de recycler un maximum de pièces (récupération ou destruction de pièces).

c. Composants et environnements extérieurs

Au cours de cette étape, nous énumérerons toutes les informations concernant l'utilisateur, les phénomènes qui agissent sur le fauteuil et son utilisation. Afin d'identifier les fonctions du système, nous prendrons en compte différents critères qui sont propres à la personne (le sexe, l'âge, le poids, la nationalité, le type de handicap, le comportement et les habitudes de la personne). Nous tiendrons aussi compte des sports praticables par la PMR, des revêtements des sols sur lesquels le fauteuil est amené à être utilisé mais également des normes de conception. Enfin nous souhaitons que le fauteuil soit muni d'un dispositif de propulsion par main courante. Nous admettrons que le fauteuil dispose de roues motrices et que sa mise en mouvement s'effectue grâce à l'énergie musculaire de l'utilisateur.

¹⁰ Il s'agit d'une action exprimée en termes de but que le produit ou qu'un de ses composants doit réaliser.

d. Identification des fonctions

Nous allons désormais lister les fonctions que notre système doit effectuer. Ces fonctions sont regroupées en deux catégories : les fonctions principales (FP)¹¹ et les fonctions de contraintes (FC)¹². En raison de la complexité de notre projet, il est nécessaire de distinguer les différentes phases d'utilisation du fauteuil mais aussi les différents sports. En effet, ce dernier point est important car si l'intitulé d'une fonction semble la même pour deux sports, la solution apportée peut-être différente.

- **Phase d'achat :**

FC1 : Le fauteuil roulant doit avoir un prix abordable pour le client

FC2 : Le fauteuil roulant doit être agréable à l'œil

- **Phase d'usage quotidien :**

FP1 : Le fauteuil roulant (FaR) doit permettre à une PMR de se déplacer sur les routes goudronnées.

FC3 : Le FaR doit permettre à la PMR de configurer rapidement et simplement son fauteuil pour la vie quotidienne.

FC4 : Le FaR doit pouvoir être remis sur ses roues par une tierce personne.

FC5 : Le FaR doit être facilement mis en mouvement par la PMR avec un minimum d'énergie.

FC6 : Le FaR doit respecter les normes de conception adéquates à l'utilisation quotidienne.

FC7 : Le FaR doit pouvoir être mis en mouvement par la PMR.

FC8 : Le FaR doit pouvoir être manœuvrable par la PMR.

FC9 : Le FaR doit être stable lors d'un transfert de la PMR d'un environnement à un autre.

- **Phase d'usage sportif :**

FP2 : Le FaR doit permettre à une PMR de se déplacer sur les terrains de gymnase.

FP3 : Le FaR doit permettre à une PMR de se déplacer sur les pistes d'athlétisme et sur les routes.

FP4 : Le FaR doit permettre à une PMR de se déplacer sur les terrains goudronnés ou sur terre battue.

FP5 : Le FaR doit permettre à une PMR de pratiquer du tennis-fauteuil.

FP6 : Le FaR doit permettre à une PMR de pratiquer du basket-fauteuil.

FP7 : Le FaR doit permettre à une PMR de pratiquer de l'athlétisme.

FP8 : Le FaR doit permettre à une PMR de pratiquer le rugby-fauteuil.

FC10 : Le FaR doit pouvoir résister durablement aux impacts entre PMR et entre fauteuils.

FC11 : Le FaR doit pouvoir être remis sur ses roues par une tierce personne.

FC12 : Le FaR doit être facilement mis en mouvement par la PMR avec un minimum d'énergie durant la pratique du tennis-fauteuil.

FC13 : Le FaR doit être facilement mis en mouvement par la PMR avec un minimum d'énergie durant la pratique du basket-fauteuil.

FC14 : Le FaR doit être facilement mis en mouvement par la PMR avec un minimum d'énergie durant la pratique du rugby-fauteuil.

FC15 : Le FaR doit être facilement mis en mouvement par la PMR avec un minimum d'énergie durant la pratique de l'athlétisme.

FC16 : Le FaR doit pouvoir être manœuvrable par la PMR pendant dans la pratique du tennis-fauteuil.

FC17 : Le FaR doit pouvoir être manœuvrable par la PMR pendant dans la pratique du basket-fauteuil.

FC18 : Le FaR doit pouvoir être manœuvrable par la PMR pendant dans la pratique du rugby-fauteuil.

FC19 : Le FaR doit pouvoir être manœuvrable par la personne à mobilité réduite pendant dans la pratique de l'athlétisme.

FC20 : Le FaR doit permettre à la PMR de configurer rapidement et simplement son fauteuil pour tennis-fauteuil.

FC21 : Le FaR doit permettre à la PMR de configurer rapidement et simplement son fauteuil pour le basket fauteuil.

FC22 : Le FaR doit permettre à la PMR de configurer rapidement et simplement son fauteuil pour le rugby fauteuil.

FC23 : Le FaR doit permettre à la PMR de configurer rapidement et simplement son fauteuil pour l'athlétisme.

FC24 : Le FaR doit respecter les normes de conception.

¹¹ Le système permet à un environnement extérieur d'agir sur un autre environnement extérieur

¹² Le système agit sur un environnement extérieur

- **Phase de transport :**

FC25 : Le FaR doit pouvoir se ranger facilement dans un espace restreint.

FC26 : Le FaR doit être facilement transportable par la PMR.

FC27 : Le FaR doit être facilement transportable par des tiers.

- **Phase de stockage :**

FC28 : Le FaR doit pouvoir se ranger facilement dans un espace restreint.

FC29 : Le FaR doit pouvoir être facilement démonté par une PMR.

- **Phase de maintenance :**

FC30 : Le FaR doit pouvoir facilement être entretenu par la PMR.

FC31 : Le FaR doit pouvoir facilement être entretenue par les tierces personnes

- **Phase de recyclage :**

FC32 : Le FaR doit être composé de matériaux recyclables.

FC33 : Le FaR doit être composé de matériaux respectueux de l'environnement

e. Validation des fonctions

Désormais, nous allons procéder à la validation des fonctions. Cela passe par vérification de leur pertinence et de leur stabilité à parti de trois questions :

1. Quelles sont les causes de cette fonction ?
2. Quels sont les objectifs de cette fonction ?
3. Est-ce que la fonction est susceptible d'évoluer ou de disparaître avec le temps ?

Si la fonction répond aux deux premières questions et qu'elle n'est pas amenée à disparaître, alors la fonction est validée.

- **FC9 : Le FaR doit être stable lors d'un transfert de la PMR d'un environnement à un autre.**

Causes ?

Dans sa vie quotidienne, la PMR est amenée à sortir de son fauteuil ou à s'y installer. Par exemple, lorsqu'elle souhaite s'installer dans sa voiture ou lorsqu'elle souhaite en sortir.

Objectifs ?

Le fauteuil doit être stable afin d'éviter la chute de la PMR lors de son déplacement vers un milieu extérieur ou vers son fauteuil.

Evolution ?

Cette fonction va perdurer dans les prochaines années car la PMR aura toujours besoin de s'installer ou de sortir de son fauteuil (seule ou avec une aide extérieure).

- **FC10 : Le FaR doit pouvoir résister durablement aux impacts entre PMR et entre fauteuils.**

Causes ?

Lors de son activité sportive, la PMR est installée dans son fauteuil sportif cependant elle peut percuter un ou plusieurs autres fauteuils. Chacune des sollicitations subies par le fauteuil pourrait le détériorer.

Objectifs ?

L'objectif est que le fauteuil ne se casse pas au premier choc et qu'il résiste aux efforts de traction et de compression qu'il va rencontrer au cours de son utilisation.

Evolution ?

Cette fonction va perdurer car les contacts font partie intégrante du sport, qu'ils soient volontaires ou non.

- **FC11 : Le FaR doit pouvoir être remis sur ses roues par une tierce personne.**

Causes ?

Durant la pratique sportive, le fauteuil de la PMR peut recevoir des chocs, se déplacer ou changer de direction rapidement ou être ralenti brusquement. Toutes ces sollicitations peuvent provoquer le basculement du fauteuil et entraîner la chute de la PMR. Dans cette situation, il est difficile pour une tierce personne de redresser le fauteuil et de replacer la PMR rapidement dans son fauteuil sans la blesser et se blesser elle-même.

Objectifs ?

L'objectif est que le fauteuil puisse être facilement remis sur ses roues par une ou deux personnes tout en assurant la sécurité de la PMR et des personnes effectuant la manipulation.

Evolution ?

Malgré le système anti-basculer, le fauteuil de la PMR peut basculer lors des déplacements quotidiens mais aussi pendant la pratique sportive. Par conséquent cette fonction va perdurer.

- **FC12 : Le FaR doit être facilement mis en mouvement par la PMR avec un minimum d'énergie durant la pratique du tennis-fauteuil.**

Causes ?

Lors de la pratique du tennis-fauteuil, la PMR doit se déplacer en fonction de la trajectoire de la balle et doit également réaliser un renvoi de cette balle. L'enchaînement des phases de déplacements et de frappes peuvent très rapidement fatiguer le joueur.

Objectifs ?

La mise en mouvement du fauteuil doit demander à la PMR le minimum d'effort possible afin qu'elle puisse se focaliser sur ses renvois et ses déplacements.

Evolution ?

Cette fonction va très certainement augmenter car cela va permettre d'améliorer les performances de jeu.

- **FC26 : Le FaR doit être facilement transportable par la PMR.**

Causes ?

Dès lors que la PMR emprunte un véhicule, elle doit transporter son fauteuil.

Objectifs ?

L'objectif est que le fauteuil puisse facilement être démontable ou pliable afin que la PMR puisse le mettre aisément dans son véhicule tout en prenant le moins de place possible.

Evolution ?

Cette fonction va perdurer car les PMR se déplacent relativement souvent et transportent leur fauteuil durant leurs déplacements.

Ici les cinq fonctions évaluées ainsi que les autres possèdent des causes et des objectifs qui sont en adéquation avec notre thématique. De plus, elles ne sont pas amenées à disparaître. Elles constituent donc des fonctions stables et pertinentes.

2. Méthode SADT

La méthode « Structural Analysis and Design Technical » est une approche qui permet de définir les fonctions requises au fonctionnement du système. Elle se base sur la rédaction et l'analyse de l'activité d'un point de vue unique.

a. Niveau A-0

Le niveau A-0 est une représentation graphique qui a pour but de décrire le fonctionnement général du système. Elle se matérialise par une boîte centrale où se situe l'action réalisée par le système et autour de laquelle se trouvent plusieurs éléments qui vont être en interaction avec l'action ou qui vont en résulter. Ainsi, l'entité à gauche de la boîte correspond aux matières d'œuvre entrantes et celles de droite, aux matières d'œuvre sortantes. De plus, en-dessous de la boîte apparaissent les entités qui réalisent l'action et au-dessus les entités qui la contrôlent.

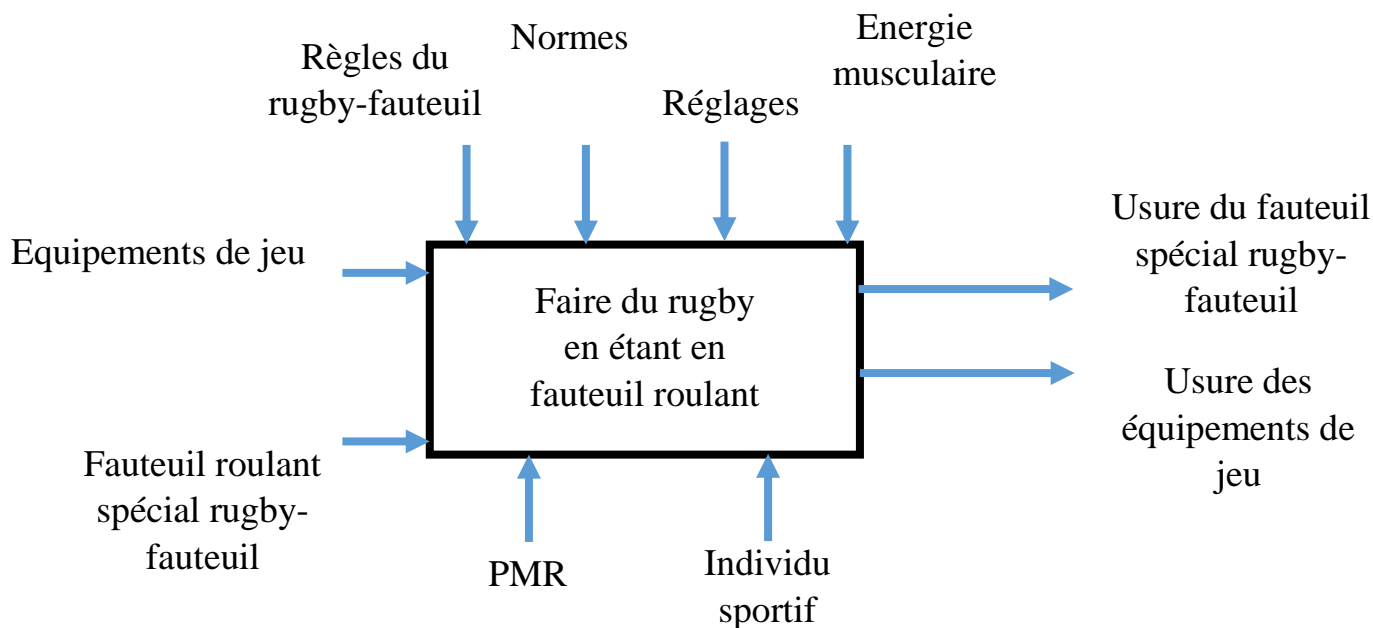


Figure 17: Représentation graphique du niveau A-0

b. Analyse du Rugby-fauteuil

Afin de faire apparaître de nouvelles fonctions, nous avons analysé les actions opérationnelles réalisées par la PMR. Cette analyse s'étend de la phase d'équipement à la fin de l'activité.

Pour cela, nous avons décidé d'analyser la pratique du rugby-fauteuil à travers une vidéo trouvée sur YouTube et réalisée par le créateur de contenu connu sous le pseudo de « Tibo InShape ». Celle-ci explique comment se pratique la discipline à travers le témoignage des joueurs du Stade Toulousain Rugby Handisport. Elle permet également d'avoir un aperçu des différentes tâches et actions permettant d'exercer ce sport.

Dans un premier temps, nous avons retranscrit les différentes phases du rugby-fauteuil. Puis nous avons relevé les verbes (en violet) qui constituent les activités ainsi que les noms communs (en vert) qui représentent les données. Nous avons ensuite répertorié chacune des actions et des données au sein d'un tableau. Cela a permis notamment d'explicitier la chronologie des actions réalisées par la PMR

- **Phase d'équipement**

Initialement, la **personne à mobilité réduite** (PMR) est placée dans son **fauteuil quotidien**. Elle **enfile** d'abord un **maillot de sport**, puis des **manchettes** permettant de freiner avec ses avants bras et enfin des **gants** améliorant le grip entre ses mains et les roues du fauteuil. Elle **maintient** en place ses **gants** à l'aide d'un **scotch**.

	Se placer	Enfiler	Maintenir
Personne à mobilité réduite	X	X	
Fauteuil quotidien	X		
Maillot de sport		X	
Manchettes		X	
Gants		X	X
Scotch			X

Figure 18: Tableau mettant en relation les activités et les données de la phase « équipement »

- **Phase d'installation dans son fauteuil sportif**

Deux cas de figure se présentent : soit une tiers personne approche le fauteuil sportif près de la PMR, soit la PMR met en rotation son fauteuil quotidien afin de se placer à gauche du fauteuil sportif à environ 30°. Elle actionne ensuite les freins sur les deux fauteuils puis elle pose ses pieds sur le sol. Après cela, elle dispose sa main gauche sur l'assise ainsi que sa main droite sur le côté droit du châssis du fauteuil sportif. Par le biais de la force qu'elle exerce sur ses mains, elle soulève le haut de son corps et met en mouvement son corps afin de s'asseoir dans son fauteuil sportif.

	Approcher	Mettre en rotation	Se placer	Actionner	Poser	Disposer	Exercer	Soulever	Mettre en mouvement	S'asseoir
Tiers personne	X									
Fauteuil sportif	X			X		X				X
PMR		X	X	X	X	X	X	X	X	X
Fauteuil quotidien		X	X	X						
A gauche du fauteuil sportif			X							
A 30°			X							
Freins				X						
Pieds					X					
Sol					X					
Main gauche						X	X			
Assise						X				
Mains droite						X	X			
Force							X			
Haut du corps								X		
Corps									X	

Figure 19: Tableau mettant en relation les activités et les données de la phase « installation-transfert »

Enfin, elle **serre** les **sangles de maintien au niveau de ses pieds**, de son **bassin** et elle **serre** une **ceinture au niveau de son tronc**.

	Se situer	Serrer	Serrer	Serrer
PMR	X	X	X	X
Fauteuil sportif	X			
Sangles aux pieds		X		
Sangles au bassin			X	
Ceinture abdominale				X

Figure 20: Tableau mettant en relation les activités et les données de la phase « installation-éléments de sécurité »

- **Phase de jeu, déplacement**

Premièrement, la **PMR place ses mains en haut des roues sur les mains courantes**, ensuite elle **compresse les roues vers l'intérieur**. Puis, lorsqu'elle **penche son buste vers l'avant**, elle **donne une impulsion sur les roues à l'aide de ses bras** jusqu'à ce que ses **mains soient placées à environ 30 cm du sol**. Enfin, elle **replace ses mains sur le dessus des pneus** ainsi que son **buste contre le dossier** puis elle **réitère le mouvement**.

	Placer	Compresser	Pencher	Donner	Placer	Replacer
PMR	X	X	X	X		X
Mains	X	X		X	X	X
Mains courantes	X	X				X
Roues		X				
Vers l'intérieur du fauteuil		X				
Buste			X			X
Vers l'avant			X			
Impulsion				X		
30 cm du sol					X	
Dossier						X

Figure 21: Tableau mettant en relation les activités et les données de la phase de « déplacement »

- **Phase de jeu, freinage**

Lorsque le **fauteuil sportif est en mouvement**, la **PMR pose ses mains ou ses avant-bras sur les deux pneus** afin de **ralentir le fauteuil**.

	Etre en mouvement	Poser	Ralentir
Fauteuil sportif	X		X
PMR	X	X	X
Mains ou avant-bras		X	
Pneus		X	

Figure 22: Tableau mettant en relation les activités et les données de la phase de « jeu-freinage »

- **Phase de jeu, rotation**

Lorsque le **fauteuil sportif est en mouvement**, la **PMR pose sa main ou son avant-bras sur le pneu droit** afin de **ralentir le fauteuil** et de le **déplacer vers la droite**. Si la **PMR souhaite tourner à gauche**, elle doit effectuer la même opération sur le pneu gauche.

	Etre en mouvement	Poser	Ralentir	Déplacer
Fauteuil sportif	X		X	X
PMR	X	X	X	X
Main ou avant-bras		X		
Pneu droit		X		
Vers la droite				X

Figure 23: Tableau mettant en relation les activités et les données de la phase de « jeu-rotation »

- **Phase de jeu, passe**

Pour effectuer une passe, la PMR a trois possibilités. Pour la première, elle saisit la balle à deux mains puis elle dispose la balle au niveau de sa poitrine. Ensuite, elle élance ses bras vers l'avant et lâche la balle. Pour la deuxième, elle saisit la balle à une main puis elle tend son bras en dehors du fauteuil et vers l'extérieur. Ensuite, elle élance son bras vers l'avant et lâche la balle. Pour la troisième, elle saisit la balle avec une main, puis elle place ses deux mains et la balle à droite ou à gauche du fauteuil. Ensuite, elle lance la balle vers le haut et elle tape la balle avec la paume de sa seconde main. On pourrait assimiler le deuxième mouvement à une passe de handball et le dernier à une manchette de volley-ball.

	Saisir	Dispose	Elancer	Lâcher
PMR	X	X	X	X
Balle	X	X	X	X
Mains	X	X	X	
Poitrine		X		
Bras vers l'avant				X

Figure 24: 1^{er} tableau mettant en relation les activités et les données de la phase de « jeu-passe »

	Saisir	Tendre	Elancer	Lâcher
PMR	X	X	X	X
Balle	X		X	X
1 main	X			
Bras à l'extérieur		X		
Bras vers l'avant			X	

Figure 25: 2^{ème} tableau mettant en relation les activités et les données de la phase de « jeu-passe »

	Saisir	Placer	Lancer	Taper
PMR	X	X	X	X
Balle	X	X	X	X
Main droite	X	X		
Mains gauche		X		X
A l'extérieur du fauteuil		X		
Vers le haut			X	
Paume				X
Sous la balle				

Figure 26: 3^{ème} tableau mettant en relation les activités et les données de la phase de « jeu-passe »

- **Phase de jeu, réception**

La PMR dispose ses mains au-dessus de sa tête puis elle penche le haut de son corps vers l'avant ou vers l'arrière afin d'attraper la balle. Elle place ensuite la balle sur ses genoux.

	Disposer	Pencher	Attraper	Placer
PMR	X	X	X	X
Mains au-dessus de sa tête	X			
Haut du corps vers l'avant ou vers l'arrière		X		
Balle			X	X
Genoux				X

Figure 27: Tableau mettant en relation les activités et les données de la phase de « jeu-réception »

- **Phase de jeu, chute**

Durant la pratique, les joueurs sont amenés à se percuter et peuvent donc chuter. Après une chute, deux tierces personnes vont relever le FaR et la PMR. La première personne se place à l'avant du fauteuil tandis que l'autre se dispose à l'arrière. Elles repositionnent d'abord le fauteuil à plat et elles replacent la PMR dans son fauteuil. Ensuite, chacune des personnes saisit des éléments préhensibles puis elle soulève le fauteuil et la PMR afin de remettre le FaR sur ses roues.

