

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

المركز الجامعي لعين تموشنت

Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent

Institut de Technologie

Département : Génie Mécanique



Projet de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme de Master en :

Domaine : TECHNOLOGIE

Filière : GENIE MECANIQUE

Spécialité : CONSTRUCTION MECANIQUE

Thème

*Etude et conception D'une Chaise Monte-escalier pour des personnes obeses ou à Mobilité Réduite*

**Présenté Par :**

1) Meddah Youcef Sid Ahmed

2) Chadli Omar

**Encadre par :**

Dr BELHENINI Soufyane

**Devant les jurys composés de :**

Dr AMIRAT Mohamed président

Dr Beloufa Mohamed amine Examineur

*Année universitaire 2018/2019*





## *Remerciements*

*Nous tenons à exprimer ma profonde gratitude en premier au 'DIEU' qui m'a toujours soutenu et Donné la force. Nous tenons à remercier mon encadreur pédagogique Dr. BELHÉNINI Soufyan Pour sa rigueur scientifique, ses exigences de disponibilité, en me Faisant partager son expérience et ses connaissances scientifiques, ses précieux conseils et aussi Pour m'a épaulé durant cette épreuve Aux membres de jury : On est très heureux et fier de l'honneur que vous me fait en acceptant d'être présents dans le Jury de Nos projet de fin d'études. Veuillez trouver dans ce travail l'expression de Nos estime et de ma gratitude. Mes remerciements s'étendent aussi à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin, d'une Manière directe ou indirecte au bon déroulement de ce travail, en me fournissant tous les Renseignements et les recommandations nécessaires.*

## *Dédicace*

*En termes de connaissance de leurs sacrifices et en témoignage de mon profond sentiment à*

*Leurs égards, je dédie ce travail à mes parents.*

*Cher père, chère mère,*

*Rien ne serait exprimer l'étendu de ma reconnaissance, l'estime,*

*Le respect et l'amour que j'ai Pour vous.*

*Je dédie ce modeste travail qu'il soit la récompense de vos sacrifices illimités et vos Soutiens moraux que vous m'avez généreusement offerts.*

*Que dieux vous préserve bonne santé et longue vie.*

*A mon frère, A mes sœurs, pour leur amour et leur encouragement.*

*A mon frère TariQ*

*Merci pour votre aide et votre encouragement en phase d'achèvement de mon projet de fin D'études*

*A tous mes ami(e)s*

*Pour votre soutien et vos encouragements, qui nous ont été une grande valeur lors de moments*


*Les plus dures durant l'élaboration de ce travail.*

*A tous ceux qui a aidé à réaliser ce travail*

Meddah Youcef Sid Ahmed

## *Dédicace*

*Je dédie ce travail à : Mes chers parents, qui m'ont toujours encouragé et soutenu dans mes études jusqu'à la fin de ma formation, qui m'ont guidé durant les moments les plus pénibles de ce long chemin, ma mère qui a été à mes côtés et*

A decorative border with intricate floral and scrollwork patterns in black and white, framing the text on all four sides.

*m'a soutenu durant toute ma vie, et mon père qui a sacrifié toute sa vie afin de  
me voir devenir ce que je suis, merci mes parents.*

*A toute ma famille sans exception.*

*A mes amis : Nasser & Tariq*

*A celui qui m'a collaboré dans la réalisation de ce mémoire, à toi Sid Ahmed.*

*Enfin à tous ceux qui nous sont très chers.*

*Que dieu vous garde.*

*Chadli Omar*

## Sommaire :

|  |    |
|--|----|
| Introduction général .....   | 1  |
| Problématique.....   | 2  |
| Présentation du projet .....   | 3  |
| I. CHAPITRE I : Recherche bibliographique sur les chaises monte-escalier.....          | 11 |
| I.1 L'histoire du nom :.....   | 11 |
| I.1.1 Création Du premier Fauteuil monte escalier :.....                               | 11 |
| I.2 Généralité sur la chaise monte-escalier :.....                                     | 12 |
| I.2.1 Définition :.....  | 12 |
| I.2.2 Fonctionnement d'un monteescalier : .....  | 13 |
| I.2.3 Les montes escalier droits .....   | 15 |
| I.2.4 Les montes escalier tournants:.....  | 15 |
| I.2.5 Les différentes marques de monte-escalier :.....                                 | 15 |
| I.2.6 Maintenance d'un monte-escalier :.....   | 16 |
| I.2.7 Les normes des monte-escaliers : .....   | 17 |
| I.2.8 Information sur les limites de poids utilisateur sur les montes-escaliers :..... | 17 |
| I.2.9 La vitesse des monte-escaliers :.....  | 17 |
| I.2.10 Lexiques liés au Monte escalier :.....  | 18 |
| I.2.11 Les différentes formes de rail de monte-escalier :.....                         | 18 |
| I.3 Monte escalier avantages et inconvénients :.....                                   | 19 |
| I.3.1 Les avantages .....  | 19 |
| I.3.2 Les inconvénients .....  | 19 |
| II. CHAPITRE II : Analyse fonctionnelle et Technique .....                             | 20 |
| II.1 Introduction .....  | 20 |
| II.2 La Conception mécanique.....  | 20 |
| II.2.1 Définition.....   | 20 |
| II.2.2 Le bureau d'études dans l'entreprise .....                                      | 21 |
| II.2.3 Les étapes de la conception .....   | 23 |
| II.2.3.1 L'analyse du besoin client.....   | 23 |
| II.2.3.2 L'étude de faisabilité.....   | 23 |
| II.2.3.3 L'avant-projet .....  | 24 |
| II.3 L'analyse fonctionnelle (AF).....   | 25 |
| II.3.1 Définitions .....   | 25 |