	Se placer	Se disposer	Repositionner	Replacer	Saisir	Soulever	Remettre
Tiers personne (1)	X		X	X	X	X	X
Tiers personne (2)		X	X	X	X	X	X
PMR				X		X	
FaR sportif à plat		X					
Fauteuil sportif						X	
A l'avant du FaR sportif	X		X				
A l'arrière du FaR sportif							
FaR sportif sur ses roues							X
Éléments préhensiles					X		

Figure 28: Tableau mettant en relation les activités et les données de la phase de « jeu-chute »

• Phase d'installation dans son fauteuil quotidien

La PMR met en rotation son fauteuil sportif afin de se placer à gauche du fauteuil quotidien à environ 30°. Elle actionne les dispositifs d'immobilisation sur les deux fauteuils. La PMR desserre les ceintures de maintien en commençant par celle située sur son tronc puis celle placée sur son bassin et celle serrant ses pieds. Suite à cela, elle dispose ses pieds sur le sol puis elle place sa main gauche sur l'assise et sa main droite sur l'accoudoir du FaR quotidien. Elle exerce ensuite une force sur les différents points d'appuis pour se soulever. Enfin, elle se penche vers le FaR quotidien afin de déplacer son corps et de s'y asseoir.

	Se placer	Actionner	Desserrer	Disposer	Placer	Exercer	Se soulever	Se pencher	Déplacer	S'asseoir
PMR	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
FaR sportif (1)	X	X								
FaR quotidien (2)		X								X
A gauche du (2)	X									
A 30°	X									
Freins		X								
Ceintures			X							
Pieds sur le sol				X						
Main gauche sur assise (1)					X					
Main droite sur accoudoir (2)					X					
Force sur les points d'appuis						X				
Vers l'avant (2)								X		
Corps									X	

Figure 29: Tableau relatant les activités et les données de la phase « installation dans son fauteuil quotidien »

c. Actigramme

Pour finir nous avons retranscrit ces tableaux au sein d'une nouvelle représentation graphique. Cette représentation correspond à une division du niveau A-0 en plusieurs sous-niveaux (A-n) permettant ainsi une meilleure description du système. Les tableaux nous ont donc permis de classer les données et les actions en fonction des différentes phases et ainsi d'obtenir un enchaînement chronologique des diverses actions.

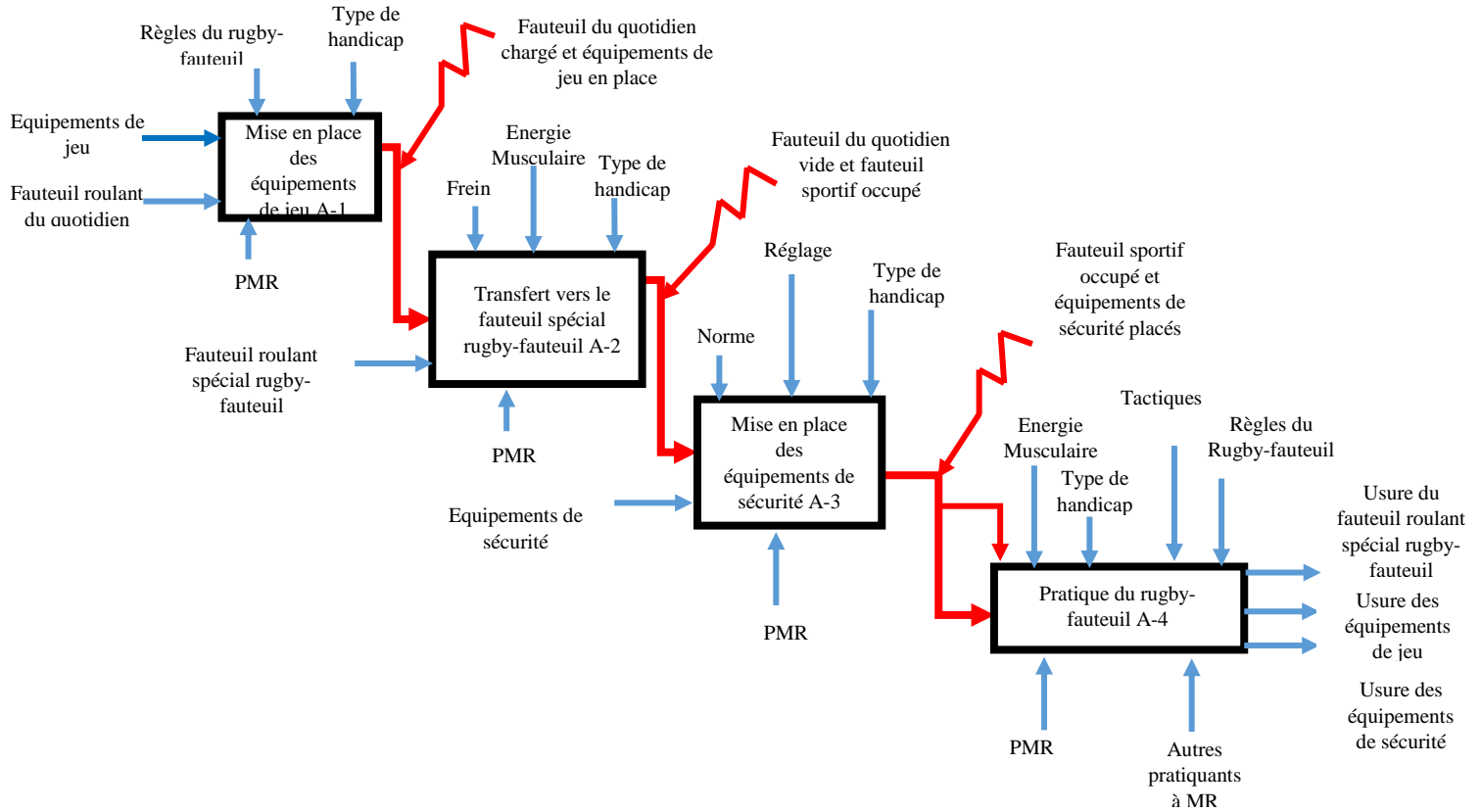


Figure 30: Actigramme représentant le niveau A-n

Chaque action composant un niveau peut être subdivisée entre 3 et 6 sous-niveaux. Nous avons donc utilisé ce principe avec le niveau A-4. En effet, d'après les tableaux qui constituent la phase de jeu, nous constatons que beaucoup d'actions et de données n'ont pas été traitées dans l'actigramme précédent. Ainsi, en divisant le niveau A-4 en 5 sous-niveaux, nous pourrions éventuellement identifier de nouvelles fonctions.

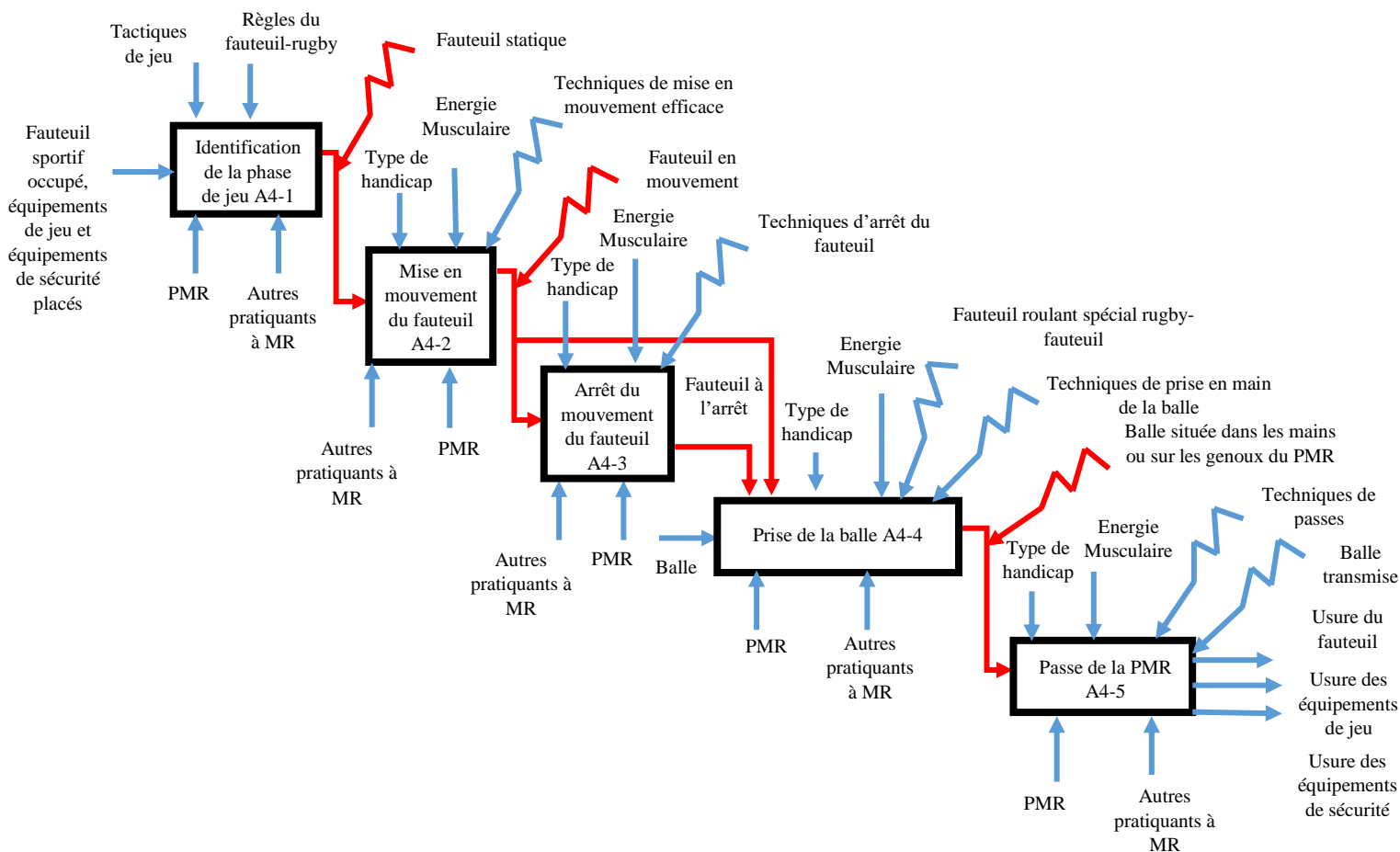


Figure 31: Actigramme représentant le niveau A4-n

d. Identification des fonctions

Par le biais de la méthode SADT, nous constatons que certains points n'ont pas été traités lors de la méthode APTE. En effet, nous avons remarqué qu'en amont de l'activité sportive, la PMR doit intervertir de fauteuil (FC38), elle doit le régler et elle doit y ajouter des éléments de sécurité (FC37). De plus, en analysant la phase de jeu, nous avons été surpris par la violence de certains chocs entre les joueurs et leur fauteuil. Ces impacts entraînent parfois la chute du joueur et de son fauteuil. D'un point de vue humain, il est important que ces chocs ou ces chutes ne blessent pas les joueurs mais également les tiers qui les aident à se relever (FC34, FC35, FC36). D'un point de vue matériel, le fauteuil ne doit pas dégrader l'état du sol car cela pourrait impacter la pratique sportive. La dégradation du sol pourrait également détériorer les fauteuils roulants (FC40). Nous avons alors identifié de nouvelles fonctions de contraintes qui doivent être intégrées aux fonctions identifiées lors de la méthode APTE.

FC34 : Le FaR doit pouvoir préserver l'intégrité physique de la personne à mobilité réduite.

FC35 : Le FaR doit pouvoir préserver l'intégrité physique des tiers.

FC36 : Le FaR doit pouvoir préserver l'intégrité physique des autres sportifs.

FC37 : Le FaR doit être réglable à la personne à mobilité réduite.

FC38 : Le FaR doit être stable lors d'un transfert de la PMR d'un environnement à un autre.

FC39 : Le FaR doit permettre à la PMR d'avoir une grande liberté dans la mobilité de ses bras

FC40 : Le FaR ne doit pas endommager ou marquer le sol lorsqu'il est mis en mouvement ou stoppé par la PMR

FC41 : Le FaR doit être manœuvrable par un tiers.

e. Validation des fonctions

Comme nous avons pu le voir avec la méthode APTE, nous avons vérifié la pertinence et la stabilité des nouvelles fonctions.

- **FC35 : Le FaR doit pouvoir préserver l'intégrité physique des tiers.**

Causes ?

Les tiers sont amenés à manipuler le fauteuil de la PMR notamment pour la déplacer ou alors pour replacer le fauteuil sur ses roues dès que la PMR chute.

Objectifs ?

Le fauteuil ne doit en aucun cas porter atteinte à l'intégrité physique de la ou des tierces personnes qui manipulent le fauteuil.

Evolution ?

Il est assez fréquent que la PMR ait besoin d'une assistance lors de ses déplacements et lorsqu'elle sort de son fauteuil ou qu'elle s'y assoie. Par conséquent, cette fonction va perdurer.

- **FC39 : Le fauteuil doit permettre à la PMR d'avoir une grande liberté dans la mobilité de ses bras.**

Causes ?

Lors de sa pratique sportive, la PMR est amenée à être en mouvement afin de déplacer son fauteuil, faire une passe, attraper la balle ou regarder autour d'elle.

Objectifs ?

Ici le fauteuil ne doit pas bloquer la PMR dans ses gestes. Ainsi la PMR doit pouvoir effectuer une rotation de ses bras, mettre ses bras à l'extérieur du fauteuil, se pencher en avant ou en arrière et tourner son buste.

Evolution ?

Cette fonction est amenée à augmenter dans le temps car cela permettra d'améliorer la mobilité et la performance des joueurs.

Ici les deux fonctions étudiées mais également celles énumérées précédemment, possèdent des causes et des objectifs qui sont en adéquation avec notre thématique. De plus, ces fonctions ne sont pas amenées à disparaître. Elles constituent donc des fonctions stables et pertinentes.

3. Cahier des Charges Fonctionnelles (CdCF)

Le CdCF est un tableau permettant de détailler et de caractériser les fonctions obtenues à travers la méthode APTE et la méthode SADT. Pour cela, le tableau se compose de l'intitulé de la fonction, de son niveau d'importance, de ses critères, d'un intervalle de valeur associé aux critères et du niveau de flexibilité.

a. Le niveau d'importance K

Ce niveau est représenté par un symbolisé par un chiffre :

- Le chiffre 1 décrit une fonction utile.
- Le chiffre 2 décrit une fonction nécessaire.
- Le chiffre 3 décrit une fonction importante.
- Le chiffre 4 décrit une fonction très importante.
- Le chiffre 5 décrit une fonction vitale.

Afin de déterminer l'importance de chacune des fonctions validées, nous avons comparé chacune des fonctions deux par deux et avons attribué une note comprise entre 1 et 3 à la fonction que nous estimions plus importante. Pour cela, nous avons admis que chaque fonction principale était une fonction vitale, c'est-à-dire égale à cinq et nous avons comparé uniquement les fonctions de contrainte.

Afin de mieux comprendre la démarche d'évaluation du niveau d'importance, nous proposons un exemple avec FC1 et FC2 :

FC1 : Le fauteuil roulant doit avoir un prix abordable pour le client

FC2 : Le fauteuil roulant doit être agréable à l'œil

Si nous pensons que FC1 est importante par rapport à FC2, nous attribuons la note de 1 à FC1. Si nous pensons que FC1 est plus importante par rapport à FC2, nous attribuons la note de 2 à FC1. Enfin si nous pensons que FC1 est beaucoup plus importante que FC2, nous attribuons la note de 3 à FC1. Ici, nous avons attribué la note de 2 à FC1. Après avoir comparé chacune des fonctions, nous avons répertorié l'intégralité des résultats au sein d'une matrice triangulaire comprenant toutes les fonctions de contraintes.

	FC2	FC3	FC4	FC5	FC6	FC7	FC8	FC9	FC10	FC11
FC1	FC1 2	FC3 2	FC4 1	FC5 1	FC6 3	FC7 3	FC8 2	FC9 2	FC10 2	FC11 1
	FC2	FC3 3	FC4 3	FC5 2	FC6 3	FC7 3	FC8 2	FC9 3	FC10 3	FC11 2
		FC3	FC3 2	FC3 2	FC6 1	FC7 1	FC3 1	FC3 2	FC3 1	FC3 1
			FC4	FC5 1	FC6 1	FC7 1	FC8 1	FC9 2	FC10 2	FC11 1
				FC5	FC6 1	FC7 1	FC5 2	FC9 2	FC10 2	FC5 2
					FC6	FC6 2	FC6 2	FC6 2	FC6 2	FC6 2
						FC7	FC7 2	FC7 1	FC7 1	FC7 1
							FC8	FC9 2	FC10 3	FC11 2
								FC9	FC10 1	FC9 2
									FC10	FC10 2
										FC11

Figure 32: Extrait de la matrice triangulaire regroupant la comparaison des 11 premières fonctions

Ensuite nous avons comptabilisé le nombre de points obtenus par chacune des fonctions ainsi que le nombre total de points distribués. Par le biais de ces valeurs, il est possible d'obtenir le pourcentage d'importance.

	FC1	FC2	FC3	FC4	FC5	FC6	FC7	FC8	FC9	FC10	FC11
Points	10	5	43	19	20	77	52	11	29	39	19
Moy	0,012642225	0,006321113	0,054361568	0,024020228	0,02528445	0,097345133	0,06573957	0,013906448	0,036662453	0,049304678	0,024020228
%	1,264	0,632	5,436	2,402	2,528	9,735	6,574	1,391	3,666	4,930	2,402

Figure 33: Extrait du tableau regroupant le pourcentage d'importance des 11 premières fonctions

Afin de rendre ces résultats plus concrets, nous les avons retranscrits au sein d'un diagramme. De plus nous avons mis en évidence chaque niveau d'importance en subdivisant le diagramme en cinq parties égales.

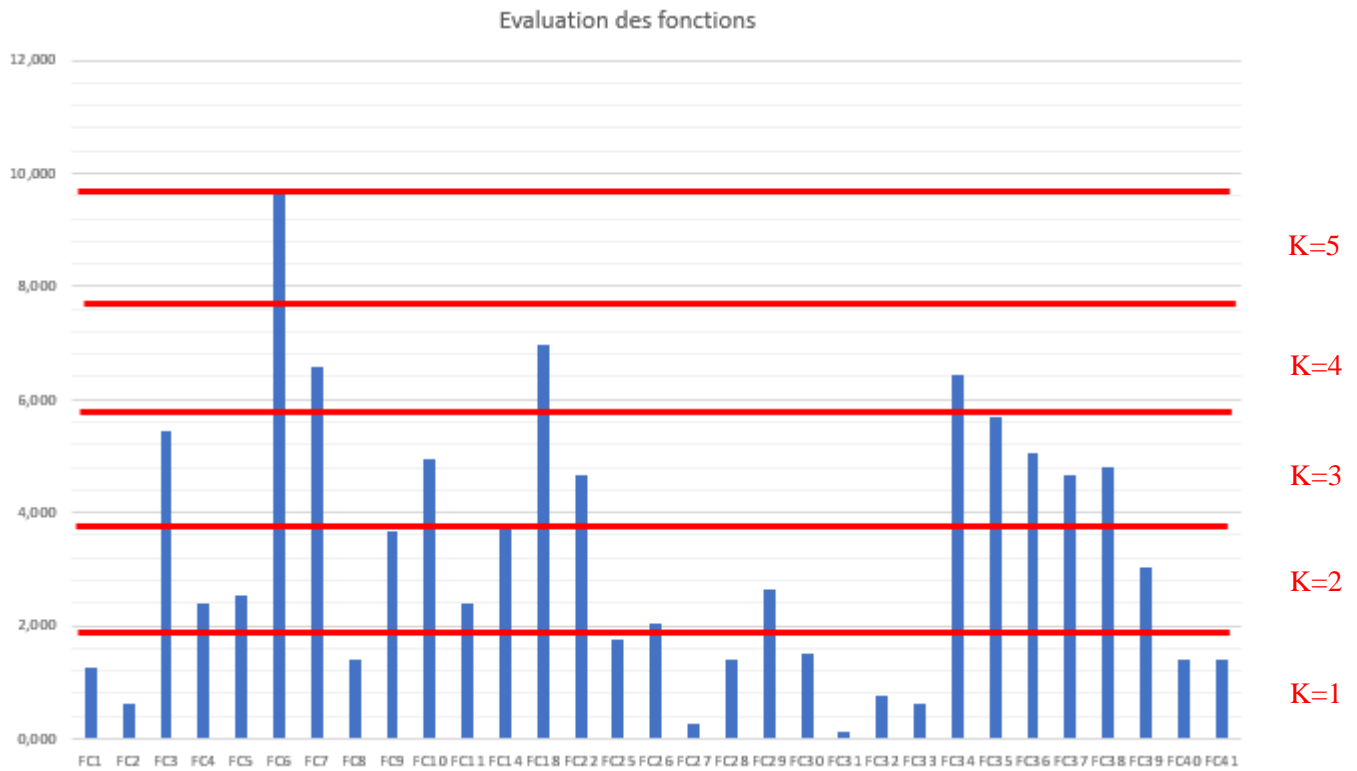


Figure 34: Diagramme mettant en relation les fonctions et leur niveau d'importance

Nous constatons que la fonction la plus importante est FC6 : « Le FaR doit respecter les normes de conception adéquates à l'utilisation quotidienne. ». Ainsi si nous devons effectuer une répartition des coûts de ces fonctions, le budget serait dans un premier temps utilisé pour FC6 puis pour les fonctions ayant un niveau d'importance égale à quatre et trois.

b. Les critères, les niveaux et le niveau de flexibilité

Au sein du cahier des charges fonctionnelles, chaque fonction est détaillée par un ou plusieurs critères. Ces critères constituent des moyens pour évaluer la fonction. En principe, ces critères doivent être accompagnés d'une unité de mesure mais également d'un niveau. Le niveau est un intervalle de mesure dans lequel le système doit se positionner. Par exemple, si nous prenons FC1 : « Le FaR doit avoir un prix abordable pour le client. », nous constatons que le prix correspond au moyen d'évaluer cette fonction. Par conséquent, le critère sera : « Prix de vente en € » et le niveau représentera le prix de vente à ne pas dépasser c'est-à-dire : « $\leq 1000\text{€}$ ».

Enfin, le cahier des charges fonctionnelles doit contenir le niveau de flexibilité. Ce niveau est exprimé par le client et détermine la possibilité ou non pour le concepteur de modifier le niveau des critères. Ainsi le client attribue à chacune des fonctions un nombre compris entre 0 et 3. Le chiffre 0 signifie au concepteur qu'il est impossible de modifier le niveau d'évaluation de la fonction, le chiffre 1, indique au concepteur que le niveau peut être modifié, le chiffre 2 précise que le niveau est modifiable et enfin le chiffre 3 signifie que le niveau est très modifiable. Dans notre cas, nous n'avons pas eu l'opportunité d'interroger d'éventuels clients sur les niveaux d'importance, par conséquent, cette tâche a été réalisée par une éducatrice spécialisée travaillant dans un IME.¹³

c. Cahier des Charges fonctionnelles – Tableaux

Dans un souci de visibilité et de compréhension, nous avons divisé le CdCF en plusieurs sous tableaux. En effet nous avons réalisé les tableaux en fonction des différentes phases du produit et des divers sports. Notre système traite l'intégralité des fonctions.

• Phase d'achat

N°	Titre	K	Critère	Niveau	F
FC1	Le FaR doit avoir un prix abordable pour le client.	1	Prix de vente (en €)	$\leq 1000\text{€}$	1
FC2	Le FaR doit être agréable à l'œil.	1	Nombre de couleurs proposées	≥ 3 (noir, blanc gris)	1

Figure 35: CdCF correspondant à la phase « achat du FaR »

¹³ Institut Médico-Educatif, établissement permettant l'accueil d'enfants et de jeunes adultes atteints de déficiences intellectuelles

- Phase quotidienne

N°	Titre	K	Critère	Niveau	F
FP1	Le FaR doit permettre à une PMR de se déplacer sur les routes goudronnées.	5	Adhérence sur route sèche	$\mu_D > 0.8$	0
			Adhérence sur route humide	$\mu_D > 0.6$	0
			Adhérence route enneigé	$\mu_D > 0.3$	0
			Adhérence sur gravillon	$\mu_D > 0.15$	0
FC3	Le FaR doit permettre à la PMR de configurer rapidement et simplement son fauteuil pour la vie quotidienne.	3	Temps de configuration (en s)	$\leq 180s$	0
			Nombre d'étapes nécessaires	≤ 5	2
FC4	Le FaR doit pouvoir être remis sur ses roues par une tierce personne.	2	Nombre de tiers nécessaires	≤ 2	0
			Temps nécessaire (en s)	$< 10s$	2
FC5	Le FaR doit être facilement mis en mouvement par la PMR avec un minimum d'énergie.	2	Force nécessaire à la mise en mouvement (N)	$\leq 50N$	1
FC7	Le FaR doit pouvoir être manœuvrable par la PMR	5	Masse du fauteuil (kg)	$\leq 10kg$	0
			Temps nécessaire pour faire demi-tour (s)	$\leq 5s$	2
			Type de déplacement	avant, arrière, gauche, droite	0
			Temps de freinage (s)	$\leq 8s$	0
FC9	Le fauteuil doit être stable lors d'un transfert de la PMR d'un environnement à un autre.	4	Nombre d'éléments bloquant le fauteuil	≥ 1	0
			Nombre d'actions nécessaires	≤ 6	1

Figure 36: CdCF correspondant à l'utilisation quotidienne du FaR

• Phase de jeu : tennis-fauteuil

N°	Titre	K	Critère	Niveau	F
FP4	Le FaR doit permettre à une PMR de se déplacer sur les terrains goudronnés et en terre battue.	5	Adhérence sur le goudron (sec/mouillé)	$\mu_D > 0.5 / \mu_D > 0.3$	0
			Adhérence sur la terre battue (sable)	$\mu_D > 0.15$	0
FP5	Le FaR doit permettre à une PMR de pratiquer le tennis-fauteuil.	5	Respect de la réglementation du tennis-fauteuil.	Dispositif obligatoire	0
FC10	Le FaR doit pouvoir résister durablement aux impacts entre PMR et entre fauteuils.	3	Résistance à la traction (GPa)	71 GPa	1
			Résistance à la compression (GPa)	71 GPa	1
			Résistance à la propagation d'une fissure ($MPa \cdot \sqrt{m}$)	$26 MPa \cdot \sqrt{m}$	1
FC11	Le FaR doit pouvoir être remis sur ses roues par une tierce personne.	2	Nombre de tiers nécessaires	≤ 2	0
			Temps nécessaire (en s)	≤ 10 s	2
FC12	Le FaR doit être facilement mis en mouvement par la PMR avec un minimum d'énergie durant la pratique du tennis-fauteuil.	2	Force nécessaire à la mise en mouvement (N)	≤ 40 N	0
FC16	Le FaR doit pouvoir être manœuvrable par la PMR pendant dans la pratique du tennis-fauteuil.	4	Masse du fauteuil (kg)	≤ 10 kg	0
			Temps nécessaire pour faire demi-tour (s)	≤ 2 s	0
			Type de déplacement	Avant, arrière, droite, gauche	0
			Temps de freinage (s)	≤ 3 s	0
FC20	Le FaR doit permettre à la PMR de configurer rapidement et simplement son fauteuil pour le tennis-fauteuil.	3	Temps de configuration (en s)	≤ 90 s	3
			Nombre d'étapes à réaliser	≤ 5	1
			Nombre d'éléments amovibles	≥ 5	0
FC34	Le FaR doit pouvoir préserver l'intégrité physique de la PMR.	4	Présence d'éléments de sécurité	≥ 5	1
			Masse supportée par le fauteuil	≤ 115 kg	1
			Absence d'éléments contendants	x	0
FC35	Le FaR doit pouvoir préserver l'intégrité physique des tiers.	3	Absence d'éléments contendants	x	0
FC36	Le FaR doit pouvoir préserver l'intégrité physique des autres sportifs	3	Absence d'éléments contendants	x	0
FC37	Le FaR doit être réglable à la PMR.	3	Nombres éléments réglables	≥ 5	0
			Hauteur de l'assise (cm)	≥ 30 cm	1
			Largeur de l'assise (cm)	Entre 25 et 50 cm	0
FC38	Le FaR doit permettre à la PMR de s'y installer ou d'en sortir facilement	3	Nombre d'actions nécessaires	≤ 6	0
			Nombre d'éléments bloquants	≥ 2	1
FC39	Le FaR doit permettre à la PMR d'avoir une grande liberté dans la mobilité de ses bras	2	Liberté angulaire du buste en rotation (en °)	$\geq 120^\circ$	1
			Liberté angulaire du buste en inclinaison (en °)	$\geq 100^\circ$	1
			Liberté angulaire des bras (en °)	$\geq 180^\circ$	1
FC40	Le FaR ne doit pas endommager ou marquer le sol lorsqu'il est mis en mouvement ou stoppé par la PMR	1	Marques sur le sol après un freinage ou un demi-tour	effaçables	1
			Marques sur le sol après un choc	0	0
			Marques sur le sol après le basculement du fauteuil	0	0
FC41	Le FaR doit être manœuvrable par un tiers.	1	Nombre d'éléments pour pousser ou tirer le fauteuil	≥ 1	0
			Force nécessaire à la mise en mouvement du fauteuil (N)	≤ 40 N	1

Figure 37: CdCF correspondant à la pratique du tennis-fauteuil

• Phase de jeu : basket-fauteuil

N°	Titre	K	Critère	Niveau	F
FP2	Le FaR doit permettre à une PMR de se déplacer sur les terrains de gymnase.	5	Adhérence sur le goudron (sec/mouillé)	$\mu_D > 0.5 / \mu_D > 0.3$	0
			Adhérence sur le PVC	$\mu_D > 0.65$	0
FP6	Le FaR doit permettre à une PMR de pratiquer le basket-fauteuil.	5	Respect de la réglementation du basket-fauteuil.	Dispositif obligatoire	0
FC10	Le FaR doit pouvoir résister durablement aux impacts entre PMR et entre fauteuils.	3	Résistance à la traction (GPa)	71 GPa	1
			Résistance à la compression (GPa)	71 GPa	1
			Résistance à la propagation d'une fissure ($MPa \cdot \sqrt{m}$)	$26 MPa \cdot \sqrt{m}$	1
FC11	Le FaR doit pouvoir être remis sur ses roues par une tierce personne.	2	Nombre de tiers nécessaires	≤ 2	0
			Temps nécessaire (en s)	≤ 10 s	2
FC13	Le FaR doit être facilement mis en mouvement par la PMR avec un minimum d'énergie durant la pratique du basket-fauteuil.	2	Force nécessaire à la mise en mouvement (N)	≤ 45 N	0
FC17	Le FaR doit pouvoir être manœuvrable par la PMR pendant dans la pratique du basket-fauteuil.	4	Masse du fauteuil (kg)	≤ 11 kg	0
			Temps nécessaire pour faire demi-tour (s)	≤ 2 s	0
			Type de déplacement	Avant, arrière, droite, gauche	0
			Temps de freinage (s)	≤ 3 s	0
FC21	Le FaR doit permettre à la PMR de configurer rapidement et simplement son fauteuil pour le basket-fauteuil.	3	Temps de configuration (en s)	≤ 120 s	3
			Nombre d'étapes à réaliser	≤ 5	1
			Nombre d'éléments amovibles	≥ 5	0
FC34	Le FaR doit pouvoir préserver l'intégrité physique de la PMR.	4	Présence d'éléments de sécurité	≥ 5	1
			Poids supporté par le fauteuil	≤ 115 kg	1
			Absence d'éléments contendants	x	0
FC35	Le FaR doit pouvoir préserver l'intégrité physique des tiers.	3	Absence d'éléments contendants	x	0
FC36	Le FaR doit pouvoir préserver l'intégrité physique des autres sportifs	3	Absence d'éléments contendants	x	0
FC37	Le FaR doit être réglable à la PMR.	3	Nombres éléments réglables	≥ 5	0
			Hauteur de l'assise (cm)	≥ 30 cm	1
			Largeur de l'assise (cm)	Entre 25 et 50 cm	0
FC38	Le FaR doit permettre à la PMR de s'y installer ou d'en sortir facilement	3	Nombre d'actions nécessaires	≤ 6	0
			Nombre d'éléments bloquants	≥ 2	1
FC39	Le FaR doit permettre à la PMR d'avoir une grande liberté dans la mobilité de ses bras	2	Liberté angulaire du buste en rotation (en °)	$\geq 120^\circ$	1
			Liberté angulaire du buste en inclinaison (en °)	$\geq 100^\circ$	1
			Liberté angulaire des bras (en °)	$\geq 180^\circ$	1
FC40	Le FaR ne doit pas endommager ou marquer le sol lorsqu'il est mis en mouvement ou stoppé par la PMR	1	Marques sur le sol après un freinage ou un demi-tour	effaçables	1
			Marques sur le sol après un choc	0	0
			Marques sur le sol après le basculement du fauteuil	0	0
FC41	Le FaR doit être manœuvrable par un tiers.	1	Nombre d'éléments pour pousser ou tirer le fauteuil	≥ 1	0
			Force nécessaire à la mise en mouvement du fauteuil (N)	≤ 45 N	1

Figure 38: CdCF correspondant à la pratique du basket-fauteuil

• Phase de jeu : athlétisme

N°	Titre	K	Critère	Niveau	F
FP3	Le FaR doit permettre à une PMR de se déplacer sur les pistes d'athlétisme et sur les routes.	5	Adhérence sur le goudron (sec/mouillé)	$\mu_D > 0.5$ / $\mu_D > 0.3$	0
			Adhérence sur le tartan	$\mu_D > 0.25$	0
FP7	Le FaR doit permettre à une PMR de pratiquer de l'athlétisme.	5	Respect de la réglementation de l'athlétisme.	Dispositif obligatoire	0
FC10	Le FaR doit pouvoir résister durablement aux impacts entre PMR et entre fauteuils.	3	Résistance à la traction (GPa)	71 GPa	1
			Résistance à la compression (GPa)	71 GPa	1
			Résistance à la propagation d'une fissure ($MPa \cdot \sqrt{m}$)	$26 MPa \cdot \sqrt{m}$	1
FC11	Le FaR doit pouvoir être remis sur ses roues par une tierce personne.	2	Nombre de tiers nécessaires	≤ 2	0
			Temps nécessaire (en s)	≤ 10 s	2
FC15	Le FaR doit être facilement mis en mouvement par la PMR avec un minimum d'énergie durant la pratique de l'athlétisme.	2	Force nécessaire à la mise en mouvement (N)	≤ 40 N	0
FC19	Le FaR doit pouvoir être manœuvrable par la PMR pendant dans la pratique de l'athlétisme.	4	Masse du fauteuil (kg)	≤ 11 kg	0
			Temps nécessaire pour faire demi-tour (s)	≤ 10 s	0
			Type de déplacement	Avant, arrière, droite, gauche	0
			Temps de freinage (s)	≤ 5 s	0
FC23	Le FaR doit permettre à la PMR de configurer rapidement et simplement son fauteuil pour l'athlétisme.	3	Temps de configuration (en s)	≤ 180 s	3
			Nombre d'étapes à réaliser	≤ 5	1
			Nombre d'éléments amovibles	≥ 5	0
FC34	Le FaR doit pouvoir préserver l'intégrité physique de la PMR.	4	Présence d'éléments de sécurité	≥ 5	1
			Masse supportée par le fauteuil	≤ 115 kg	1
			Absence d'éléments contendants	x	0
FC35	Le FaR doit pouvoir préserver l'intégrité physique des tiers.	3	Absence d'éléments contendants	x	0
FC36	Le FaR doit pouvoir préserver l'intégrité physique des autres sportifs	3	Absence d'éléments contendants	x	0
FC37	Le FaR doit être réglable à la PMR.	3	Nombres éléments réglables	≥ 5	0
			Hauteur de l'assise (cm)	≥ 30 cm	1
			Largeur de l'assise (cm)	Entre 25 et 50 cm	0
FC38	Le FaR doit permettre à la PMR de s'y installer ou d'en sortir facilement	3	Nombre d'actions nécessaires	≤ 6	0
			Nombre d'éléments bloquants	≥ 2	1
FC39	Le FaR doit permettre à la PMR d'avoir une grande liberté dans la mobilité de ses bras	2	Liberté angulaire du buste en rotation (en °)	$\geq 120^\circ$	1
			Liberté angulaire du buste en inclinaison (en °)	$\geq 100^\circ$	1
			Liberté angulaire des bras (en °)	$\geq 180^\circ$	1
FC40	Le FaR ne doit pas endommager ou marquer le sol lorsqu'il est mis en mouvement ou stoppé par la PMR	1	Marques sur le sol après un freinage ou un demi-tour	effaçables	1
			Marques sur le sol après un choc	0	0
			Marques sur le sol après le basculement du fauteuil	0	0
FC41	Le FaR doit être manœuvrable par un tiers.	1	Nombre d'éléments pour pousser ou tirer le fauteuil	≥ 1	0
			Force nécessaire à la mise en mouvement du fauteuil (N)	≤ 50 N	1

Figure 39: CdCF correspondant à la pratique de l'athlétisme

- Phase de jeu : rugby-fauteuil

N°	Titre	K	Critère	Niveau	F
FP2	Le FaR doit permettre à une PMR de se déplacer sur les terrains de gymnase.	5	Adhérence sur le goudron (sec/mouillé)	$\mu_D > 0.5$ / $\mu_D > 0.3$	0
			Adhérence sur le PVC	$\mu_D > 0.65$	0
FP8	Le FaR doit permettre à une PMR de pratiquer le rugby-fauteuil.	5	Respect de la réglementation du rugby-fauteuil.	Dispositif obligatoire	0
FC10	Le FaR doit pouvoir résister durablement aux impacts entre PMR et entre fauteuils.	3	Résistance à la traction (GPa)	71 GPa	1
			Résistance à la compression (GPa)	71 GPa	1
			Résistance à la propagation d'une fissure ($MPa \cdot \sqrt{m}$)	$26 MPa \cdot \sqrt{m}$	1
FC11	Le FaR doit pouvoir être remis sur ses roues par une tierce personne.	2	Nombre de tiers nécessaires	≤ 2	0
			Temps nécessaire (en s)	≤ 10 s	2
FC14	Le FaR doit être facilement mis en mouvement par la PMR avec un minimum d'énergie durant la pratique du rugby-fauteuil.	2	Force nécessaire à la mise en mouvement (N)	≤ 50 N	0
FC18	Le FaR doit pouvoir être manœuvrable par la PMR pendant dans la pratique du rugby-fauteuil.	4	Masse du fauteuil (kg)	≤ 13 kg	0
			Temps nécessaire pour faire demi-tour (s)	≤ 3 s	0
			Type de déplacement	Avant, arrière, droite, gauche	0
			Temps de freinage (s)	≤ 3 s	0
FC22	Le FaR doit permettre à la PMR de configurer rapidement et simplement son fauteuil pour le rugby-fauteuil.	3	Temps de configuration (en s)	≤ 180 s	3
			Nombre d'étapes à réaliser	≤ 5	1
			Nombre d'éléments amovibles	≥ 5	0
FC34	Le FaR doit pouvoir préserver l'intégrité physique de la PMR.	4	Présence d'éléments de sécurité	≥ 5	1
			Masse supportée par le fauteuil	≤ 115 kg	1
			Absence d'éléments contendants	x	0
FC35	Le FaR doit pouvoir préserver l'intégrité physique des tiers.	3	Absence d'éléments contendants	x	0
FC36	Le FaR doit pouvoir préserver l'intégrité physique des autres sportifs	3	Absence d'éléments contendants	x	0
FC37	Le FaR doit être réglable à la PMR.	3	Nombres éléments réglables	≥ 5	0
			Hauteur de l'assise (cm)	≥ 30 cm	1
			Largeur de l'assise (cm)	Entre 25 et 50 cm	0
FC38	Le FaR doit permettre à la PMR de s'y installer ou d'en sortir facilement	3	Nombre d'actions nécessaires	≤ 6	0
			Nombre d'éléments bloquants	≥ 2	1
FC39	Le FaR doit permettre à la PMR d'avoir une grande liberté dans la mobilité de ses bras	2	Liberté angulaire du buste en rotation (en °)	$\geq 120^\circ$	1
			Liberté angulaire du buste en inclinaison (en °)	$\geq 100^\circ$	1
			Liberté angulaire des bras (en °)	$\geq 180^\circ$	1
FC40	Le FaR ne doit pas endommager ou marquer le sol lorsqu'il est mis en mouvement ou stoppé par la PMR	1	Marques sur le sol après un freinage ou un demi-tour	effaçables	1
			Marques sur le sol après un choc	0	0
			Marques sur le sol après le basculement du fauteuil	0	0
FC41	Le FaR doit être manœuvrable par un tiers.	1	Nombre d'éléments pour pousser ou tirer le fauteuil	≥ 1	0
			Force nécessaire à la mise en mouvement du fauteuil (N)	≤ 50 N	1

Figure 40: CdCF correspondant à la pratique du rugby-fauteuil

- Phase de transport

N°	Titre	K	Critère	Niveau	F
FC25	Le FaR doit pouvoir se ranger facilement dans un espace restreint.	1	Dimensions du fauteuil Lxlxh (en cm)	120cmx70cmx100cm	0
			Dimension du fauteuil sans les éléments détachables Lxlxh (cm)	50cmx50cmx50cm	0
FC26	Le FaR doit être facilement transportable par la PMR.	2	Masse du fauteuil (en kg)	≤ 10kg	0
			Nombre d'éléments préhensiles	> 5	0
FC27	Le FaR doit être facilement transportable par des tiers.	1	Masse du fauteuil (en kg)	≤ 10kg	0
			Nombre d'éléments préhensiles	> 5	0

Figure 41: CdCF correspondant au transport du FaR

- Phase de stockage

N°	Titre	K	Critère	Niveau	F
FC28	Le FaR doit pouvoir se ranger facilement dans un espace restreint.	1	Dimensions du fauteuil Lxlxh (en cm)	120cmx70cmx100cm	0
FC29	Le FaR doit pouvoir être facilement démonté par une PMR.	2	Nombre d'éléments amovibles	≥ 7	1
			Temps démontage (s)	≤ 60	2

Figure 42: CdCF correspondant au stockage du FaR

- Phase de maintenance

N°	Titre	K	Critère	Niveau	F
FC30	Le FaR doit pouvoir facilement être entretenu par la PMR.	1	Nombre d'opérations nécessaires	≤ 4	2
			Nombre de produits d'entretien nécessaires	≤ 4	2
FC231	Le FaR doit pouvoir facilement être entretenu par les tierces personnes	1	Nombre d'opérations nécessaires	≤ 4	2
			Nombre de produits d'entretien nécessaires	≤ 4	2

Figure 43: CdCF correspondant à la maintenance du FaR

- Phase de recyclage

N°	Titre	K	Critère	Niveau	F
FC32	Le FaR doit être composé de matériaux recyclable.	1	Matériaux recyclables (en %)	60%	1
FC33	Le FaR doit être composé de matériaux respectueux de l'environnement	1	Matériaux écologiques (en %)	40%	1

Figure 44: CdCF correspondant au recyclage du FaR

d. Normes

Tout acteur du domaine industriel est soumis à des règles fixant des conditions lors de la réalisation d'une opération, de l'exécution d'un objet ou de l'élaboration d'un produit. Ces règles sont édictées par l'Organisation internationale de normalisation et sont plus communément appelées ISO.

Par conséquent, le domaine des véhicules pour personnes handicapées est lui aussi soumis à des normes. Celles-ci concernent principalement la fabrication du fauteuil roulant et également son accessibilité.

Fabrication du fauteuil classique

Les spécificités techniques relatives au fauteuil doivent être conformes aux caractéristiques énoncées par le CERAH¹⁴ et le Ministère chargé de la santé. De plus, le fauteuil doit être soumis à l'évaluation technique d'un organisme compétent et indépendant. Ainsi, les fauteuils roulants à propulsion manuelle doivent répondre aux normes suivantes :

- ISO 9999. – Aides techniques pour personnes handicapées. – Classification
- ISO 6440. – Nomenclature, termes et définitions
- ISO 7176-1. – Détermination de la stabilité statique des fauteuils roulants
- ISO 7176-5. – Détermination des dimensions hors tout, de la masse et de l'espace de giration
- Pr EN 12183 (1997). – Fauteuils à propulsion manuelle. – Exigences et méthodes d'essai
- ISO 7176-11. – Mannequin d'essai.

Ces normes se traduisent par la présence d'un système de soutien du corps, d'un système de propulsion manuelle, d'un dispositif d'immobilisation, de roues motrices et directrices et d'un châssis. De plus, plusieurs tests doivent être effectués sur la stabilité du fauteuil, la résistance mécanique et toutes autres pièces constituant le fauteuil. Enfin, aucun n'élément ne doit blesser l'utilisateur, détériorer ses vêtements et endommager l'environnement.