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| II.3.2    | Les méthodes d'analyse fonctionnelle.....                    | 25 |
| II.3.3    | La méthode APTE.....   | 25 |
| II.4      | Analyse fonctionnelle d'une chaise monte-escalier :.....     | 26 |
| II.4.1    | Analyse du besoin d'une chaise monte escalier :.....         | 26 |
|           | A quoi sert la bête à cornes ?.....                          | 26 |
|           | Comment utiliser la bête à cornes ?.....                     | 26 |
| II.4.2    | Bête à cornes pour notre projet.....                         | 27 |
| II.5      | Analyse des interactions de notre système :.....             | 28 |
| II.5.1    | Diagramme de Pieuvre (graphe des interactions).....          | 28 |
| II.5.1.1  | Expression des fonctions.....                                | 28 |
| II.5.2    | Le cahier des charges fonctionnel :.....                     | 30 |
| II.6      | L'analyse fonctionnelle technique.....                       | 31 |
| II.6.1    | Définition.....  | 31 |
| II.6.2    | Diagramme FAST ( Fonctionnal Analysis System Technique)..... | 32 |
| II.7      | Solutions Proposées.....                                     | 34 |
| II.7.1    | Chaise monte-escalier pliante.....                           | 34 |
| II.7.2    | Chaise monte-escalier glissante (sur deux rails).....        | 36 |
| II.7.3    | Chaise monte-escalier démontable.....                        | 37 |
| II.7.4    | Chaise monte-escalier à coffre apparent.....                 | 37 |
| II.7.5    | Synthèse des solutions.....                                  | 38 |
| III.      | CHAPITRE III : Conception De la Chaise monte escalier.....   | 40 |
| III.1     | Introduction :.....  | 40 |
| III.2     | Solution envisagée :.....                                    | 40 |
| III.2.1   | Présentation générale de la solution :.....                  | 40 |
| III.2.2   | Schématisation cinématique de la solution :.....             | 41 |
| III.3     | Les éléments constituant la solution :.....                  | 43 |
| III.3.1   | La force motrice.....  | 43 |
| III.3.2   | Le pignon de sortie.....                                     | 48 |
| III.3.2.1 | Le Module :.....   | 49 |
| III.3.2.2 | Calcul de la largeur de la denture :.....                    | 50 |
| III.3.2.3 | Calcule du pas :.....  | 50 |
| III.3.3   | La chaise monte escaliers.....                               | 55 |
| III.3.4   | Le rail.....   | 61 |
| III.3.5   | Le châssis de la chaise monte escaliers.....                 | 66 |
| IV.       | Conclusion Générale et perspectives.....                     | 72 |



## Liste des figures

| Chapitre I : Recherche bibliographique sur les chaise monte-escalier                                 |    |
|--|----|
| <b>Figure I. 1</b> :la première chaise monte escalier moderne  | 6  |
| <b>Figure I. 2</b> :Chaise monte escalier stannah  | 8  |
| <b>Figure I. 3</b> :Chaise monte escalier Droit de marque stannah                                    | 9  |
| <b>Figure I. 4</b> :Chaise monte escalier tournant de marque stannah                                 | 9  |
| CHAPITRE II : Analyse fonctionnelle et Technique   |    |
| <b>Figure II.1</b> : Diagramme "Bête à cornes " lié à notre projet de conception.                    | 22 |
| <b>Figure II.2</b> : Diagramme des interactions (pieuvre) de notre projet de conception.             | 24 |
| <b>Figure II.3</b> : représentation schématique typique d'un diagramme FAST                          | 26 |
| <b>Figure II.4</b> : représentation schématique détaillée d'un diagramme FAST                        | 27 |
| <b>Figure II.5</b> : Diagramme FAST de la fonction technologique principale.                         | 27 |
| <b>Figure II.6</b> : Chaise monte-escalier pliante (coffre fermé).                                   | 29 |
| <b>Figure II.7</b> : Chaise monte-escalier pliante (coffre ouvert).                                  | 29 |
| <b>Figure II.8</b> : Chaise monte-escalier Glissante sur deux rails.                                 | 30 |
| <b>Figure II.9</b> : Chaise monte-escalier Glissante sur deux rails pour un escalier central         | 30 |
| <b>Figure II.10</b> : Chaise monte-escalier démontable.  | 31 |
| <b>Figure II.11</b> : Chaise monte-escalier à coffre apparent.                                       | 32 |
| CHAPITRE III : Conception De la Chaise monte escalier  |    |
| <b>Figure III.1</b> : Croquis réalisé à main levée de la solution envisagée pour un monte escaliers. | 37 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Figure III.2</b> : Schéma cinématique de la chaise monte escaliers.                           | 38 |
| <b>Figure III.3</b> Motoréducteur de marque ACM initialement prévu pour les rideaux électriques. | 40 |
| <b>Figure III.4</b> : Une autre vue du motoréducteur ACM.  | 40 |
| <b>Figure III.5</b> : Vue orientée sur le pignon de sortie du motoréducteur ACM.                 | 41 |
| <b>Figure III.6</b> : Le système de régulation de course du motoréducteur ACM.                   | 42 |
| <b>Figure III.7</b> : Le dessin d'ensemble du motoréducteur lève rideau                          | 43 |
| <b>Figure III.8</b> : Paramètres généraux d'un engrenage droit à denture droite.                 | 44 |
| <b>Figure III.9</b> : Vue isométrique de l'engrenage.  | 48 |
| <b>Figure III.10</b> : Vue de face de l'engrenage.   | 49 |
| <b>Figure III.11</b> : Vue de droite de l'engrenage.   | 50 |
| <b>Figure III.12</b> : Modèle 3D de la chaise monte escalier                                     | 51 |
| <b>Figure III.13</b> : Modèle 3D isométrique de la chaise monte escalier                         | 52 |
| <b>Figure III.14</b> : Vue de face de la chaise monte escalier                                   | 53 |
| <b>Figure III.15</b> : Vue de droite de la chaise monte escalier                                 | 54 |
| <b>Figure III.16</b> : Vue de face et de coupe de la chaise monte escalier                       | 55 |
| <b>Figure III.17</b> : Vue de dessous de la chaise monte escalier                                | 56 |
| <b>Figure III.18</b> : Schéma qui représente la flèche avec $L= 1000$ mm par logiciel RDM6       | 57 |
| <b>Figure III.19</b> : Schéma qui représente la flèche avec $L= 1200$ mm par logiciel RDM6       | 57 |
| <b>Figure III.20</b> : Schéma qui représente la flèche avec $L= 1500$ mm par logiciel RDM6       | 58 |
| <b>Figure III.21</b> : Vue isométrique de la crémaillère.  | 59 |
| <b>Figure III.22</b> : Vue de face et de coupe de la crémaillère.                                | 60 |
| <b>Figure III.23</b> : Vue de la crémaillère et de sa cage de protection.                        | 61 |
| <b>Figure III.24</b> : Vue isométrique du châssis.   | 63 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Figure III.25</b> : Vue isométrique du châssis.           | 64 |
| <b>Figure III.26</b> : Vue de droite du châssis.             | 65 |
| <b>Figure III.27</b> : Vue de dessous du châssis.            | 66 |
| <b>Figure III.28</b> : Vue de droite et de coupe du châssis. | 67 |