Châssis :

Le châssis est destiné à recevoir le système de soutien du corps. Il doit présenter entre ses deux roues motrices un point d'appui pour le pied de la tierce personne qui peut assister la PMR lors du franchissement de marches ou de trottoirs. Le châssis doit aussi être muni d'un système réfléchissant à l'avant et à l'arrière.

Roues motrices :

Les roues doivent être placées à l'avant ou à l'arrière du châssis mais leur positionnement et leurs dimensions doivent correspondre aux besoins de l'utilisateur et ne doivent pas gêner les transferts de l'utilisateur. Les roues doivent être équipées de pneumatiques gonflables ou non gonflables.

Roues directrices :

Comme les roues motrices, les roues directrices peuvent être gonflables ou non. Leur fixation est réalisée à l'aide de fourches qui sont elles-mêmes montées sur le fauteuil par le biais de pivots à billes ou d'un autre dispositif possédant des caractéristiques mécaniques similaires. L'axe de rotation de ces fourches doit être perpendiculaire au sol, l'angle situé entre le sol et la fourche doit être de $90^\circ \pm 2^\circ$.

Siège :

Le siège peut être rigide et capitonné¹⁵, ou rigide et recouvert d'un coussin, ou souple avec ou sans coussin. En ce qui concerne la toile du siège, elle doit être facilement remplaçable.

Dossier :

Selon les besoins de l'utilisateur et du type de fauteuil, le dossier peut être fixe, inclinable, pliable, rabattable, escamotable ou réglable à hauteur voulue. Si le dossier est amovible, un dispositif d'inclinaison facilement manœuvrable doit être prévu. Le dossier doit également pouvoir se bloquer efficacement et durablement dans différentes positions tout en assurant la sécurité et le confort de l'utilisateur. De plus, un dispositif permettant la direction du fauteuil par une tierce personne doit être ajouté. Il doit se situer à une hauteur minimum de 85 cm par rapport au sol. Le dossier peut être rigide et capitonné ou rigide et recouvert d'un coussin, ou souple et il devra être recouvert d'une toile facilement remplaçable.

¹⁴ CERAH : Centre d'étude et de recherche sur l'appareillage des handicapés

¹⁵ Synonyme de rembourré

Repose-pied :

Cet élément assure le soutien des jambes et des pieds de l'utilisateur. Il peut être composé d'une ou deux palettes et doit être relevable et réglable en fonction de la morphologie de l'utilisateur. Le repose-pied doit également assurer le positionnement correct des membres inférieurs. Ses extrémités doivent alors comporter un dispositif de butée et de protection.

Propulsion :

Si le fauteuil utilise un dispositif de propulsion par main courante, la section de la main courante doit être supérieure à 200 mm² et être démontable. Elle doit être chromée ou composée d'un alliage léger anodisé¹⁶ et ne pas se dégrader ou porter atteinte à l'utilisateur.

Immobilisation :

Chaque fauteuil roulant doit être muni d'un système d'immobilisation. Pour l'actionner, l'utilisateur doit obligatoirement pousser le levier de commande vers l'avant. Le dispositif inverse peut également être proposé mais il requiert une prescription médicale.

Pièces, garantie et notice :

Le fournisseur d'un fauteuil roulant doit assurer le remplacement de toutes les pièces pendant cinq ans. Le fauteuil doit être garanti au minimum pendant deux ans par le fournisseur à partir de la date de sa livraison. Cette garantie comprend le remplacement gratuit des pièces et des sous-ensembles défectueux. Lors de la livraison, le fauteuil doit être accompagné d'une notice d'utilisation et d'entretien illustrée en français.

Remarque : Le fauteuil roulant doit résister au feu et être protégé contre la corrosion.

Fabrication du fauteuil sportif

Le fauteuil sportif et le fauteuil classique comportent les mêmes normes concernant la résistance au feu, la corrosion, la garantie, le remplacement des pièces détachées et la notice.

Cadre :

Pour le basket et le tennis, le cadre du fauteuil doit être rigide. Le cadre des fauteuils roulant multisports est rigide ou pliable.

Siège :

La largeur du siège peut varier de 30 à 40 cm.

Repose-pieds :

Les repose-pieds doivent être réglables en hauteur mais ne peuvent pas pivoter.

Partie arrière du fauteuil sportif :

Les roues arrière doivent être rapidement démontables. Cette manipulation doit être réalisable sans outil. Ensuite, le carrossage des roues doit être réglable et/ou adaptable. L'utilisation de pneumatiques noirs est interdite pour éviter la dégradation des sols. De plus, les roues doivent être équipées de mains courantes démontables fixées en six points minimum sur la jante. Cependant, il est interdit d'avoir recours à des mains courantes en chrome¹⁷. Enfin pour les fauteuils multisports, l'éloignement de la main courante par rapport à la jante doit pouvoir être adaptable.

Partie avant du fauteuil sportif :

Pour le basket, le tennis et le multisport, le train avant du fauteuil sportif peut comporter une ou deux roues. Le diamètre doit être de 12.5 cm maximum. Si le fauteuil sportif dispose de deux roues, l'écartement entre ces deux roues est inférieur ou égal à celui des roues arrière. De plus, la verticalité de l'axe de rotation du ou des supports de roue avant peut être réglable ou fixe.

Immobilisation :

Pour le basket, les systèmes d'immobilisation sont interdits mais ils restent obligatoires pour les fauteuils multisports.

¹⁶ Alliage ayant subi une oxydation par un procédé électrique.

¹⁷ Le chrome est un métal d'alliage des aciers inoxydables (fer, chrome, nickel).

Accessoires obligatoires :

Les fauteuils sportifs doivent être équipés de protège-vêtements et de flasques protège-rayons démontables.

Accessibilité

Ces normes visent à améliorer le confort au quotidien et l'insertion des personnes en fauteuil roulant mais elles permettent aussi de prévenir les situations de handicap.

Logements :

Depuis le 1^{er} octobre 2019, la construction de logements doit respecter l'article L. 111-7-1 du Code de la construction et de l'habitation. Cette règle spécifie que 20% des nouveaux logements d'une habitation collective doivent être accessibles aux personnes à mobilité réduite. De plus, les autres logements du bâtiment doivent être évolutifs. Les sanitaires et le séjour doivent être accessibles pour les personnes en fauteuil roulant et il doit être possible d'aménager le reste des logements pour qu'ils soient accessibles aux personnes à mobilité réduite.

Portes et ascenseurs :

Dans sa vie quotidienne, la PMR se déplace et peut emprunter un ascenseur. L'espace minimum pour passer une porte avec un fauteuil roulant est de 77 cm. Afin de faciliter l'accès, la largeur d'une porte classique ou d'une porte d'ascenseur doit être au minimum de 80 cm. De plus d'autres normes plus spécifiques aux ascenseurs sont à prendre en compte. L'ascenseur doit mesurer au minimum 1 m sur 1.3 m. Les commandes doivent être placés à une hauteur de 1.3 m et l'espace libre devant la porte doit avoir une profondeur d'au moins 1.4 m.

Sanitaires :

Lors de l'utilisation des sanitaires, la PMR doit pouvoir placer son fauteuil sur la gauche ou la droite des toilettes afin de limiter les déplacements pour pouvoir s'y assoir. Un espace d'au moins 80 cm doit être respecté. Une rampe doit être placée de l'autre côté des toilettes à une hauteur de 75 cm pour faciliter le redressement de la PMR. Quant au lavabo, il doit être placé à une hauteur de 70 cm et être accompagné d'un miroir incliné.

Magasins :

Les places de parking destinées aux PMR et qui sont présentes à proximité des magasins doivent respecter une largeur de 2.5 m et être accompagnées d'une bande de passage. En cas d'absence de cette bande, la largeur de la place doit être de 3.3 m. Les magasins doivent également disposer d'un comptoir d'une hauteur de 80 cm permettant à la PMR d'avancer de manière à placer ses genoux dessous.

Rampes :

La rampe d'accès d'un magasin doit respecter des normes précises. L'inclinaison est règlementée en fonction de sa longueur. Si la rampe mesure moins de 50 cm, son inclinaison ne doit pas dépasser 12%. Si la rampe mesure moins de 2 m, son inclinaison ne doit pas dépasser 8%. De plus, si la taille de la rampe est supérieure à 2 m, son inclinaison doit être de 4%.

Pour mener à bien notre projet nous avons donc pris en compte ces réglementations. En effet, notre fauteuil ne doit pas dépasser 80 cm de largeur. De plus, beaucoup de lieux publics sont aujourd'hui munis d'une rampe permettant à la PMR de pouvoir y accéder. Le système antibascule ne doit pas gêner le déplacement sur ces rampes et être efficace pour que le fauteuil et son utilisateur ne basculent pas.

e. Maintenance

La maintenance vise à maintenir ou à rétablir un système ou un produit dans un état spécifié afin que celui-ci soit en mesure d'assurer ses fonctions de services. On distingue deux types de maintenance : les maintenances préventives et les maintenances correctives.

La maintenance préventive systématique ou conditionnelle a pour principal objectif de réduire la probabilité de défaillance du système ou la dégradation des services rendus. Elle permet également d'augmenter la durée de vie du système, d'éviter la consommation anormale d'énergie, de lubrifiant ou de pièces détachées, de diminuer le coût des éventuelles réparations et de supprimer les causes d'accidents.

En ce qui concerne la maintenance corrective, elle a pour but de redonner au système les qualités perdues et qui sont nécessaires à son utilisation. Cette maintenance intervient notamment lors d'une défaillance du système. Elle peut être partielle, elle est alors caractérisée par une altération ou une dégradation de l'aptitude du système pour accomplir une des fonctions principales. Elle peut également être complète, le système n'est alors plus apte à accomplir une des fonctions principales.

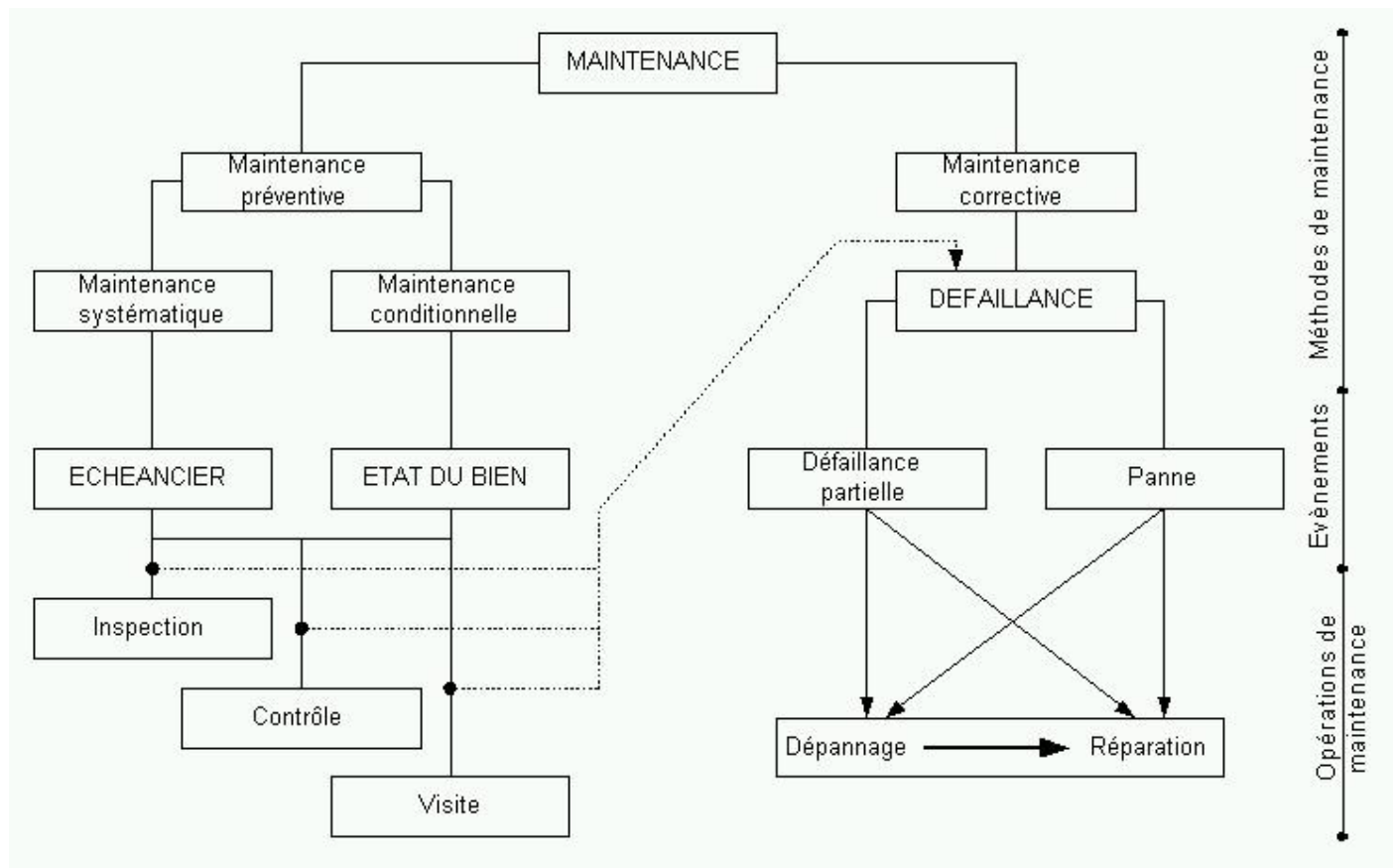


Figure 45: Schéma explicitant des différents types de maintenance

Concernant notre fauteuil, nous avons souhaité que la maintenance préventive se décline en deux étapes. La première est une inspection du système après conception et la deuxième est réalisée par l'utilisateur ou un tiers.

Inspection du système

Voici les différents contrôles que nous avons dû effectuer pendant l'inspection :

- Contrôler l'absence de déformation du plastique, de fissure et de dysfonctionnement sur les pièces du châssis et les tubes.
- S'assurer de l'absence de dégât de peinture afin de supprimer les risques de corrosion.
- Contrôler le fonctionnement des roues par vérification de leur rotation, du jeu de l'essieu, de l'état des pneus, de l'état des mains-courantes, ...
- Contrôler la fixation des vis.
- Vérifier que chacun des joints métalliques des pièces mobiles ont été lubrifiés.
- Contrôler l'état et la sécurité des guides et des axes des roues directrices.
- Contrôler visuellement l'absence de fissure et de point de rupture sur toutes les pièces en plastique.
- Contrôler le fonctionnement des accoudoirs, des protèges vêtements et des repose-pieds.
- Vérifier le fonctionnement de tous les mécanismes de réglage.
- Contrôler le fonctionnement des pièces détachables.

Maintenance quotidienne

Un guide est mis à disposition de l'utilisateur pour qu'il puisse réaliser la maintenance du fauteuil. Ce guide permet d'aider l'utilisateur de vérifier les points suivants :

- Le système de freinage. Son efficacité peut être altérée à cause d'une mauvaise position, d'une pression de pneu trop basse ou de l'usure d'une pièce.
- L'état des pneus. La tenue de route du fauteuil roulant peut être modifiée si les pneus sont usés.
- Le carrossage des roues et leur jeu si la trajectoire du fauteuil est déviée pendant les déplacements.
- L'état des chambres à air. Une pression trop faible ou une crevaison rendraient la résistance au sol plus importante et demanderait à l'utilisateur de fournir un effort plus important afin de propulser le fauteuil. Au contraire si la pression est trop élevée, le pneu pourrait éclater et son usure pourrait être accentuée.
- L'état des rayons car leur rupture pourrait impacter la solidité de la roue mais aussi entraîne le voile de celle-ci.
- L'état et la propreté des tissus du dossier et de l'assise. Ces derniers peuvent s'abîmer en raison des frottements, de la transpiration et des conditions météorologiques.
- Le contrôle visuel de l'état du châssis qui peut être fragilisé par les chocs et les conditions climatiques.
- Le fonctionnement des éléments de sécurité.

Si un utilisateur ou un tiers ne souhaite pas effectuer la maintenance préventive du fauteuil lui-même, il est possible de la réaliser chez un vendeur d'appareils médicaux ou chez un réparateur de vélo. En cas de besoin de maintenance corrective, elle doit être réalisée au sein de l'usine qui a fabriqué le fauteuil. Le service après-vente prend alors en charge l'expédition et la réception du fauteuil et propose également un fauteuil de prêt. Ce fauteuil de prêt est adapté à la vie quotidienne de la personne à mobilité réduite mais ne permet pas de faire du sport. Enfin, nous savons à quel point la pratique d'une activité sportive est importante donc nous souhaitons que les durées de maintenance soit les plus courtes possibles (entre 2 et 6 semaines en fonction des réparations à effectuer et des pièces à commander).

IV. Créativité

L'étape de créativité consiste à déterminer les futures solutions techniques qui permettent de remplir les fonctions du cahier des charges. La phase d'imagination est alors nécessaire. Cette étape sera ensuite suivie par la proposition de deux prototypes différents.

Il existe plusieurs méthodes pour développer l'idée créatrice. Nous avons opté pour une démarche de brainstorming. Pour mettre en place cette étape nous nous sommes réunis sur un logiciel de conversation nommé « Discord » puis nous avons partagé toutes nos idées sans aucun jugement.

1. Imagination

Afin de réussir cette phase, nous devons pour chaque fonction, nous détacher des aspects propres à notre système. Ainsi nous devons mettre de côté le fait que notre système est un fauteuil roulant et qu'il s'adresse à une PMR.

Cette phase s'est avérée compliquée pour le groupe. En effet, les précédentes recherches et les réflexions que nous avons menées au cours des différentes étapes, ont rendu nos idées très techniques et très proches des technologies déjà existantes sur les fauteuils de sports.

Pour surmonter cette difficulté, nous avons utilisé plusieurs méthodologies qui permettent d'augmenter le nombre d'idées créatives. Nous avons opté pour une démarche de brainstorming. Cela consiste à donner des idées brèves sans qu'aucun participant ne porte de jugement sur la solution proposée. En raison de la crise sanitaire et du confinement, cette démarche a été réalisée à distance sur Discord. Nous avons également interrogé certains membres de notre entourage sans qu'ils aient connaissance du projet. Cela a permis de ne pas les influencer et de ne pas restreindre leur imagination.

Les étapes de cette phase ont été les suivantes :

1. Choisir une fonction.
2. Rechercher un objet inconcevable pour notre système mais qui permet de répondre aux besoins de la fonction.
3. Expliquer le concept technologique associé à l'objet.
4. Déterminer le concept réel.

Fonction	Partie Imaginaire	Concept technologique	Concept réel
FC3. Le fauteuil doit permettre à la PMR de configurer rapidement et simplement son fauteuil pour la vie quotidienne.	Blob	Utilisation de blob pour prendre la forme d'une personne	L'assise est composée d'un matelas à mémoire de forme.
	Pâte à modeler	Utilisation de la pâte à modeler pour concevoir une assise adaptée à la morphologie de la personne	L'assise est composée d'un matériau qui est modelable lorsqu'il est soumis à une certaine température (ductile à partir de 60°).
			L'assise est composée d'un matériau qui est modelable lorsqu'on le manipule avec les mains.
	Plâtre	Utilisation du plâtre pour mouler une assise adaptée à la morphologie de la personne	Le siège est constitué d'un matériau plastique (thermodurcissable) de faible épaisseur. Lorsque la PMR est assise dans le siège, du plâtre est injecté dans le plastique. Une fois le plâtre séché, le siège a épousé la morphologie de la PMR.
	Véhicules américains "Lowrider"	Utilisation d'un siège à hauteur réglable	Sous l'assise sont disposées des suspensions pneumatiques ou hydrauliques, une pompe et une batterie. La hauteur de l'assise peut être modifiée en actionnant les suspensions.
	Cric	Utilisation d'un cric pour régler en hauteur l'assise	Sous l'assise sont disposés deux crics en forme de losanges qui permettent de régler la hauteur de l'assise à l'aide d'une manivelle.
	Lacet	Utilisation d'un lacet pour rétrécir la largeur de l'assise	L'assise est composée d'un tissu ou d'un élément flexible au sein duquel se trouve une corde. Lorsque la corde est tirée, l'assise se rétrécit pour s'adapter à la morphologie de la PMR.
	Hamac	Utilisation d'un hamac afin que la personne soit installée confortablement	L'assise est remplacée par un tissu suspendu dont chaque extrémité est fixée à une barre située près des roues motrices.
	Matelas banane	Utilisation d'un matelas banane qui se gonfle lorsqu'il est agité dans les airs	L'assise est composée d'un matériau plastique recouvert de velours. Lorsque le fauteuil est en mouvement, un opercule doit être détaché du siège afin que le siège puisse se remplir d'air et s'adapter à la morphologie de la PMR.
	Roue de caddie et de 4x4	Remplacer les roues motrices par des roues de caddie ou de 4x4 afin de rehausser ou de rabaisser l'assise	Le fauteuil est vendu avec plusieurs paires de roues de diamètres différents. Chaque paire de roue est adaptable sur le fauteuil et chacune des paires octroie à l'assise une hauteur différente.

Figure 46: Tableau explicitant les différents concepts imaginaire et réel pour FC3

Fonction	Partie imaginaire	Concept technologique	Concept réel
FC6 : Le fauteuil doit être manœuvrable par la PMR	Ballon de baudruche	Utilisation d'un grand ballon de baudruche gonflé qui met en mouvement le véhicule lorsqu'il se dégonfle	Derrière l'assise du fauteuil se trouve un réservoir constitué d'un piston et d'air. Lorsque la PMR souhaite mettre en mouvement son fauteuil, elle ouvre le réservoir. L'air contenu dans le réservoir est vidé sous l'action du piston qui descend (gravité). Ce processus permet de propulser le Fauteuil. Pour remplir de nouveau le réservoir, la PMR doit remonter le piston (détente).
	Drakkar	Utilisation d'une voile et de deux rames pour mettre en mouvement le véhicule	Derrière l'assise est disposée une barre métallique avec une voile tendue. Grâce à l'action du vent sur la voile, le fauteuil va pouvoir être mise en mouvement. Si la puissance du vent n'est pas suffisante, la PMR pourra mettre en rotation son FaR grâce à deux rames.
	Grappin	Utilisation d'un grappin capable de s'accrocher sur diverses surfaces et divers éléments puis de tracter le véhicule vers lui pour mettre en mouvement le véhicule	A l'avant du fauteuil se trouve un bras à ressort avec ventouse. Le ressort est initialement comprimé. Lorsqu'il est détendu, la ventouse est projetée vers l'avant et s'accroche à une surface. Le fauteuil rembobine ensuite le câble relié à la ventouse, ce qui a pour effet de tracter le fauteuil.
	Souffleurs de feuilles	Utilisation de souffleurs de feuilles qui permettent de propulser le véhicule	A l'arrière du fauteuil se trouvent deux souffleurs orientés vers l'arrière et en dessous de l'assise se trouve une batterie. Lorsque la PMR souhaite se déplacer, elle actionne les propulseurs. Ces derniers agissent comme un réacteur d'avion en propulsant le fauteuil vers l'avant.
	Ski	Le véhicule peut verglaser le sol et glisser dessus à l'aide de ses skis.	Sous le châssis se trouvent deux skis composés de petites roues et de roulements à bille (aucune roue motrice). La PMR dispose de deux bâtons de skis qui permettent de mettre en mouvement le fauteuil
	Chariot de course	A l'aide de ses trois roues de chaque côté le véhicule peut franchir plusieurs types d'obstacle.	Le fauteuil dispose de chaque côté d'un ensemble de trois pneus différents : pneu route, pneu clouté, pneu terre. Ces roues assemblées sur une armature triangulaire permettent à la PMR de franchir des marches et de rouler sur divers types de sol.

Figure 47: Tableau explicitant les différents concepts imaginaire et réel pour FC6

Fonction	Partie imaginaire	Concept technologique	Concept réel
FC8 : Le fauteuil doit pouvoir être manœuvrable par un tiers.	Traineau du Père Noël	Utilisation d'un animal pour tracter le véhicule et le mettre en mouvement (véhicule hippomobile)	Un collier d'épaule est disposé sur l'animal et la liaison avec le fauteuil est réalisée par un attelage situé à l'avant du fauteuil. Lorsque l'animal se déplace, le fauteuil suit son mouvement.
	Remorque	Utilisation d'un véhicule à moteur pour déplacer le véhicule.	A l'avant du fauteuil se trouve une barre métallique attachable à l'arrière d'un véhicule à moteur. Cette barre est fixée par rapport au véhicule mais elle possède un degré de liberté angulaire (liaison pivot). Lorsque le véhicule à moteur est en mouvement, le fauteuil l'est aussi.
	Poussette marche pied, trottinette	Le véhicule est une grande trottinette qui est mise en mouvement grâce à l'action d'un pied sur le sol	Derrière le fauteuil se situe un marchepied permettant au tiers de propulser le fauteuil grâce à l'un de ses pieds.
			L'assise est placée sur une grande trottinette. La direction est assurée par un guidon situé devant l'assise. Le fauteuil est mis en mouvement par un tiers qui le propulse à l'aide de l'un de ses pieds.
	Lance-pierre	Utilisation d'un grand élastique pour pouvoir projeter le véhicule vers l'avant	Le fauteuil est vendu avec deux barres métalliques, fixables sur sol. Ces deux barres sont reliées par un élastique. Lorsque le tiers souhaite mettre en mouvement le fauteuil, il déploie les deux barres et tire le fauteuil de façon à tendre l'élastique. Une fois le fauteuil lâché, l'élastique se détend et le met en mouvement.
	Transpalette	Utilisation d'un transpalette pour tracter le FaR.	A l'avant du fauteuil se trouvent une barre métallique et d'une poignée. La poignée est fixée à la barre grâce à une liaison rotule et la barre est fixée au châssis par le biais d'une liaison pivot. Ces liaisons permettent au véhicule de suivre le déplacement du tiers exerçant la traction
	Robot suiveur de ligne	Le véhicule est dirigé grâce aux lignes tracées sur le sol.	Le véhicule dispose de deux capteurs optiques dirigés par une carte Arduino. Ce dispositif est situé à l'avant et permet de suivre des lignes noires préalablement tracées sur le sol.

Figure 48: Tableau explicitant les différents concepts imaginaire et réel pour FC8

Fonction	Partie imaginaire	Concept technologique	Concept réel
FC39 : Le fauteuil doit permettre à la PMR de s'y installer ou d'en sortir facilement	Force d'un Jedi (Anakin Skywalker)	Afin de sortir de son véhicule, la personne est déplacée par une entité invisible de son assise vers un milieu extérieur	Le fauteuil est équipé d'un lève-malade situé à l'arrière de l'assise. L'assise est composée d'un hamac. Lorsque la PMR souhaite sortir de son fauteuil, elle doit accrocher les boucles de son hamac et contrôler le lève-malade à l'aide d'une télécommande.
	Siège éjectable	Afin de sortir de son véhicule, la personne est propulsée dans les airs. Son déplacement et son atterrissage sont assurés par un parachute.	L'assise est équipée de deux vérins permettant de soulever l'arrière du siège et d'aider la personne à se lever (siège d'aide à la levée).
	Chapeau hélice (l'inspecteur gadget)	Afin de sortir de son véhicule, la personne est soulevée dans les airs par un chapeau hélice. Ce chapeau possède deux poignées de commande qui permettent à la personne de contrôler son déplacement.	Le dessous de l'assise est équipé de trois hélices (triangle) (drone). Lorsque la PMR souhaite s'asseoir sur une chaise, le siège du fauteuil se décroche du châssis, survole le sol. Le déplacement est contrôlé avec une télécommande.

Figure 49: Tableau explicitant les différents concepts imaginaire et réel pour FC39

Après avoir déterminé le concept réel associé à la partie imaginaire, nous avons dû choisir parmi cette liste les concepts à garder pour constituer les prototypes.

Pour **FC3**, nous avons gardé le concept technologique lié au cric losange utilisé dans l'automobile car celui-ci peut être plus facilement utilisé au sein du système et la technologie semble moins risquée. Les autres idées n'étaient pas en adéquation avec la pratique sportive. En effet les concepts associés au hamac ou au matelas banane ne permettent pas une position optimale de l'utilisateur pour dribbler par exemple.

Nous n'avons retenu aucune des technologies citées en **FC6** car elles sont trop contraignantes pour la PMR. De plus, au cours de la pratique sportive, ces concepts peuvent être dangereux pour la PMR ainsi que pour les autres joueurs. Concernant l'idée du drakkar, nous constatons que les rames utilisées par la PMR pour mettre en rotation son fauteuil peuvent gêner le déplacement des joueurs mais également les blesser s'ils se trouvent près de ces dernières.

Pour **FC8**, les concepts peuvent là encore être difficilement ajoutés soit parce que le système de propulsion ne permet pas au tiers de facilement manœuvrer le fauteuil comme l'idée de la trottinette, soit parce qu'il peut porter atteinte à l'intégrité de la PMR ou qu'elle nécessite des grands moyens de protection.

Pour **FC39**, nous avons retenu le concept rattaché au siège éjectable car nous avons constaté qu'un objet similaire existait et qu'il pouvait facilement être intégré à un de nos prototypes.

D'autres fonctions auraient pu être traitées dans la partie imagination notamment **FC2** « Le fauteuil doit pouvoir être remis sur ses roues par une tierce personne. » ou **FC7** « Le fauteuil doit être stable lors d'un transfert de la PMR d'un environnement à un autre. ». Nous n'avons malheureusement pas pu travailler sur l'intégralité des fonctions car notre sujet en dénombre beaucoup et que le temps dont nous disposions ne nous permettait pas de toutes les traiter.

2. Prototypes

Désormais, nous allons proposer plusieurs prototypes qui seront évalués lors des prochaines étapes. Ces prototypes sont composés de solutions liées aux concepts technologiques décelés lors de la phase d'imagination et des solutions techniques déjà existantes au sein des fauteuils ou au sein d'autre véhicule.

En raison d'un temps limité et de la complexité de notre projet, nous n'avons pas proposé de prototype répondant aux besoins de l'athlétisme. Ainsi nous avons constitué deux prototypes viables pour l'utilisation quotidienne et pour la pratique de certains sports (tennis, basket et rugby). Chacun des prototypes possède des caractéristiques similaires mais les solutions techniques choisies pour les constituer sont différentes. En effet, les deux prototypes se différencient par les systèmes de fixations des éléments de sports, les systèmes permettant de modifier le carrossage des roues, le réglage de l'assise, le système d'immobilisation, le système de maintien des roues et les solutions apportées pour faciliter la manœuvrabilité du fauteuil pour les tiers.

Afin de comprendre le fonctionnement des prototypes, chaque solution est accompagnée d'un élément visuel (schéma légendé, modélisation 3D, schéma cinématique ou photo) et d'un texte explicatif.

	Prototype 1	Prototype 2
Assise	Fixe	Réglable
		Accoudoirs abaissables
		Hauteur assise réglable
		Assise inclinable
		Hauteur dossier réglable
Immobilisation	Barres bloquants les rayons	Freins comprimant les pneus
Carrossage	Réglable	Réglable
Fixation module	1 partie démontable et 1 partie fixe sur le module (clips)	1 partie fixe sur le fauteuil et 1 partie fixe sur le module (liaison glissière)
Protection sol et FaR	-	Bande caoutchouc
Protection PMR	-	Appui-tête

Figure 50: Représentation cinématique du système de fixation

a. Prototype 1

Pour notre premier prototype, nous avons décidé de réutiliser certaines des solutions techniques présentes sur les fauteuils classiques. De plus, elles seront accompagnées de plusieurs solutions trouvées à la suite de la phase d'imagination.

Assise fixe

Sur le marché des fauteuils, un grand nombre de véhicules roulants possèdent des assises fixes. En effet, la largeur et la profondeur de l'assise sont standardisées. Ainsi les clients peuvent généralement acheter un fauteuil de taille allant de S à XL. Pour le premier prototype nous avons opté pour cette solution car elle permettra d'optimiser la masse et le prix du fauteuil.

Immobilisation

Pour le premier prototype, nous avons décidé de garder le système d'immobilisation classique. Ce système n'est cependant pas efficace lorsque les pneus des roues motrices sont sous-gonflés. Le deuxième prototype est muni d'un système bloquant la rotation de la roue. Le fauteuil est composé de deux triangles fixés sur l'axe de rotation de chaque roue. Ces triangles possèdent une barre métallique et une vis de maintien et le châssis dispose d'un trou taraudé.

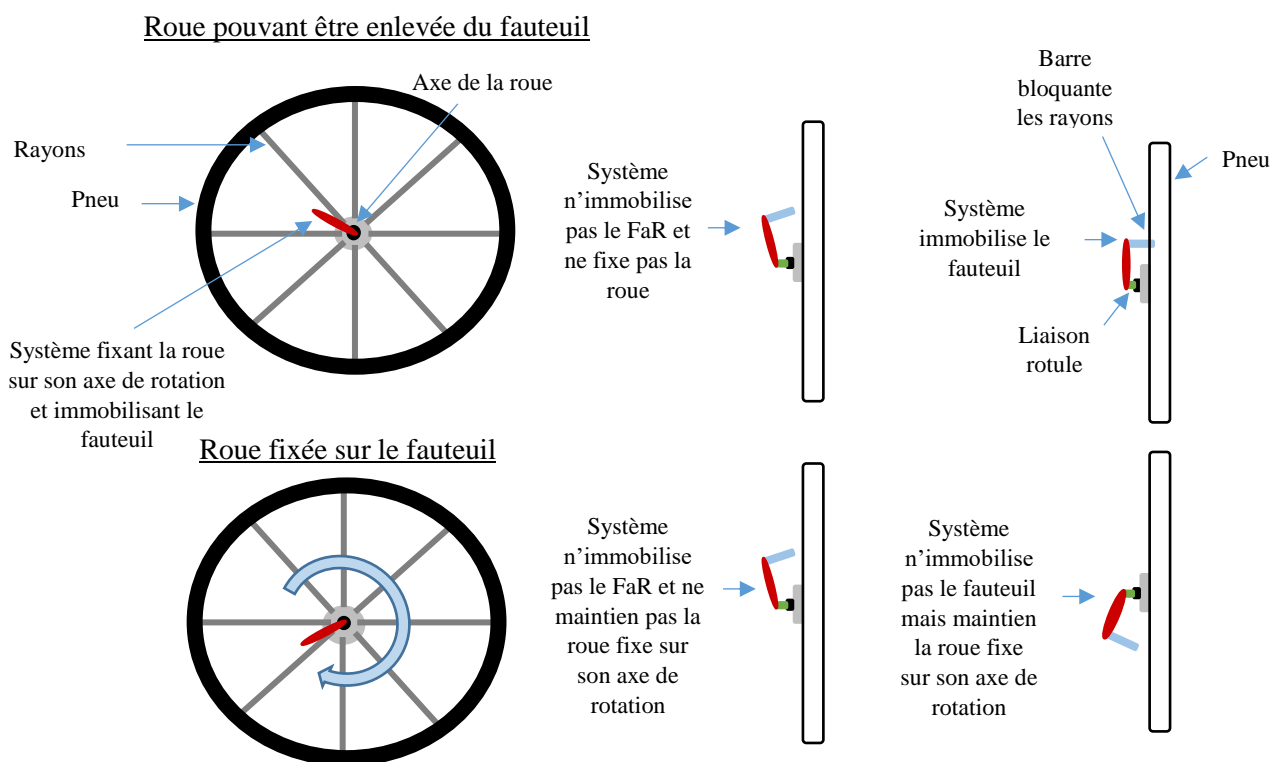


Figure 51: Schéma explicatif du système d'immobilisation

Les triangles sont fixés aux moyeux de la roue à l'aide d'une liaison rotule. Lorsque la PMR souhaite immobiliser son fauteuil, elle pousse chaque triangle rouge vers l'intérieur de la roue avec la paume de sa main. La force appliquée permet à la barre métallique de s'insérer entre les rayons de la roue et donc d'empêcher sa rotation. Si le fauteuil est immobilisé et que la PMR souhaite se déplacer, elle doit tirer vers l'extérieur de la roue chaque triangle rouge. Une fois la barre métallique déplacée d'un angle de 20°, la PMR peut remettre en mouvement son fauteuil.

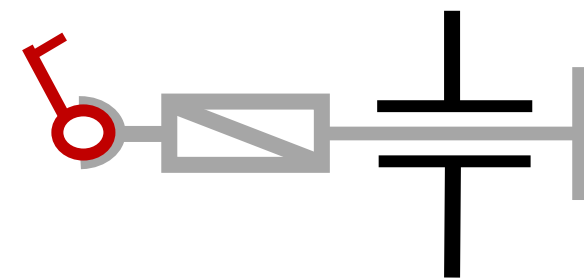


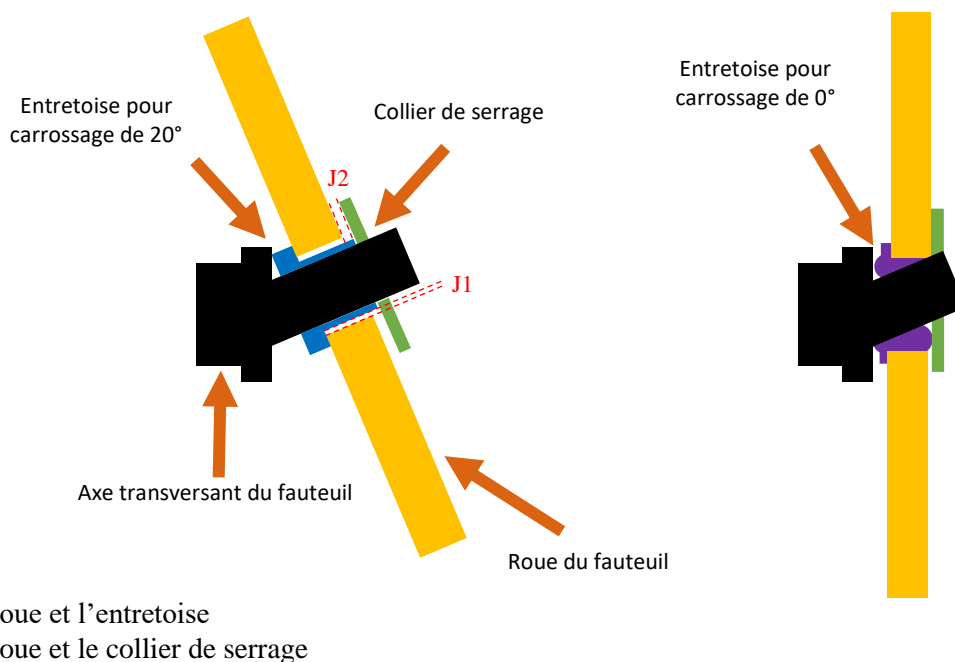
Figure 52: Schéma explicatif des différentes mécaniques du système

Le système permet également de fixer les roues au fauteuil. Pour cela, la PMR doit placer la vis du triangle dans l'axe de la roue. Elle doit ensuite tourner le triangle dans le sens horaire pour l'insérer au sein du trou taraudé du châssis. Cela permet de fixer le système d'immobilisation et de serrer la roue sur le châssis.

Carrossage

Sur un fauteuil sportif, il est nécessaire de pouvoir régler l'angle de carrossage des roues car cet angle peut être différent en fonction des sports pratiqués. De plus, durant la phase quotidienne, les roues devront être verticales afin de pouvoir franchir certains obstacles comme le cadran des portes dont la largeur est de 80 cm minimum. Ainsi, le fauteuil est initialement composé d'un carrossage de 20°. Il est alors possible d'ajouter une entretoise à la place du moyeu de chaque roue. Ces entretoises pourront être interchangeables en fonction de l'angle d'inclinaison souhaité.

D'un point de vue technique, les entretoises doivent être montées serrées sur l'arbre avec un ajustement de $\varnothing 12$ H6h5¹⁸. Elles doivent également avoir un ajustement glissant de $\varnothing 30$ H8f7¹⁹ sur l'alésage afin que la roue puisse tourner autour de l'entretoise. Afin de bloquer la roue en translation, un collier de serrage est placé à l'extrémité de l'entretoise.



- J1 : Jeu entre la roue et l'entretoise
- J2 : Jeu entre la roue et le collier de serrage

Figure 53: Schéma montrant l'utilité des entretoises et la présence des jeux

Lorsque la PMR souhaite pratiquer son sport, l'entretoise utilisée permet de conserver le carrossage initial des roues. Cependant, si la PMR souhaite utiliser son fauteuil au sein de ses activités quotidiennes, elle peut placer une entretoise permettant d'inhiber le carrossage de 20°.

Système d'accroche

Afin de transformer le fauteuil quotidien en fauteuil sportif, la PMR doit ajouter divers éléments comme un pare-chocs ou un système antibascule. Cependant ces manipulations doivent être simplifiées et les fixations doivent résister aux éventuels chocs. Ainsi, nous avons opté pour un système en deux parties. La première partie est fixée sur une des barres horizontales du châssis et la seconde partie est directement intégrée sur le module. Ainsi elle permet de faire le raccord entre le module et le châssis.

¹⁸ Ajustement permettant un montage et un remontage à la main sans détériorer les pièces

¹⁹ Ajustement permettant un à une pièce d'être mobile par rapport à une autre

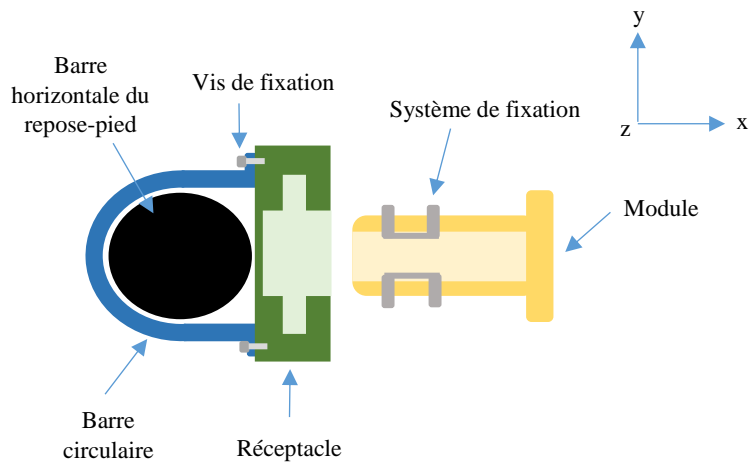


Figure 54 : Schéma explicitant les composants du système

L'utilisateur doit d'abord fixer le réceptacle sur le fauteuil. Pour cela, il doit placer une barre circulaire métallique autour de la barre qui constitue le repose-pied. Ensuite il visse le réceptacle avec les vis de fixation présentes sur la barre circulaire. Cette première manipulation permet de bloquer la translation du module selon l'axe x. Cependant une autre fixation est ajoutée afin d'empêcher les différentes rotations et la translation suivant l'axe z.

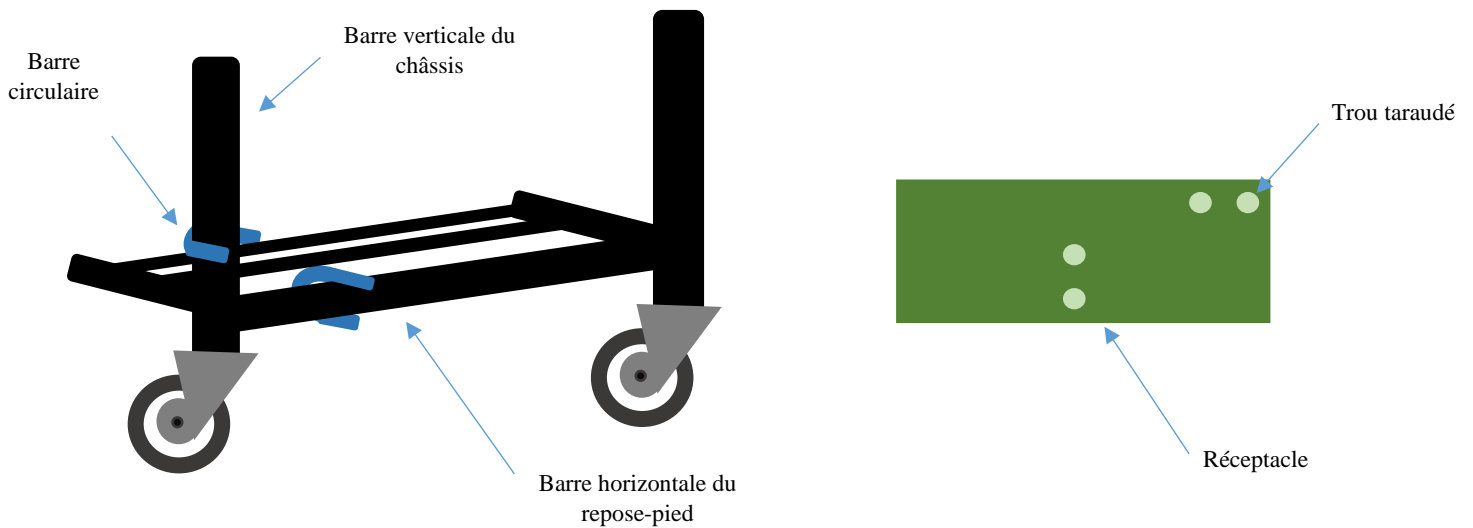


Figure 55 : Schéma montrant les différents points de fixation

Une fois le premier réceptacle fixé et immobilisé, l'utilisateur réitère les mêmes manipulations avec le deuxième réceptacle. Ensuite, il peut ajouter un module. Il saisit alors une des deux barres de fixation situées sur le module et l'insère dans le réceptacle en appuyant sur les deux pointes métalliques.