## Liste des Tableaux

| Chapitre II : Analyse fonctionnelle et Technique                           |    |
|--|----|
| <b>Tableau II.1</b> : Tableau des question                                 | 22 |
| <b>Tableau II.2</b> : CdCF réduit de notre solution.                       | 25 |
| <b>Tableau II.3</b> : Tableau des éléments constituant du premier modelé   | 32 |
| <b>Tableau II.4</b> : tableau des éléments constituant du Deuxième modelé  | 33 |
| <b>Tableau II.5</b> : tableau des éléments constituant du Troisième modelé | 34 |
| <b>Tableau II.6</b> : tableau des éléments constituant du Quatrième modelé | 35 |
| <b>Tableau II.7</b> : tableau de synthèse                                  | 35 |
| Chapitre III : Conception De la Chaise monte escalier                      |    |
| <b>Tableau III.1</b> : Les différentes liaison de notre solution.          | 39 |

## Résumé

Avec la montée de l'urbanisation de notre société, le déplacement devient de plus en plus difficile notamment les escaliers. C'est dans ce contexte que s'inscrit notre projet. En effet, ce modeste projet consistait à développer une solution technique permettant aux personnes à mobilité réduite, travaillant ou étudiants à notre centre universitaire, d'accéder aux étages supérieurs sans difficultés. Après une recherche bibliographique sur les solutions existantes, nous avons remarqué que les prix de ces dernières sont trop chers. Notre recherche s'est tournée vers un développement local d'une solution technique. Le développement de la solution est passé par plusieurs étapes, détaillées dans le manuscrit, comme l'analyse fonctionnelle et technique, l'approche FAST, l'approche SADT et la conception assistée par ordinateur CAO.

## ملخص

في ظل تطور المجتمع أصبح من الصعب التنقل خاصتنا الدرج وفي هذا السياق كان مشروعنا في الواقع يستند أساسا على تطوير حل تقني يسمح للأشخاص ذوي الاحتياجات الخاصة للعمل أو الدراسة في مركزنا الجامعي التنقل للطوابق العليا دون مشقة وبعد البحث الببليوغرافي حول الحلول الموجودة حاليا لاحظنا أن الأسعار الموجودة في السوق العالمية مكلفة للغاية ومن هذا المنطلق تحول بحثنا إلى التطوير المحلي للحل التقني  
مر تطوير هذا المشروع بعدة مراحل مفصلة نذكر من بينها التحليل الوظيفي والتقني التصميم باستعمال الكمبيوتر المنهجين FAST SADT

# Introduction générale

Avec la montée de l'urbanisation de notre société le déplacement devient de plus en plus difficile notamment les escaliers qui deviennent un obstacle entravant la possibilité de pouvoir vivre chez soi dans son propre environnement, Les concepteurs en mécanique ont développé des systèmes ou bien des machines pour faciliter la vie et la rendre simple pour les personnes obèses ou à mobilité réduite.

Deux solutions s'offrent à cette catégorie de la communauté :

- Installation d'un ascenseur
- Installation d'une chaise monte escalier.

La présente étude s'intéresse à la conception d'une chaise monte escalier adaptable à notre centre universitaire. En effet, les chaises monte escaliers disponibles actuellement sur le marché sont onéreuses et dépassent la capacité de paiement de notre établissement. Notre défi consiste donc à utiliser des éléments standards fiables et peu chers pour concevoir une chaise monte escalier.