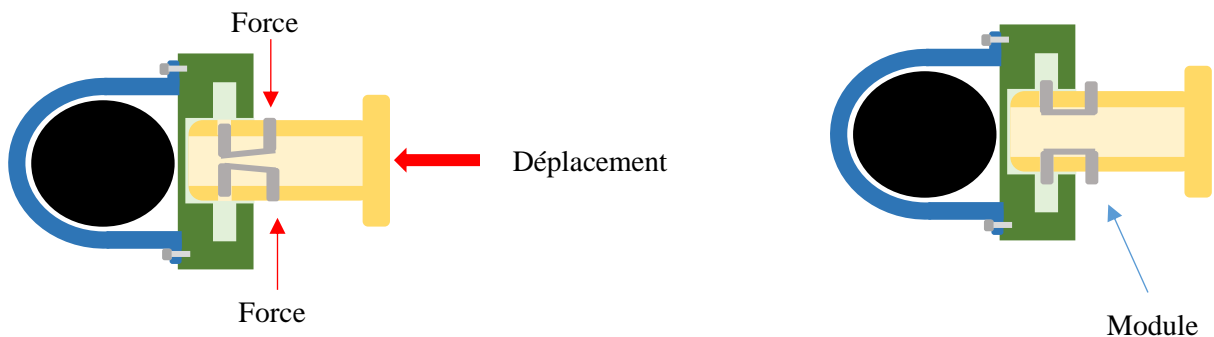


Figure 56: Schéma explicitant l'insertion du module dans le réceptacle

b. Prototype 2

Pour le second prototype, nous voulions que le fauteuil puisse être modifiable en fonction de la morphologie de l'utilisateur, de ses besoins et de ses envies. Pour cela nous avons voulu ajouter plusieurs éléments réglables à partir des concepts trouvés lors de la phase d'imagination.

Assise réglable

Avec ce prototype, la PMR peut régler l'assise en fonction de sa morphologie et de ses besoins. Ainsi elle peut régler la largeur, la hauteur et l'inclinaison de l'assise et également la taille du dossier.

Largeur

Lors d'un transfert, la PMR peut être gênée par la présence des accoudoirs. Elle peut également avoir besoin d'une surface d'assise plus large afin d'avoir plus de liberté dans ses mouvements. Nous avons ajouté des accoudoirs amovibles et inclinables. Les accoudoirs disposent d'une liaison pivot avec une butée d'angle comprise entre 0° et 90° .

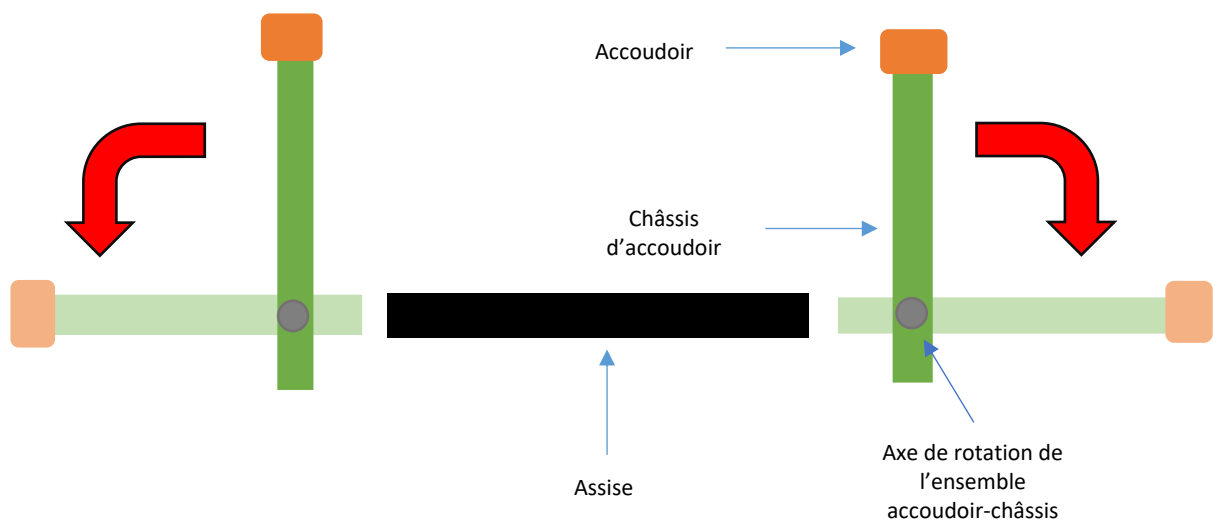


Figure 57: Schéma montrant les différentes positions des accoudoirs

Cependant, le châssis des accoudoirs doit avoir une forme particulière afin que les roues ne gênent pas leur inclinaison.

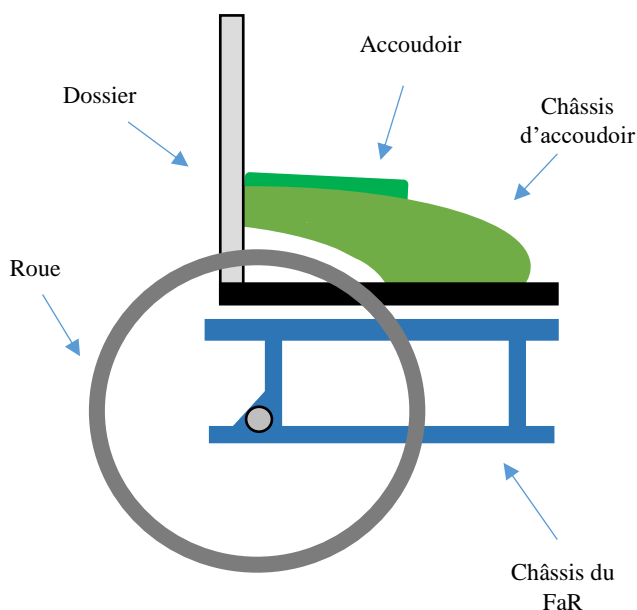


Figure 58: Schéma montrant la forme du châssis d'accoudoir

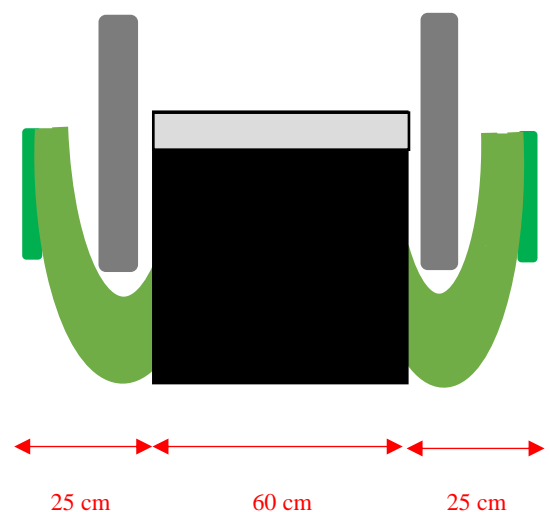


Figure 59: Schéma montrant la largeur de l'assise lorsque les accoudoirs sont à l'horizontal

Nous avons opté pour un châssis d'accoudoir creux en forme de demi-ellipse. Cette forme permet au châssis d'accoudoir de s'incliner à l'horizontal sans être gêné par les roues motrices. De plus la hauteur des accoudoirs en position verticale est de 25 cm ce qui permet à l'assise d'avoir une largeur maximale de 110 cm. L'augmentation de la surface d'assise vers l'extérieur du fauteuil permet également à la PMR de changer d'assise en glissant son corps sur le châssis d'accoudoir.

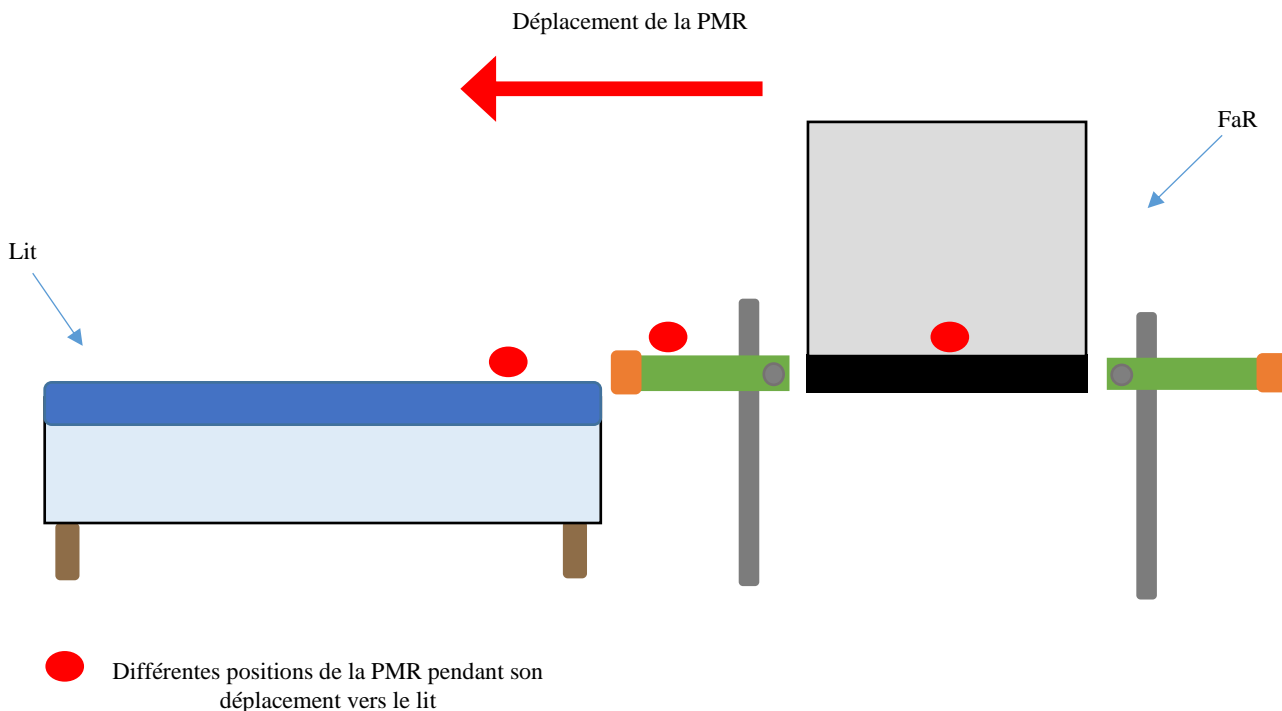


Figure 60: Schéma montrant le déplacement de la PMR du fauteuil vers un lit

Hauteur

Selon le sport pratiqué ou l'activité effectuée par la PMR, la hauteur de l'assise doit être différente. Pour jouer au basket, un joueur en fauteuil privilégie une assise basse afin de pouvoir dribbler ou récupérer la balle au sol. En revanche une PMR préfère avoir une assise rehaussée pour les tâches quotidiennes car cela lui permet d'accéder facilement à des objets et à des meubles, comme un lavabo (hauteur 70 cm).

Afin que la PMR puisse ajuster la hauteur de son assise en fonction des activités, le fauteuil possède deux crics losanges situés entre le siège et le châssis.

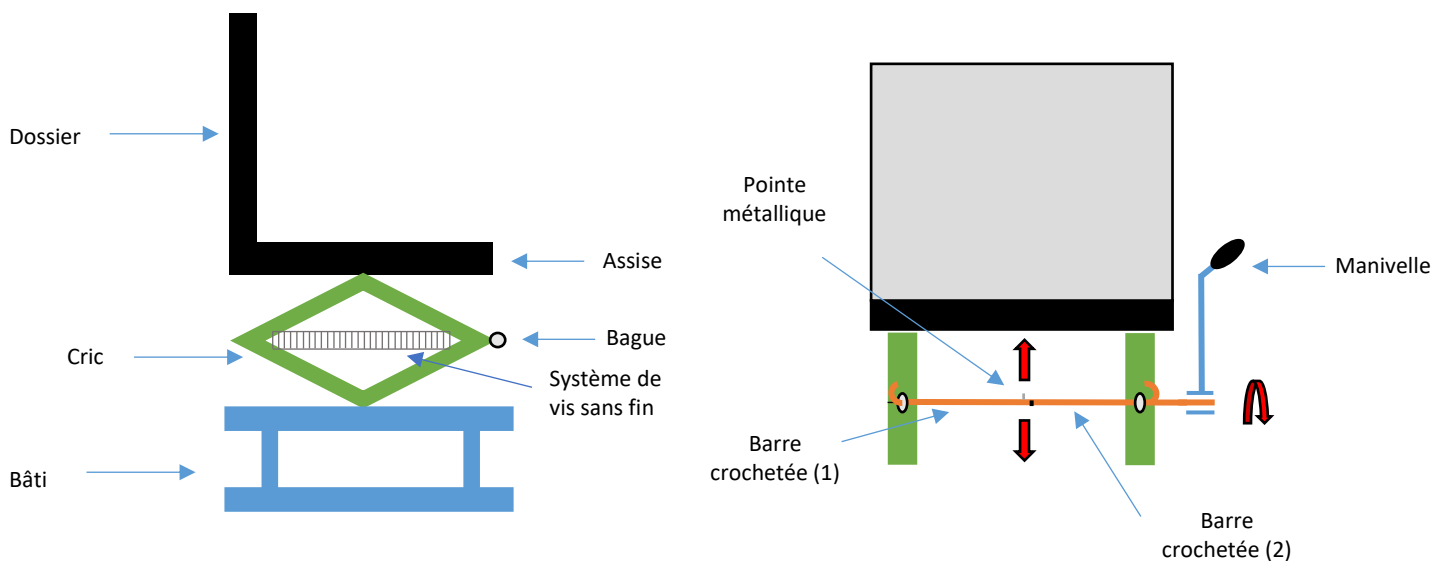


Figure 61: Schéma explicitant le fonctionnement des crics losanges

Pour pouvoir régler la hauteur de l'assise, la PMR insère une barre crochetée dans la bague du premier cric et insère l'autre barre dans la bague du deuxième cric. La PMR insère aussi la barre avec le plus petit diamètre dans l'autre barre jusqu'à ce qu'une pointe métallique sorte. Cette pointe permet de bloquer la translation et la rotation entre les deux barres. La PMR doit ensuite disposer sa manivelle à l'extrémité de la barre (2). Si la PMR tourne la manivelle dans le sens horaire, les crics se déploient et l'assise monte. Si la PMR tourne la manivelle dans le sens trigonométrique, les crics se rétractent et l'assise descend.

Inclinaison de l'assise

Dans le cadre de certaines activités sportives, les fauteuils de sport possèdent une assise abaissée et inclinée vers l'arrière. Le prototype possède donc une assise fixe inclinée et un coussin d'aide au levé. Ce coussin est installé sur l'assise et permet de faire varier son inclinaison. Ainsi l'assise peut être inclinée vers l'avant, être horizontale ou être inclinée vers l'arrière. Le coussin peut également faciliter l'installation et la sortie de la PMR du fauteuil.

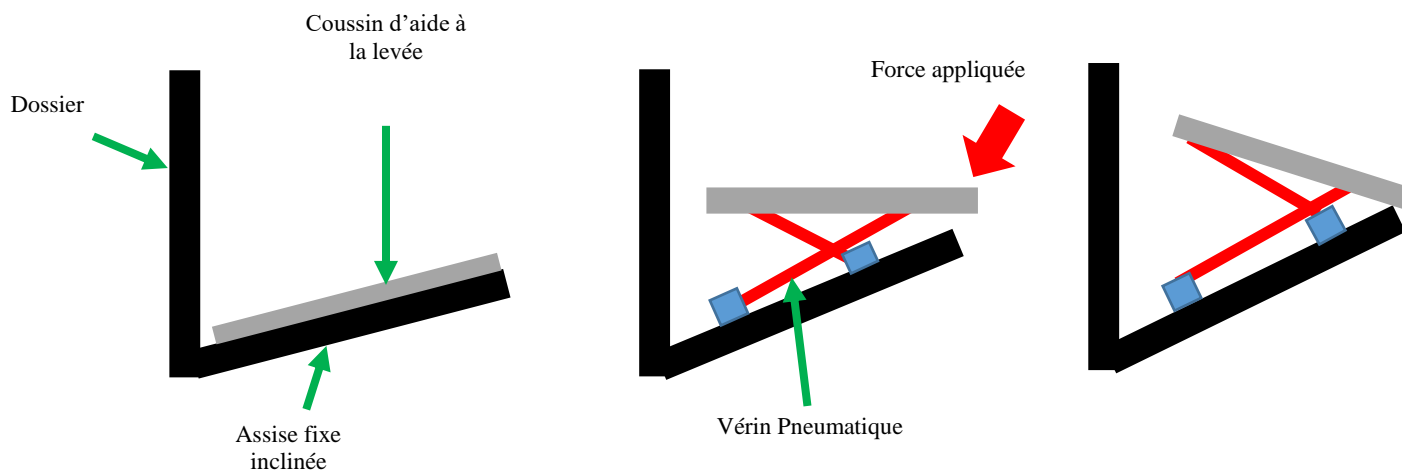


Figure 62: Schéma explicatif du fonctionnement du coussin d'aide à la levée

Le coussin est composé de deux vérins pneumatiques. Lorsque la PMR souhaite sortir de son fauteuil, elle se met au bord du coussin. La masse de la PMR provoque l'extension des vérins et l'inclinaison du coussin vers l'avant. Ainsi la PMR peut se redresser et sortir plus facilement du fauteuil. Une fois sortie de son fauteuil, le coussin reste incliné vers l'avant. Dans cette position, le coussin pourra assister la PMR lors de son installation.

Protection du sol et du fauteuil

Durant ses activités, la PMR et son fauteuil peuvent chuter. Cette chute peut intervenir lors du franchissement d'un obstacle tel qu'une marche ou lors d'un choc avec un autre fauteuil. Cela peut détériorer le fauteuil, diminuer sa résistance et abîmer le sol ou son revêtement. Ce dernier point peut paraître anodin mais la présence de fissures, de trous et d'impuretés dans le sol peuvent nuire à la pratique sportive et à l'état des pneus.

Pour prévenir l'impact de ses chutes, les accoudoirs disposent d'une bande latérale en caoutchouc.

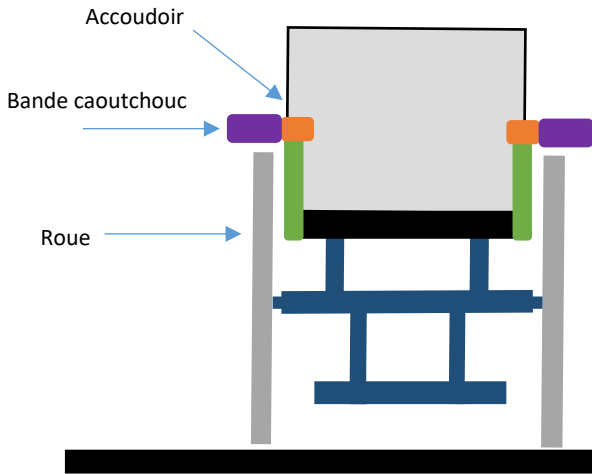


Figure 63: Schématisation d'une chute vue de face

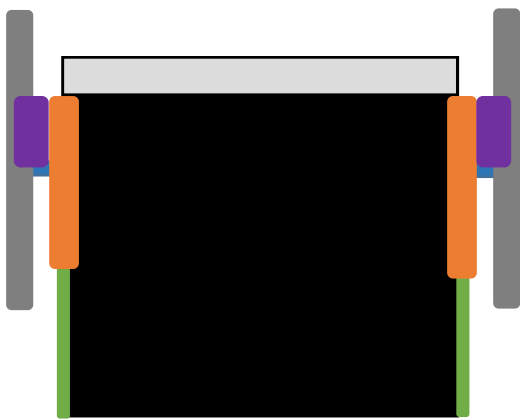
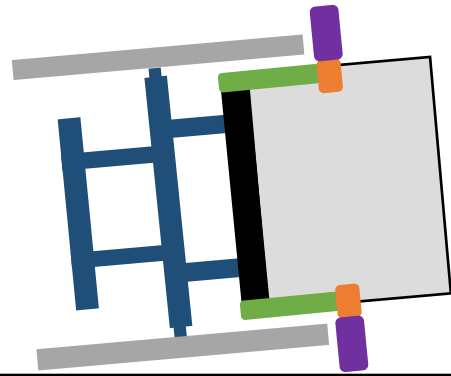


Figure 65: Schématisation d'une chute vue du dessus

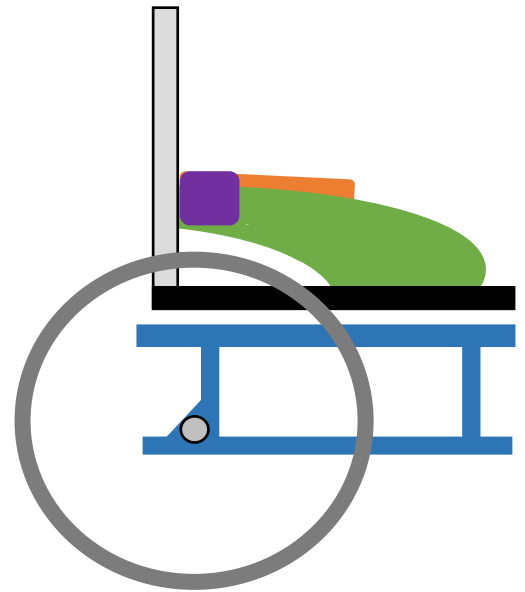


Figure 64: Schématisation d'une chute vue de côté

Lors d'une chute, la bande de caoutchouc absorbe une partie des chocs et diminue le nombre de point de contact avec le sol. Cela augmente la durée de vie des éléments du fauteuil et le revêtement du sol n'est pas dégradé.

Protection de la personne à mobilité réduite

Les chutes sont courantes et elles peuvent abîmer le fauteuil et le sol. Lors d'une chute la PMR peut être blessée plus particulièrement sa tête. Afin de protéger la PMR face à ce risque, le prototype dispose d'un appui-tête placé au-dessus du dossier.

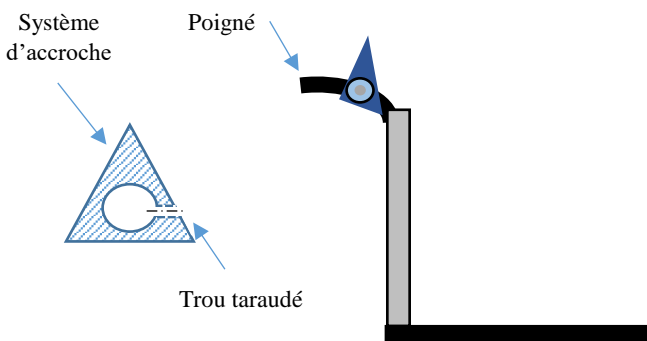


Figure 666: Vue en coupe de la vue de face et schéma du système sur le FaR vue de côté

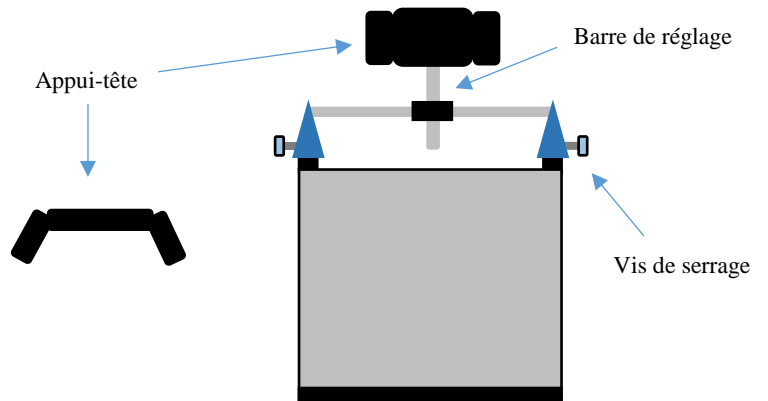


Figure 677: Schéma de l'appui-tête vue de dessus et schéma du système sur le FaR vue de face

Ce système est composé de deux systèmes d'accroche relié par une barre métallique. Chacun des systèmes d'accroche est composé d'une ouverture cylindrique dans laquelle se place la poignée. Chaque système dispose également d'un taraudé qui permet de recevoir une vis de réglage. Lorsque cette vis est serrée, elle comprime la poignée contre le système d'accroche. Cela permet de bloquer le système en translation et en rotation. Sur la barre située entre les accroches, se trouve un appui-tête réglable en hauteur et angulairement.

Ce système est privilégié durant l'utilisation quotidienne car l'appui-tête peut protéger la PMR en cas de chute. Cependant, il est préférable de l'ôter pour la pratique sportive car l'appui-tête pourrait gêner la PMR dans ses mouvements.

Dossier

Selon le réglage de l'assise (hauteur et inclinaison) et l'activité réalisée par la PMR, il peut être utile de régler la taille du dossier ou de l'enlever.

Le fauteuil reprend le concept technologique d'un store. Le dossier est composé de deux barres de guidage percées, d'une toile en tissu, d'une barre rigide amovible fixée au tissu et d'un enrouleur.

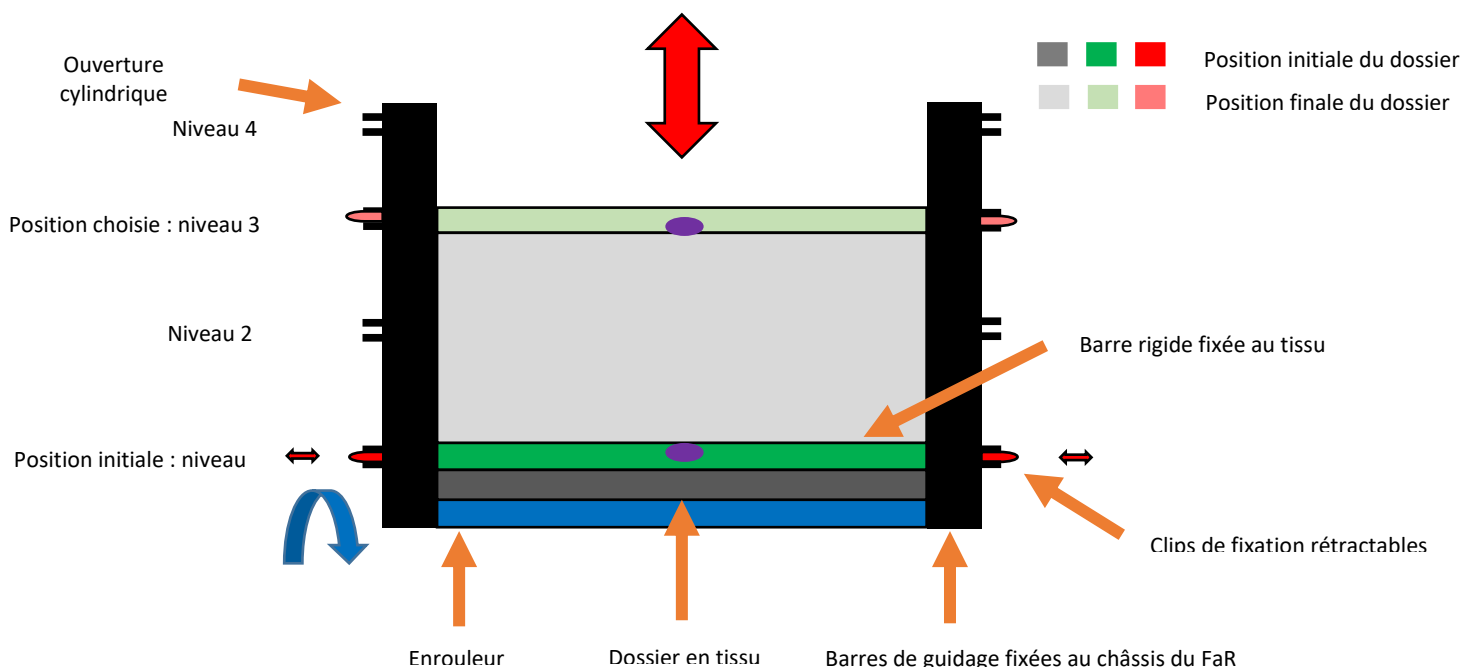


Figure 68: Schéma explicitant le réglage du dossier

Initialement, la toile (en gris) est enroulée autour de l'enrouleur (en bleu). Lorsque la PMR souhaite dérouler son dossier, elle saisit la barre rigide (en vert), la tire verticalement et appuie sur le bouton poussoir. Lorsque le niveau souhaité est atteint, des clips de fixation sortent de la barre rigide. Ces clips permettent de bloquer le tissu en translation. Lorsque la hauteur du dossier est fixée, le tissu ne peut pas être détendu. Lorsque la PMR souhaite rétracter son dossier, la PMR appuie sur le bouton poussoir et tire verticalement le tissu. Cela déclenche l'enrouleur et le tissu se rembobine.

Immobilisation

Pour immobiliser le fauteuil, nous avons choisi de reprendre le système présent sur les fauteuils classiques. Ce système a pour objectif de comprimer le pneu gauche et droit afin de bloquer la rotation des roues. Par conséquent, nous disposons alors d'un système d'immobilisation de chaque côté du fauteuil.

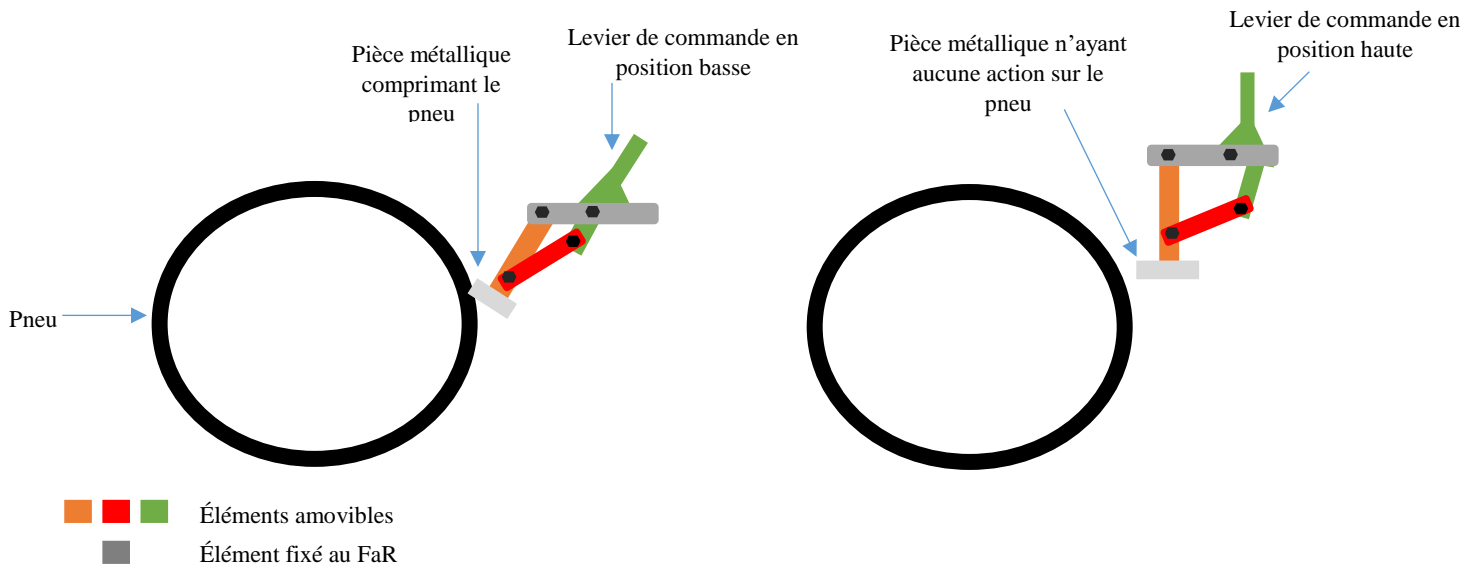


Figure 69: Schéma montrant l'action du système sur le pneu en fonction de sa position

Ce système est alors composé d'un levier de commande, d'une barre fixe, de deux barres amovibles et d'une barre métallique. Ainsi, lorsque la PMR souhaite immobiliser son fauteuil, elle baisse les deux leviers de commande. Cette action permet de pousser la barre rouge et la barre orange vers le pneu de la roue grâce aux quatre liaisons pivots (voir schéma cinématique). Enfin, la pièce métallique comprime le pneu et la compression est maintenue jusqu'au redressement du levier. Cependant, il est important de préciser que l'efficacité de ce système dépend de la pression des pneus. En effet sa fonction peut être altérée si les pneus sont sous gonflés.

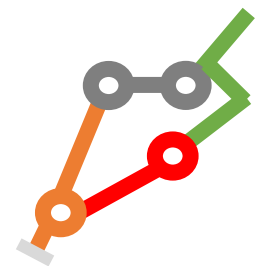


Figure 70: Schéma cinématique du système d'immobilisation

Carrossage

Le système de fixation est composé d'un « réglage » d'angle. Ce « réglage » se fixe au sein du tube qui se situe en dessous de l'assise (dans le châssis). Il suffit alors d'appuyer sur les mors pour qu'ils s'écartent. Cela permet au « réglage » d'angle de pénétrer dans le tube. Une fois les mors relâchés, le « réglage » est fixé et bloqué en translation et en rotation. Pour permettre à la PMR de modifier le carrossage de son fauteuil, elle dispose de divers « réglages » d'angle avec une forme différente. Cependant chacun d'eux dispose de deux sections distinctes : une section rectangulaire permettant à la PMR d'insérer le « réglage » d'angle dans le tube et une section circulaire creuse où le système d'axe de démontage rapide peut être placé.

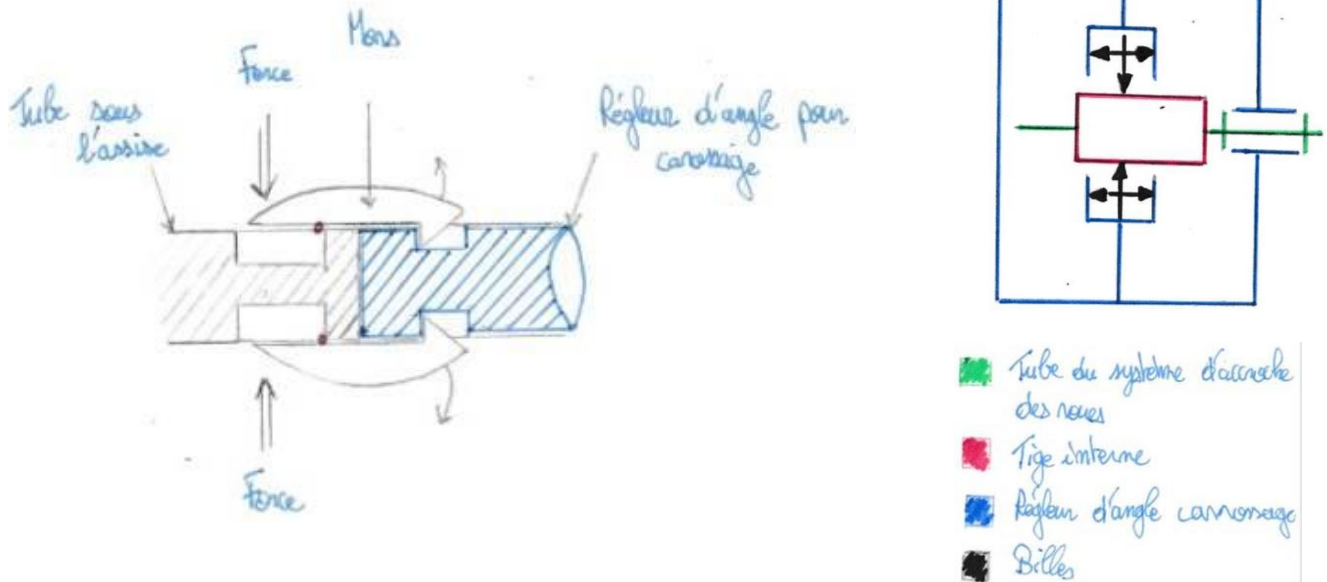


Figure 71: Vue en coupe et schéma cinématique du système de fixation des réglages d'angle

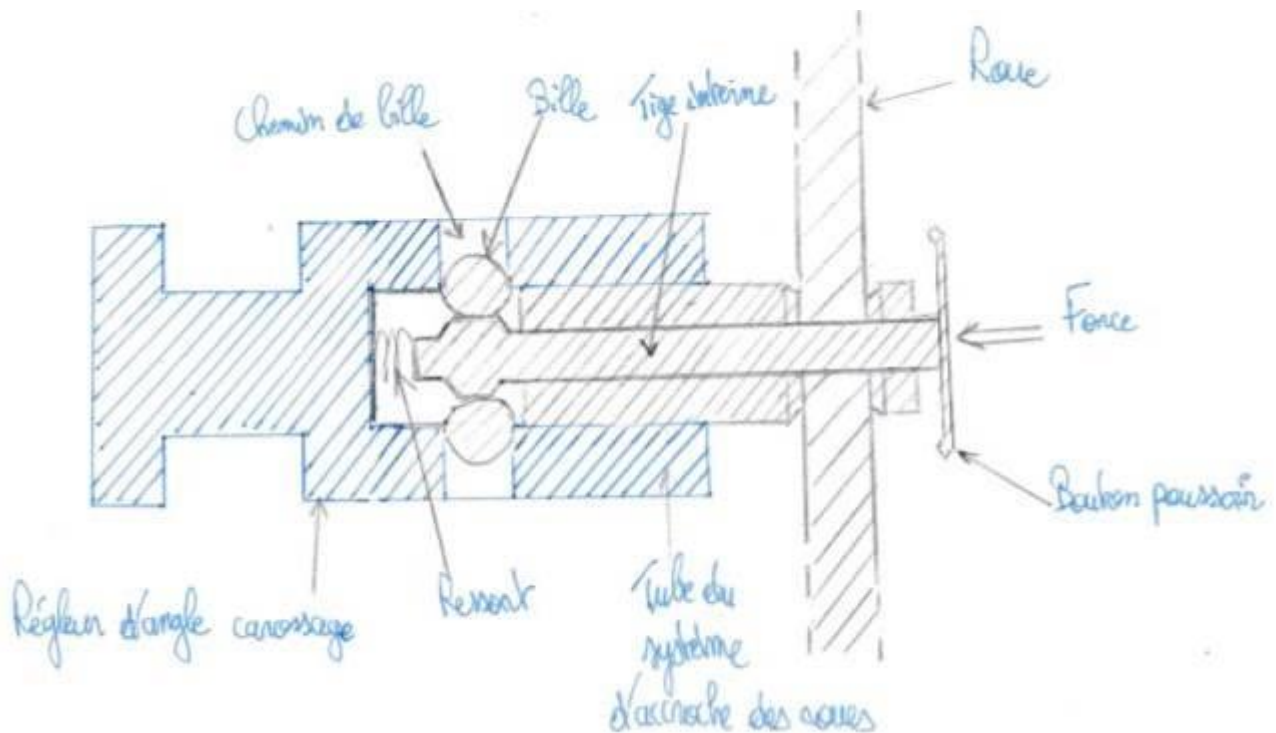


Figure 72: Vue en coupe du système de carrossage

Fixation

Ce système est composé d'une attache mâle (en bleu) qui est fixée sur le module et d'une attache femelle (en rouge) située sur le fauteuil. Il suffit ici d'imbriquer l'attache mâle dans l'attache femelle pour fixer le module au fauteuil. Pour empêcher la translation des attaches, quatre rivets percés accompagnés de goupilles fendues sont ajoutés.

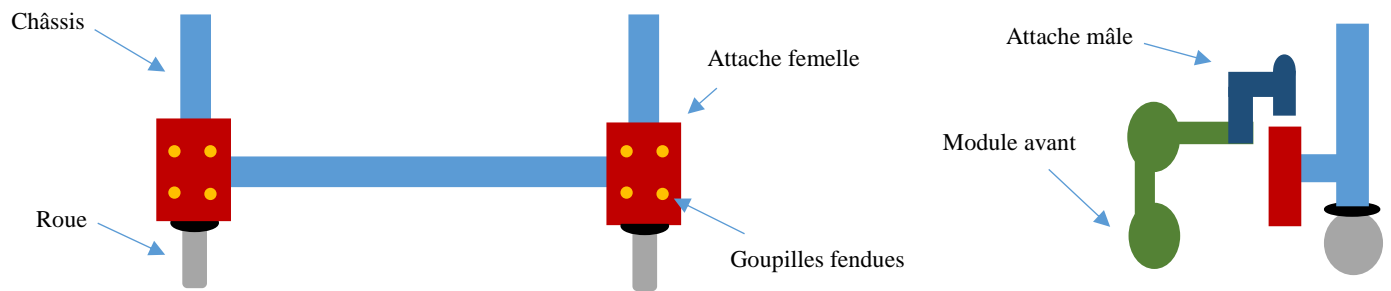


Figure 73: Schématisation du système de fixation

3. Maquettage

Afin de visualiser les prototypes dans leur ensemble et d'analyser leurs interactions avec les milieux extérieurs, nous avons créé une maquette numérique et un objet physique non fonctionnel. Les avantages de ces maquettes sont le faible coût et la possibilité de discuter sur la forme, la taille et le design des prototypes.

a. Maquette numérique

La maquette du 2^{ème} prototype a été réalisée sur un logiciel de conception 3D appelé « Creo ». Ici le châssis, les fixations, le module avant, les flasques et le système anti-bascule ont été réalisés par nos soins. En ce qui concerne les roues directrices, les roues motrices et le siège, nous les avons téléchargées depuis divers banques de données et nous les avons ajoutées au châssis par le biais d'une liaison pivot ou de plusieurs contraintes.

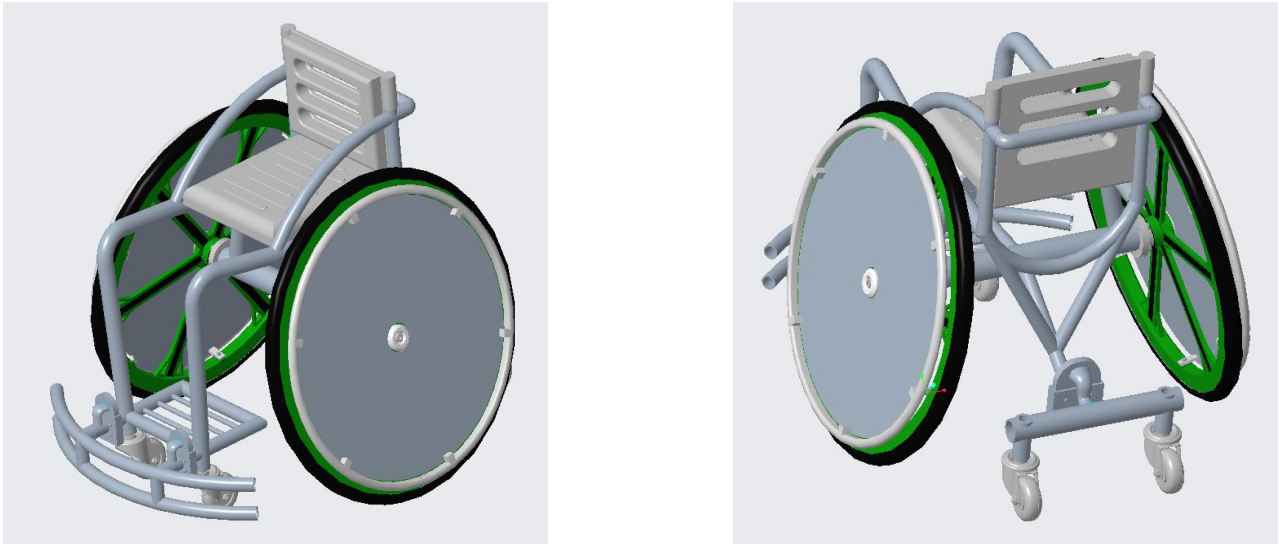


Figure 74: Modèle 3D du 2^{ème} prototype

Hormis l'aspect visuel, cette modélisation nous a permis de déterminer les dimensions du fauteuil et le châssis le plus optimal pour obtenir un fauteuil stable. Lors de la réalisation de cette maquette nous avons choisis de ne pas représenter tous les concepts choisis pour le 2^{ème} prototype afin de nous focaliser sur les endroits où pourrait être soudé les systèmes de fixation.