Nous avons utilisé nos connaissances cumulées durant notre cursus de formation pour la création de la solution. Ainsi, les connaissances en RDM et CAO et en Conception des Systèmes mécaniques ont été exploitées.

Notre solution consiste à développer une chaise monte escalier glissant sur une crémaillère fixée sur le mur. Pour présenter, de la manière la plus simple, la solution, nous avons partagé notre étude en trois parties :

- Un premier chapitre dédié à des recherches bibliographiques sur les solutions existantes en termes de monte escaliers domestiques.
- Un deuxième chapitre, est consacré à l'analyse fonctionnelle de besoin et choix des solutions technologiques à adopter dans la phase de conception de la solution finale. La méthode APTE a été employée pour cette partie de l'étude.
- Enfin un troisième chapitre consacré à la conception CAO de notre solution ainsi que des calculs de dimensionnement des éléments standards.

Notre étude comporte à la fin une conclusion générale et des perspectives pour ceux qui souhaitent développer davantage la solution.

## Problématique

Dans la vie quotidienne l'homme doit s'affranchir de plusieurs types d'obstacles. L'homme (la personne) à mobilité réduite voit ses obstacles augmenter. Se mouvoir, pour lui, relève du défi. Des solutions existent pour lui faciliter le déplacement sur un terrain plat, mais monter des escaliers, c'est une toute autre histoire ! En projection de la problématique sur notre centre universitaire, nous cherchons à trouver des moyens visant à faciliter le déplacement des intervenants dans notre centre (étudiants, enseignants et administratifs) souffrant d'une incapacité physique permanente (handicap) ou passagère (grossesse, obésité).

- Quel est donc le moyen ou le système le plus adéquat pour une utilisation au niveau des quatre sites de notre centre universitaire ?
- Comment concevoir les solutions ?



## Présentation du projet

Le centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain Témouchent possède actuellement deux sites (1 et 2) comportant quatre zones (A, B, C, D) sur plusieurs étages.

Nous avons remarqué que les personnes à mobilité réduite sont confrontées à des difficultés pour se déplacer d'un étage à un autre.

Notre projet consiste donc à proposer une solutions technique fiable visant à assister ces personnes dans la mobilité verticale au sein de notre centre universitaire.





Il existe actuellement sur le marché internationale plusieurs solutions pour monter les escaliers. Ces dernières sont trop chères en installation et en maintenance. Selon les fournisseurs l'ordre de prix d'une pose de monte escalier, installation comprise, peut varier entre 395885,96 DZD et 1583543,84DZD. Nous visons donc à proposer une solution technique avec un meilleur rapport qualité/prix.

Notre projet repose sur le dimensionnement et la conception d'une chaise monte-escalier sur mesure pour notre centre universitaire.



## I. CHAPITRE I : Recherche bibliographique sur les chaises monte-escalier

### I.1 L'histoire du nom :

Depuis leur invention, les fauteuils montes escaliers ont été appelés de beaucoup de noms différents. Ils ont été nommés télésièges d'escaliers, ascenseurs d'escalier, monte d'handicapée, et presque toutes les autres dérivées que vous pouvez imaginer. [1]

#### I.1.1 Création Du premier Fauteuil monte escalier :

L'histoire a connu son départ en Angleterre au milieu des années 1500 c'est le roi Henri VIII qui a enregistré le premier fauteuil monte escalier, après avoir été blessé dans un incident de lance, il a commandé une "chairthron" pour monter et descendre les 20 pieds de marches de son palais de Whitehall, le travail a été opéré par une équipe de fonctionnaires en utilisant un palan système d'un des navires de guerre du roi. [1]

En 1920 C. C. Crispen, un entrepreneur en Pennsylvanie au États-Unis a inventé le 1er monte escalier moderne destiné à son ami qui a été immobilisé à cause de la poliomyélite, et donc incapable de se déplacer entre les 2 étages de sa maison. L'ingénieur a pu construire le prototype du siège, Il avait une chaise de base reliée à un rail qui couvre la longueur de l'escalier, qu'il a appelé 'inclinator' [1].

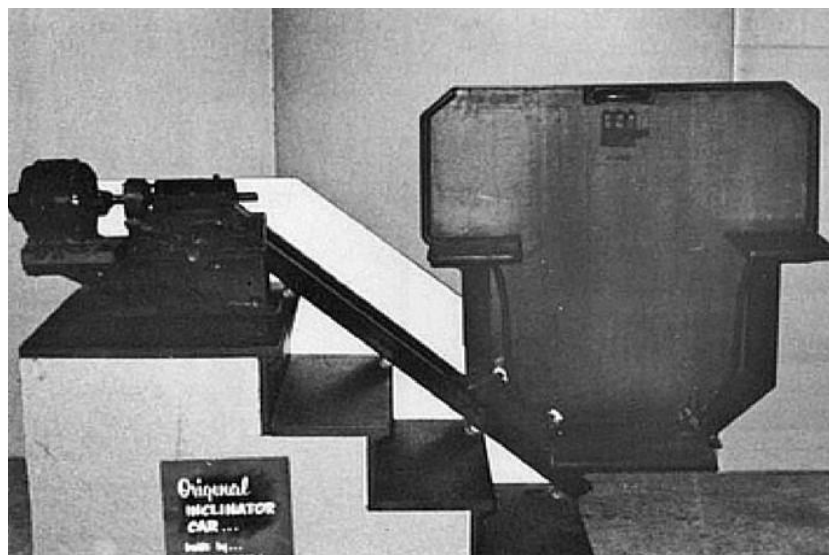


Figure I. 1 : la première chaise monte escalier moderne [1]

Après cette époque, et grâce à la diffusion de la poliomyélite et d'autres maladies, la production des montes escaliers électriques a connu une vraie augmentation où plusieurs entreprises ont attaqué le marché comme le cas de la société américaine Inclinator. [1]

En 1992, une entreprise en Angleterre nommé Acorn a pris la décision d'acheter des montes escaliers d'occasion, les rénover et les vendre à un prix inférieur, chose qui a été acceptée par la majorité des utilisateurs, ensuite Acorn a pu produire ses propres fauteuils monte personne moins cher. [1]

Maintenant, les montes escaliers sont adaptés pour une utilisation chez les personnes âgées et les personnes handicapées qui sont généralement incapables de se déplacer à travers les escaliers en toute sécurité. [1]

### **I.2 Généralité sur la chaise monte-escalier :**

#### **I.2.1 Définition :**

Un Monte escalier électrique ou seulement "monte escalier" est un dispositif ou système désigné pour aider les personnes âgées et les personnes handicapées (à mobilité réduite) à surmonter le défit des escaliers, c'est-à-dire se déplacer et accéder confortablement aux différents étages de la maison. [1]

D'une autre manière c'est un appareil qui se compose d'un siège monte escalier qui circule le long d'un rail, qui est installé aux escaliers et qui n'a besoin d'aucun changement concernant la structure locale de la maison. [1]

Le choix d'un fauteuil monte escalier dépend de plusieurs facteurs, à titre d'exemple le type d'escalier parce que presque chaque forme d'escalier est conçue différemment, chose qui génère une diversité en terme de type des montes escaliers. [1]



**Figure I. 2 :** Chaise monte escalier stannah[2]

### **I.2.2 Fonctionnement d'un monte-escalier :**

Un monte escalier est constitué de trois ensembles principaux : un bloc moteur électrique, un ou plusieurs rails, un fauteuil. Les rails sont fixés directement sur les marches grâce à un système de fixation (la structure de la cage d'escalier n'est donc pas modifiée), le moteur est alimenté par des batteries elles-mêmes alimentées par le secteur. Le succès du monte escalier est ainsi dû à la simplicité de son principe, donc de son utilisation : l'utilisateur s'installe sur le fauteuil en haut ou en bas des marches, actionne une commande, et rejoint ainsi l'autre extrémité de l'escalier. [2]

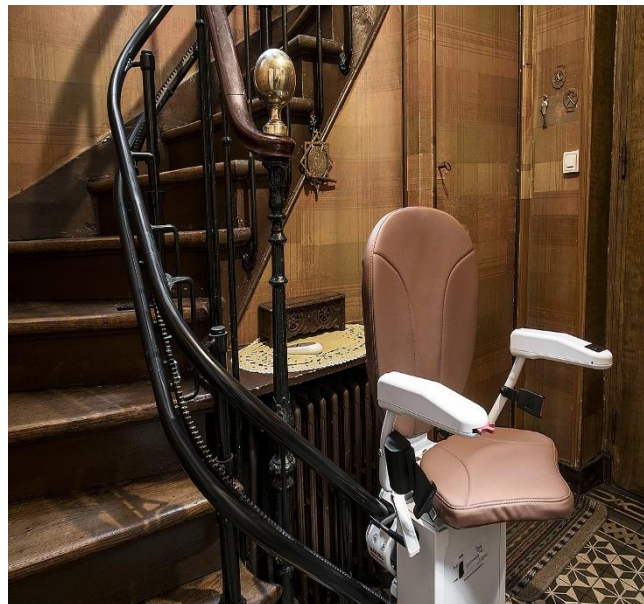
Il existe deux grandes familles de monte escaliers qui sont :

- Les monte escaliers droits
- Les monte escaliers tournants.

Les figures 3 et 4 montrent respectivement un exemple type d'une monte escalier électrique droit glissant sur rail et un monte escalier tournant.



**Figure I. 3 :** Chaise monte escalier Droit de marque stannah[3]



**Figure I. 4 :** Chaise monte escalier tournant de marque stannah[4]

### **I.2.3 Les montesescalier droits**

Un monte escalier droit ne s'installe normalement que dans un escalier droit, c'est-à-dire qui ne va que dans une seule direction. Cependant, dans certains cas, il peut être installé dans un escalier tournant, par exemple lorsque seules deux ou trois marches sont tournantes. Cela reste dangereux, car il faut descendre du monte escalier directement sur l'escalier, ce qui n'est pas très pratique. Certaines personnes font ce choix pour des raisons financières, mais les entreprises n'acceptent ce choix qu'en échange d'une décharge, pour ne pas être tenues responsables de tout accident pouvant survenir à cause de cette arrivée sur l'escalier. Le fonctionnement d'un monte escalier droit est très simple. Il monte et descend grâce à la commande située sur un des accoudoirs du fauteuil, ou grâce aux télécommandes fournies avec. Le fauteuil du monte escalier droit peut soit pivoter manuellement (à l'aide d'un levier sur le côté du fauteuil), soit électriquement grâce à une commande située sur un des accoudoirs du fauteuil. Il faut bien noter que le marchepied ne pivote pas avec le reste du fauteuil.[3]