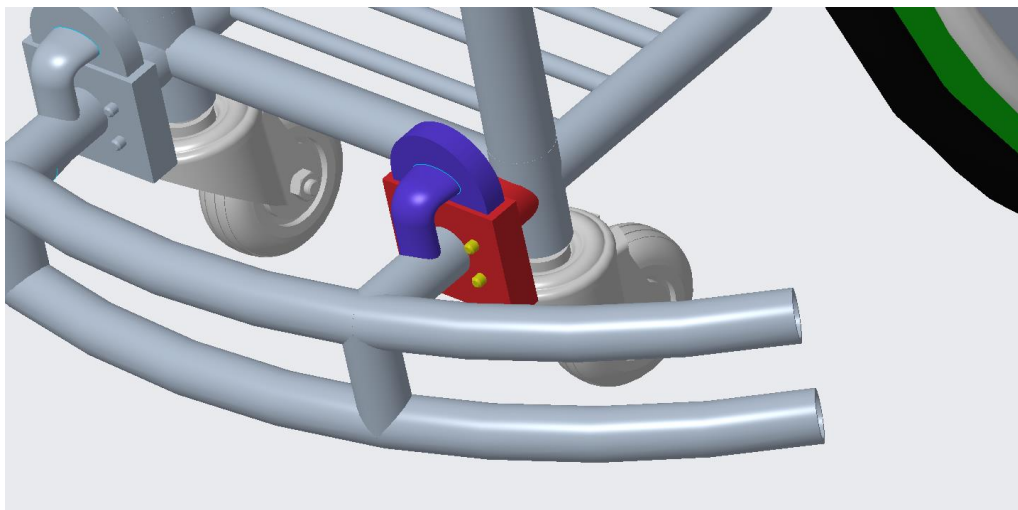


Figure 75: Visualisation du système de fixation

b. Q&D maquetage

Le procédé de Q&D maquetage consiste à utiliser des matériaux de récupération tels que du carton, du bois, du plastique, du polystyrène et d'autres objets similaires afin de recréer de manière grossière un des prototypes. Pour notre projet, nous avons eu à notre disposition un fauteuil roulant Invacare Action 4 NG. Sur celui-ci nous avons principalement ajouté du carton, des plaques de PVC et du papier bulle afin de représenter la forme de certains éléments et de certains concepts appartenant au 2^{ème} prototype. A l'aide de ces matériaux et d'objets de fixation (ruban adhésif et rilsans), nous avons tenté de modéliser les blocs de caoutchouc, le module avant, le système antibascule et le carrossage des roues.



Figure 76: Photographie de la maquette O&D

Grâce à cette maquette, nous avons constaté que le carrossage des roues élargissait le fauteuil et l'empêchait de passer une porte. Nous avons aussi remarqué que la forme du module avant et la forme des tôles d'accoudoir nécessitaient une attention particulière. En effet dans notre maquette, le pare-chocs était en contact avec les roues directrices ce qui rendait difficile le maniement du fauteuil. L'inclinaison des tôles d'accoudoir serait impossible car elle serait bloquée par le diamètre des roues motrices.

V. Etudes et validations

Cette cinquième étape consiste à étudier et comparer les prototypes obtenus lors de l'étape précédente. Elle s'organise selon trois principes :

- Fiabilité des prototypes
- Coût des prototypes
- Valeur des prototypes

1. Fiabilité des prototypes

Nous devons évaluer le risque technologique et la fréquence des éventuelles pannes de chaque système. Cette évaluation est réalisée grâce à nos connaissances et à l'étude des précédents systèmes ou des produits similaires présents sur le marché d'objets médicaux.

La durée de vie des composants dépend de l'utilisation et des maintenances effectuées par l'utilisateur. En effet, un fauteuil régulièrement entretenu et uniquement utilisé pour la vie quotidienne a un plus faible risque de se casser qu'un fauteuil peu entretenu ou très utilisé pour la pratique sportive.

Le prototype 1 est le plus fiable. Il correspond à une amélioration d'un fauteuil roulant classique. Nous supposons que la fréquence des maintenances et des réparations est similaire à celle d'un fauteuil basique soit une fois par mois. La durée de vie du fauteuil, c'est-à-dire la période pendant laquelle le fauteuil remplit toutes ses fonctions, dépend également de l'utilisation et de l'entretien. En moyenne, le fauteuil a une durée de vie de cinq ans minimum.

Le prototype 2 présente un risque technologique plus grand que le prototype 1. En effet l'utilisation de vérins et de crics implique une fréquence d'entretien réduite et un temps de maintenance plus long. L'utilisateur doit ainsi graisser les vérins, s'assurer que les vis des crics sont bien serrées et vérifier que l'enrouleur tende correctement le tissu du dossier. Ces maintenances doivent être réalisées tous les quinze jours afin que le fauteuil puisse être fonctionnel. Si ces échéances ne sont pas respectées, les sollicitations subies par le fauteuil lors des pratiques sportives risquent d'user plus rapidement les composants et donc d'augmenter la fréquence des pannes. En ce qui concerne sa durée de vie, nous estimons qu'elle est d'au moins quatre ans

2. Coût des prototypes

Afin de déterminer le budget nécessaire pour la mise en place d'un des prototypes, nous avons évalué les dépenses pour chaque solution. Par exemple pour déterminer le coût du système anti-basculé, nous avons cherché le montant nécessaire pour acquérir les tubes cylindriques en aluminium, les roues directrices, les fourches et les axes de roues.

		Module						
Caractéristique		Pare-chocs		Anti-basculé				
Objet	FaR manuel	x2 Tubes aluminium ø40mmx600mm	Soudure	Tube d'aluminium ø40mm*400mm	x2 Roues directrices	x2 Fourches	x2 Axe de roue	Soudure
Prix HT	-							
TVA	-							
Prix TTC	-	46,82 €		3,46 €	12 €	20 €	2,64 €	
Montant TTC	400 €		25-50 €		12 €	20 €	2,64 €	25-50 €

		Fixation				
Carrossage		Réceptacle	Barre circulaire	Raccord sur le module		
Entretien ø	Usinage roue	x2 Bloc d'aluminium 100mmx60mmx25mm	4x Colliers de serrage laiton ø 22mm	x2 Tube cylindrique d'aluminium ø60mmx55mm	Usinage réceptacle	Soudure
			11,66 €			
			3,72 €			
5 €		32,76 €	15,38 €	8,02 €		
	30-40 €	62,17 €	22,33 €			90-120 €
						25-50 €

Immobilisation			
Barre blocante		Taraudage	
2x Axe montage rapide vélo	x2 Tube cylindrique d'aluminium ø 10mmx50mm	Usinage	Soudure
5,80 €			
1,46 €			
7,26 €	5,00 €		
8,79 €		30-40 €	25-50 €
	Montant total des barres avec livraison = 81,44 €		
		Montant du prototype 1	914,37 € ± 75 €

Figure 77: Tableau décrivant les différentes dépenses pour la mise en place du prototype 1

Pour les deux prototypes, nous avons opté pour un fauteuil roulant manuel fixe d'occasion. Cela permet de réduire considérablement les montants associés à la soudure et à l'usinage. Après avoir additionné les coûts de chaque solution, nous constatons que l'achat des composants pour la mise en place du prototype 1 est de 914,37€ ± 75 € (C_1 : coût du prototype 1). Cette incertitude est due au prix de la main d'œuvre qui peut varier en fonction du temps d'usinage ou de soudage et de la complexité des pièces. Il faut ensuite ajouter à ce montant, le coût de la main d'œuvre pour assembler le prototype.

Caractéristique		Accoudoir pliable		Coussin d'aide à la levée	Hauteur assise	Protection FaR et sol	Appui-tête	Store pour dossier
Objet	FaR manuel	Protège-vêtement	Charnière		x2 Cric losange	x4 Brique de caoutchouc		
Prix HT	-	13,65 €	23,92 €	73,71 €	19,90 €	5,67 €	89,02 €	26,62 €
TVA	-	0,75 €	6,17 €	4,29 €	5,40 €	3,13 €	17,80 €	4,44 €
Prix TTC	-	14,40 €	30,09 €	78 €	25,30 €	8,80 €	106,82 €	26,62 €
Montant TTC	400 €	22,35 €	37,04 €	84,90 €	32,40 €	18,80 €	116,82 €	26,62 €

Fixation							
Carrossage			x2 attache mâle	x2 attache femelle			
x2 Tube cylindrique d'aluminium ø60mmx55mm	Mors	Usinage assise	Tube carré en acier 45mmx45mmx80mm	Tube carré en acier 50mmx50mmx70mm	Usinage attache	8x Goupilles fendues	
							2,16 €
							1,41 €
8,02 €	125 €		5	5 €			3,57 €
	125 €	30-40 €			30-40 €		8,47 €

Module							
Pare-chocs		Anti-bascule					
x2 Tubes cylindrique aluminium ø40mmx600mm	Soudure	Tube cylindrique d'aluminium ø40mm*400mm	x2 Roues directrices	x2 Fourches	x2 Axe de roue	Soudure	
46,82 €		3,46 €	12 €	20 €	2,64 €		
	25-50 €		12 €	20 €	2,64 €	25-50 €	
		Montant total des tubes avec livraison = 81,44 €					
					Montant du prototype 2	1133,48 € ± 35€	

Figure 78: Tableau décrivant les différentes dépenses pour la mise en place du prototype 2

Pour le prototype 2, nous aboutissons à un montant de 1133,48€ ± 35€ (C_2 : coût du prototype 2). Le budget nécessaire est plus important que celui requis pour le prototype 1. Il est également supérieur à la limite de 1000€ établi dans le cahier des charges fonctionnelles. Cependant cette somme est contrebalancée par les nombreuses possibilités de réglages offertes par le prototype 2.

3. Valeur des prototypes

Cette dernière phase prend la forme d'un tableau dans lequel nous retrouvons la totalité des fonctions, leur critère d'importance et les deux prototypes. Ce tableau permet de mettre en évidence le degré de satisfaction rendu par le prototype.

Le barème de notation est le suivant :

Note 1 : le prototype satisfait un peu la fonction.

Note 2 : le prototype satisfait la fonction

Note 3 : le prototype est adapté.

Après cette évaluation, nous avons obtenu la notation finale en multipliant le niveau de satisfaction d'une fonction avec son niveau d'importance. Puis nous avons répété ce calcul pour chaque fonction et sommé les résultats obtenus.

$$Notation\ Finale = \sum_{n=1}^{41} K_n \times S_n$$

Afin de déterminer la valeur des prototypes, nous devons établir un nouveau calcul. Celui-ci consiste à diviser la notation finale par le coût des prototypes.

$$Valeur\ (prototype\ 1) = \frac{\sum_{n=1}^{41} K_n \times S_n}{C_1}$$

Valeur (prototype 1) = 0.15

Valeur (prototype 2) = 0.12

Nous constatons que la valeur du prototype 1 est supérieure à celle du prototype 2. En raison des incertitudes liées au coût des prototypes et des approximations des niveaux de satisfaction, nous ne pouvons pas affirmer quel est le prototype le plus adapté. Ces résultats sont donc présents à titre indicatif.

Fonction	K	Prototype 1	Prototype 2
FC1	1	3	2
FC2	1	2	3
FC3	3	2	3
FC4	2	1	2
FC5	2	2	2
FC7	5	2	1
FC9	4	2	3
FC10	3	3	2
FC11	2	1	2
FC14	2	2	2
FC18	4	2	1
FC22	3	2	3
FC25	1	2	2
FC26	2	3	1
FC27	1	3	1
FC28	1	2	2
FC29	2	2	2
FC30	1	3	1
FC31	1	3	1
FC32	1	2	1
FC33	1	2	1
FC34	4	2	3
FC35	3	3	2
FC36	3	3	2
FC37	3	1	3
FC38	3	2	3
FC39	2	2	3
FC40	1	2	3
FC41	1	2	1
		134	133

Figure 79: Tableau décrivant la valeur des prototypes

VI. Propositions et recommandations

Cette cinquième étape nous a ainsi permis de comparer les deux prototypes à partir de diverses données (fiabilité, coût, valeur). Cependant, aucune décision n'a pu être prise suite aux résultats obtenus.

L'objectif de cette nouvelle étape est de choisir le prototype qui sera mis en œuvre. Ce choix va être réalisé à partir d'une table de décision. C'est un tableau au sein duquel nous retrouvons des critères et les prototypes. En théorie les critères sont proposés par un chef d'entreprise. Etant donné que cette démarche n'a pas pu être réalisée pour notre projet, nous avons décidé de nous mettre à la place d'un club handisport et d'établir nous-même les critères. Ainsi, nous avons supposé que l'investissement, la sécurité du fauteuil, la polyvalence, l'ajustage à la personne, le coût des maintenances et la facilité de transport pouvaient être des critères imposés par un club handisport. Nous avons également associé à chaque critère un pourcentage d'importance.

La table de décision consiste à s'interroger sur : comment le prototype assouvit le critère ? Pour cela, nous avons évalué les prototypes en leur associant une note comprise entre 1 et 10 pour chaque critère.

Critères	Sous-critères	Prototype 1	Prototype 2
Investissement (25%)		9	6
Sécurité du fauteuil (25%)		6	7
Polyvalence (15%)	Terrain	8	8
	Sport	7	9
Ajustage à la personne (15%)		4	9
Coût des maintenances (10%)		8	3
Facilité de transport (10%)		8	6
Notation finale (100%)		50	48
Avec pondération		8,2	8,05

Figure 80: Table de décisions

Comme pour l'étape cinq, les résultats obtenus présentent des incertitudes liées à la pondération des critères et aux notes attribuées à chaque prototype. Malgré cela nous constatons que le prototype 1 a obtenu une meilleure moyenne. Par conséquent, le prototype 1 est celui qui sera mis en œuvre.

VII. Mise en œuvre et suivi

La dernière étape de l'analyse de la valeur n'est pas à traiter pour notre projet car elle consiste à produire, vendre et distribuer le produit final basé sur le prototype 1. Ces étapes seront accompagnées par le suivi de la production, de la qualité du produit et des ventes. Certaines de ces étapes et certains choix technologiques pourront être modifiés en fonction de la disponibilité ou du prix des composants et des matières premières et en fonction de l'avis des utilisateurs.

VIII. Conclusion

Grâce à ce projet, nous avons pu découvrir et mettre en pratique la méthode de l'analyse de la valeur sur notre projet personnel du fauteuil roulant. A travers les différentes étapes de cette analyse nous avons appris à utiliser divers outils et méthodes qui permettent d'identifier, de concevoir et d'analyser de manière structurée et efficace. A l'issue de ces phases, nous avons pu mettre en place deux prototypes de fauteuil roulant dotés de caractéristiques différentes. C'est le prototype 1 qui correspond à un fauteuil classique amélioré qui a été retenu en raison de son faible coût, sa légèreté et sa simplicité d'utilisation. Le prototype 2 dispose, quant à lui, d'une multitude d'éléments réglables mais son poids ainsi que son prix sont ses principaux inconvénients.

Même si ce projet a été plaisant et enrichissant, nous avons néanmoins rencontré des difficultés. Premièrement, ce projet a été réalisé à distance dans sa globalité en raison de la crise sanitaire du COVID-19. La communication entre les membres du groupe et l'enseignant en a donc été plus compliquée. Nous avons également éprouvé quelques difficultés dans la réalisation de l'étape de l'analyse fonctionnelle. En effet, l'identification des milieux extérieurs et la rédaction des fonctions se sont avérées éprouvantes à cause des différentes phases d'utilisation du fauteuil ainsi que des différents sports ciblés. Ceci a donc eu pour conséquence la rédaction et la mise en place d'un cahier des charges fonctionnel volumineux et divisé en plusieurs catégories (sports et phases). Après ces étapes de recherches et d'analyses, la transition vers la phase d'imagination fut difficile. La réalisation de cette phase d'imagination aurait pu être simplifiée si elle avait été abordée à la suite de l'étape d'orientation et de préparation. Enfin, l'établissement du budget nécessaire à la mise en place d'un prototype nous a demandé beaucoup de temps en raison d'une recherche approfondie du meilleur rapport-qualité prix.

Cette méthode de l'analyse de la valeur possède plusieurs avantages. Par exemple, elle permet d'avoir une discussion quasi-permanente avec les clients, d'établir relativement tôt les coûts des fonctions, d'améliorer la qualité d'un produit sans en augmenter le coût ou de diminuer le coût d'un produit sans réduire le niveau des services rendus. Cependant, cette méthode est très analytique, assez lourde à mettre en œuvre et elle nécessite une forte implication des acteurs.

En tant qu'étudiants en tronc commun, cette unité d'enseignement de génie mécanique nous a conforté dans le choix de cette spécialité. Nous espérons que les autres UE de cette branche seront aussi plaisantes et instructives.

IX. Bibliographie

II. Rassemblement des informations :

FaR pour personne hémiparétique :

- Fauteuil à double mains courante : <https://www.proactiv-gmbh.eu/fr/fauteuil-roulant-entrainement-double-main-courante.html>
- Fauteuil à levier pendulaire : <https://monfauteuilroulant.com/Fauteuils-Roulants/Fauteuil-roulant-pour-hemiplegiques/Fauteuil-Roulant-Invacare-Action-4-NG-levier-pendulaire>

Athlétisme :

- <https://docs.google.com/viewer?url=http%3A%2F%2Fwww.handisport.org%2Fdocuments%2Fressources%2FGUIDE-MATERIEL-20190226.pdf>
- <https://docs.google.com/viewer?url=http%3A%2F%2Fathletisme-handisport.org%2Fwp-content%2Fuploads%2F2015%2F03%2Fle-guide2015.pdf>
- <https://www.actinomie.fr/fauteuil-dathletisme/>

Basket :

- <http://francebasketfauteuil.org/historique/les-handicaps-classification/>
- <https://www.sunrisemedical.fr/fauteuils-roulants/rgk/fauteuil-roulant-de-club-sport> <https://www.tween-europe.com/rgk-elite.html>

Rugby :

- <http://www.capsaaa.net/club-sportif/cap-sport/rugby-fauteuil/classification>
- <https://fr.wikipedia.org/wiki/Rugby-fauteuil>
- <https://www.medicaexpo.fr/fabricant-medical/fauteuil-roulant-rugby-48647.html>

Tennis :

- https://fr.wikipedia.org/wiki/Tennis_en_fauteuil_roulant
- <http://www.handisport.org/les-29-sports/tennis/>
- <http://www.tennis-attitude.com/tennis-fauteuil-roulant-mobilite-et-gestion-espace-de-jeu/>

III. Analyse fonctionnelle :

Normes-accessibilités :

- <https://accessibilite.ooreka.fr/astuce/voir/748555/accessibilite-pour-fauteuil-roulant>
- <https://www.handinorme.com/accessibilite-handicap/91-regles-de-mise-en-accessibilite-des-etablisements-recevant-du-public->
- <https://cerahtec.invalides.fr/doc/specification.pdf>

Maintenance :

- <http://tpmattitude.fr/methodes.html>

V. Etude et validation :

Valeur des prototypes :

- Fauteuil d'occasion : <https://www.handi-occasion.com/Ile-de-France-Paris-Cadre-fixe-vente-fauteuil-Colours-in-motion-15229.htm>
- Coussin d'aide à la levée : <https://www.tousergo.com/aide-au-transfert/28-coussin-d-aide-a-la-levee-5021196758495.html>
- Appui-tête : <https://homedom.fr/products/appui-tete-universel-pour-fauteuil?variant=32196474961964>
- Cric losange : <https://www.obelink.fr/pro-plus-cric-ciseaux.html>
- Collier de serrage : <https://fr.rs-online.com/web/p/products/7845112/>
- Tube d'acier et d'aluminium : <https://www.acier-detail-decoupe.fr/>
- Axe de roue directrice : https://www.beastybike.com/ecrous-de-moyeux/3255-axe-avant-a-blocage-rapide-pa.html?gclid=EAIAIQobChMI95-e9MT86QIVgojVCh04ig2AEAQYAYABEGLi2vD_BwE
- Bloc d'aluminium à usiner : <https://www.ebay.fr/itm/ALUMINIUM-BAR-BILLET-BLOCK-100mm-x-60mm-x-25mm-GRADE-6082-T6/264302919207?hash=item3d89ae7e27:g:dwkAAOSwcUBYQqVv>
- Goupille fendue : <https://www.visseriefixations.fr/goupille-fendue-6-3x32-z-blanc-din-94.html>
- Store enrouleur : https://www.store-direct.fr/fr/product/store-enrouleur-occultant-gris-basalte-5756/?gclid=EAIAIQobChMIy6HZ5PD26QIVgvhRCh3Lmgt0EAKYASABEGI_0PD_BwE
- Charnière goupille : <https://fr.rs-online.com/web/p/charnieres/2834057/>
- Brique de caoutchouc : https://tapiscaoutchouc24.fr/brique-en-caoutchouc-43-mm-noir.html?channable=e13557.WkQtU0JSNDMtU0gtMDAx&gclid=EAIAIQobChMI14P2zur26QIVFifVC_h2y6gCEEAKYAYABEGI9QPD_BwE
- Fourche : https://www.decathlon.fr/p/kit-de-suspension-avant-pour-trottinette-7-xl/_/R-p-312988
- Roue directrice : https://www.decathlon.fr/p/1-roue-trottinette-100mm-avec-roulements-noire/_/R-p-6379?mc=8096080&c=NOIR
- Axe roue directrice : https://www.decathlon.fr/p/kit-d-axe-pour-roue-avant-pour-les-trottinettes-urbaines/_/R-p-312994?mc=8575745

Définitions :

- https://fr.wikipedia.org/wiki/Wikip%C3%A9dia:Accueil_principal
- <https://www.sante-sur-le-net.com/>
- <https://www.who.int/fr>
- <https://www.fondationparalysiecerebrale.org/>
- <https://definition-sigle.fr/signification.php?sigle=CERAH>