### **I.2.4 Les montesescaliertournants:**

Les rails des monte escalier tournants sont faits sur mesure, ils sont donc parfaitement adaptés à l'escalier, avec une ou plusieurs courbes qui correspondent à des virages soit horizontaux, soit verticaux. Ils peuvent aussi être adaptés aux escaliers hélicoïdales. Leur fonctionnement est exactement le même que les monte escalier droit.[3]

### **I.2.5 Les différentes marques de monte-escalier :**

Il existe un certain nombre de marques de monte escalier. Celles-ci ont toutes une qualité relativement équivalente mais certaines caractéristiques techniques diffèrent. C'est donc en fonction du type d'escalier qui doit être équipé qu'une marque sera mieux adaptée qu'une autre. De plus, dans ce domaine, la marque n'est pas essentielle au bon fonctionnement du monte escalier : le soin pratiqué à la pose et le service après-vente font toute la différence...[3].

Voici pour exemple quelques marques prédominantes dans le domaine du monte escalier

- Monte escalier HAWLE
- Monte escalier HIRO
- Monte escalier BISON
- Monte escalier FREELIFT
- Monte escalier OTOLIFT
- Monte escalier THYSSEN
- Monte escalier ACCORN
- Monte escalier STANNAH
- Monte escalier VIMEC
- Monte escalier HOGG
- Monte escalier MINIVAITOR

### **I.2.6 Maintenance d'un monte-escalier :**

La maintenance d'un monte escalier est à bien distinguée du service après-vente. En effet, le service après-vente correspond à la garantie du monte escalier, c'est-à-dire la réparation à la moindre panne que l'utilisateur rencontre, pendant une durée définie à l'achat, qui peut être rallongée, moyennant un coût supplémentaire. La maintenance, elle, est une sorte de « prévention ». Beaucoup d'entreprises vous proposent à l'achat un contrat d'entretien, payant lui aussi. Ce contrat consiste à ce qu'un technicien vienne à domicile, environ une fois par an, afin d'entretenir le monte escalier (comme par exemple graisser le rail, que vous pouvez effectuer vous-même avec une graisse silicone, tous les ans) et de vérifier l'état de votre monte escalier.[3]

Cette option, bien entendu payante, n'est pas forcément nécessaire au bon entretien du monte escalier. En effet, celui-ci n'a pas besoin d'une surveillance annuelle, mais plutôt d'une révision tous les quatre ou cinq ans, car les matériaux utilisés sont des matériaux solides qui ne se dégradent que lentement.

### **I.2.7 Les normes des monte-escaliers :**

Les monte escalier ont, comme beaucoup de produits, des normes bien précises, surtout au niveau de la sécurité. Il doit notamment comporter les éléments suivants :

- **Capteurs de sécurité** pour arrêter le monte escalier sur le champ, dans le cas où un objet extérieur bloquerait sa course (partie du corps de l'utilisateur, animaux, objets divers...).
- **Arrêts d'urgence (sur le rail)** : au cas où le monte escalier dépasse une fin de course (en cas de mauvais fonctionnement par exemple).
- **Ceinture de sécurité.**

### **I.2.8 Information sur les limites de poids utilisateur sur les montes-escaliers :**

Les monte escalier ont à peu près tous la même charge utile (poids maximal de la charge sur la monte escalier). Cette charge utile varie assez peu, elle se situe en général entre 110 et 130 kg. Quelques fournisseurs proposent une option (payante) permettant d'élever la charge utile jusqu'à 170kg, et également d'augmenter la largeur du fauteuil.[3]

### **I.2.9 La vitesse des monte-escaliers :**

La vitesse des monte escalier est soumise à une normalisation. Elle ne peut donc normalement pas excéder les 15 cm par seconde. Cette vitesse ralentit bien sûr dans les courbes, afin d'éviter la déstabilisation du passager.[3]

### I.2.10 Lexiques liés au Monte escalier :

Premièrement, le fauteuil monte escalier a plusieurs noms, voici la liste complète :

- Monte escalier.
- Monte personne.
- Ascenseur d'escalier.
- Chaise d'escalier.
- Fauteuil d'escalier.
- Monte handicapé.
- Ascenseur particulier pour escalier.
- Monte escalier mécanique

Et voici donc quelques mots techniques liés au milieu des montes escaliers

- **Parking** : c'est la place où le monte escalier finit et commence son chemin, il peut se trouver en haut et en bas ou à l'un des deux seulement. La majorité des parking effectue un arrêt au niveau de la première marche de l'escalier, et non pas au sol, pour éviter le contact du repose pied avec la terre. [1]

- **Course** : le fait de se déplacer du haut en bas ou le contraire (d'un parking à l'autre) définit ce qu'on l'appelle une course, le parking de début s'appelle le départ de la course et le parking d'arrivée se nomme la fin de la course. [1]

**Station (point) de charge** : comme certains montes escaliers sont alimentés par batterie, ils ont besoin de places convenables pour se recharger qu'on les nomme les points de charges qu'on trouve souvent attachés au rail. [1]

### I.2.11 Les différentes formes de rail de monte-escalier :

Il existe différentes formes de rail pour monte escalier, à savoir : le rail rond simple, le double rail rond, le rail plat rectangulaire (monte escalier tournant) et le rail plat carré (pour la majorité des monte escalier droit). Ce qu'il faut savoir, c'est qu'ils ont tous une stabilité équivalente contrairement à ce que certains vendeurs essayent de faire croire (ils décrédibilisent la concurrence qui propose des modèles de rails simples en privilégiant les modèles doubles rails, souvent plus chers). Les seuls rails présentant une réelle différence sont les rails ronds



simples : en effet, le maintien est assuré par des galets qui ont tendance à s'user plus rapidement. C'est donc le seul qui serait à déconseiller. Quant aux modèles doubles rails, ils sont difficilement compatibles avec les rails relevables ou escamotables.[3]

### **I.3 Monte escalier avantages et inconvénients :**

#### **I.3.1 Les avantages**

Un monte escalier permet de grimper en toute sécurité et sans effort n'importe quel escalier, et ce, dans la plupart des cas, sans même modifier la structure de l'escalier. Les modèles de monte escaliers sont nombreux, et s'adaptent à la plupart des escaliers à la perfection. Le monte escalier permet ainsi de faciliter la vie d'une personne à mobilité réduite sans pour autant détruire l'architecture d'une maison.[4]

#### **I.3.2 Les inconvénients**

L'inconvénient principal d'un Monte escalier est avant tout son encombrement. De plus, les délais de réception d'un monte escalier sont assez longs. Il faut compter environ un mois pour les montes-escalier droits, et un délai de deux mois pour les tournants.[3]

L'inconvénient de la chaise monte escalier est qu'il ne convient pas forcément à tout le monde. Il arrive par ailleurs qu'il ne puisse pas être adapté à un escalier trop exigü. [4]

Le grand inconvénient de chaise montante reste son prix. En effet, une chaise montante peut coûter entre 435000 DZD 1,7 million DZD (170 millions de centimes), voire plus, et représente donc forcément un investissement important. D'autant plus que ce coût ne comprend pas les frais d'entretiens annuels, qui peuvent s'élever jusqu'à plusieurs centaines d'euros, ni le coût de l'électricité. [4]

## II. CHAPITRE II : Analyse fonctionnelle et Technique

### II.1 Introduction

Après avoir présenté la problématique et l'objectif de notre projet dans le premier chapitre, nous allons développer notre solution visant à concevoir une chaise monte escaliers adaptés à notre centre universitaire. Cette partie sera donc consacrée à la conception mécanique de notre solution.

### II.2 La Conception mécanique

#### II.2.1 Définition

La conception mécanique représente l'incarnation de la connaissance des fonctions et des interactions des composants impliqués dans un mécanisme <sup>[5]</sup>.

Les voies de la connaissance en conception sont au nombre de deux. La première voie est celle de l'analyse. Elle permet de comprendre, d'explicitier, d'expliquer et de quantifier un phénomène donné. L'autre voie est celle de la synthèse. Elle est du domaine de la création de la connaissance. Chez beaucoup de philosophes et scientifiques, cette voie était et reste comme un acte hautement inexplicable et, c'est plus la voie de l'analyse qui était développée. Une machine simple ou complexe n'était pas contenu dans l'ensemble des principes, axiomes et théorèmes démontrés dans les sciences précédemment reconnues, ni ses spécifications non plus. Elle n'a jamais fait l'objet de travaux écrits. [5]

La conception mécanique est un art et science. Elle comporte donc deux volets :

- Volet artistique
- Volet technique.

Certaines phases délicates de la conception relèvent de la compétence de personnes à la fois expérimentées et dotées d'un esprit d'analyse et de synthèse développé alors que d'autres phases requièrent des compétences techniques destinées à finaliser concrètement la conception. La CAO, qui attire souvent les jeunes vers cette activité professionnelle <sup>[6]</sup>.

Activité se déroulant au sein d'un bureau d'études, la conception d'un produit a pour but de réaliser un dossier de définition qui définit complètement et sans ambiguïté le produit à partir de l'expression d'un besoin exprimé par un client (la demande client). On se rend compte immédiatement que le domaine est vaste puisqu'il dépend de l'activité dans laquelle on travaille (mécanique, hydraulique, électronique...), du domaine d'application (agro-alimentaire, aéronautique, navale...) et du projet proprement dit machine spéciale, banc d'essais, outillage,

... On ne s'intéresse ici qu'à la conception des systèmes mécaniques mais nombre de principes abordés sont applicables à d'autres domaines.[6]

Une telle activité nécessite à la fois des connaissances techniques et des qualités personnelles inhérentes à tout travail de création. Donc une activité a deux dimensions qu'il faut être capable de gérer afin de concevoir le produit optimum dans le délai imparti de l'étude. [6]

Bien qu'il soit courant d'entendre, notamment de la part de certains professionnels, que l'expérience est essentiellement et avant tout à la base de sa pratique, la conception d'un produit, surtout s'il veut être innovant, s'appuie sur d'autres concepts et façons de faire qui donne, au projeteur, l'état d'esprit indispensable pour mener bien cette tâche. Concevoir un produit, c'est faire évoluer une demande client plus ou moins bien formulée vers un dossier de définition en suivant une structure bien définie, Cette structure guide efficacement le projeteur en lui laissant la plus grande liberté possible compatible avec l'avancement de son projet. C'est là qu'on retrouve le lien entre créativité et expérience technique : doit-on à chaque fois partir sur une conception nouvelle au risque de réinventer le fil à couper le beurre ou des solutions qui ont plus ou moins bien fonctionné pour des projets antérieurs et ne pas développer un projet optimum ? C'est tout enjeu de la conception.[6]

### **II.2.2 Le bureau d'études dans l'entreprise**

C'est le lieu où l'on conçoit, et s'il existe un service méconnu ou incompris dans une entreprise, c'est bien le bureau d'études. Autant le dire clairement, on ne peut pas parler de bureau d'études si on n'y a pas soi-même travaillé. Derrière l'image de personnes assises toute la journée devant un ordinateur à manipuler une souris se cache des activités à fortes contraintes et fortes responsabilités dans des délais de plus en plus courts. En effet, certains responsables d'entreprise ont décrété que le bureau d'études n'est pas un service productif, qu'il faut donc réduire au maximum les délais d'études ; l'idéal étant de supprimer les bureaux d'études ! C'est pourtant là que tout se décide en termes de performance, délai et, bien sûr, de coût du produit livré chez le client. [6]

Un bureau d'études peut être une entité à lui seul ou bien l'un des services d'une entreprise. Sa taille peut varier d'une à une centaine de personnes. Les bureaux d'études ont des façons de fonctionner différentes voire divergentes à cause des habitudes, de l'historique, de la structure ou bien du type de produit conçu par l'entreprise. Intégrer un bureau d'études nécessite donc des connaissances techniques et une grande qualité d'adaptation. Il n'en reste pas moins qu'ils ont tous le même but : la conception d'un produit. Il faut définir le dénominateur commun

à toutes ces structures de façon à proposer une méthodologie de travail qui puisse Être applicable à tous. [6]

En se limitant aux intervenants directs sur la conception d'un produit, il y a lieu de définir trois personnages qui ont un rôle bien précis à jouer dans tous les cas. Ils existent ou pas physiquement ; peu importe. Le travail de chacun doit être réalisé et parfois il l'est par une seule personne.[6]

### – **L'ingénieur d'études**

C'est lui le responsable de l'étude. Il rend compte à la hiérarchie et présente l'étude au client. Il s'assure que tout le côté contractuel est bien respect. Il a, évidemment, plusieurs études en cours, a des états d'avancement différents, avec plusieurs projeteurs et passe une grande partie de son temps en réunion ou en déplacement.[6]

### – **Le dessinateur d'études**

C'est lui qui finalise le dossier de définition à partir de l'avant-projet en suivant les directives du projeteur. La réalisation des dessins d'ensemble, de définition et des différentes notices font partie de ses activités.[6]

### – **Le projeteur**

C'est à lui que cet ouvrage est dédié. Il assiste l'ingénieur pour tout ce qui est technique. A ce titre, il est responsable de la conception du produit, rend compte à l'ingénieur et encadre techniquement le dessinateur. Selon le cas, il peut être en contact direct avec le client, avec les fournisseurs et les autres services de le problème rencontre avec de proposition de solution. Il mène les revues de conception et en fait la synthèse sous forme de compte rendu. [6]

Comme on le voit le rôle d'un projeteur est loin d'être celui d'un operateur en CAO. Il est la clé du bureau d'étude et, par cela même de projet. Il est indispensable que l'ingénieur d'étude ait tout confiance en lui puisse s'appuyer sur lui. [6]

### **II.2.3 Les étapes de la conception**

Dans les bureaux d'études, la conception d'un produit passe généralement par trois phases. Nous allons les détailler dans les paragraphes qui suivent.

#### **II.2.3.1 L'analyse du besoin client**

A partir d'une demande client incomplète et mal définie, il est nécessaire d'initialiser un Cahier des Charges Fonctionnel (CdCF) qui définit le produit en termes de besoin (c'est fait pour) et en aucun cas en termes de moyen (c'est fait de). Ce document est complété par le client qui fournit ainsi toutes les précisions manquantes pour mener à bien la conception. Il valide la bonne compréhension du besoin par le concepteur. Pour être contractuel, le CdCF doit être signé par le client.[6]

Un CdCF est relativement facile à rédiger et ne doit pas prendre plus d'une demi- journée de travail au projeteur. Le plus délicat est la perception qu'en fait le client selon s'il est habitué ou non à ce type de pratique. Quoi qu'il en soit, ce document est indispensable pour une bonne compréhension du besoin et doit être établi avant tout démarrage de recherche de solutions. Il faut que le projeteur se force à ne pas réfléchir à la façon dont il va concevoir le produit mais à se concentrer sur ce quel doit faire le produit. En cas de refus de la part du client de valider officiellement ce document, c'est la hiérarchie qui statue sur le sujet.[6]

Un planning d'étude compatible avec le temps alloué et comportant une marge pour aléas est alors créé. Il est primordial de renseigner le réalisé du planning quotidiennement en fin de journée et d'analyser régulièrement les écarts éventuels avec le prévisionnel.[6]

#### **II.2.3.2 L'étude de faisabilité**

La recherche de solutions peut alors commencer en prenant soin de ne pas aller trop vite pour éviter de passer à côté de solutions intéressantes, ni de se « Précipiter vers des conceptions déjà réalisées qui pourrait s'adapter au besoin. Il faut auparavant faire une recherche de solutions théoriques en s'affranchissant consciemment de toutes solutions « évidentes », existantes ou qui nous passeraient par la tête. C'est seulement après cette phase de réflexion qu'on doit avoir une approche plus classique basée sur l'analyse de l'existant. Le tout, évidemment, en conformité avec le planning. [6]

A partir du moment où le besoin client est bien compris, le concepteur doit mettre en place une méthodologie lui permettant de développer, en un temps compatible avec le délai du

projet, un ensemble de solutions. Le nombre et l'homogénéité de développement de ces solutions doivent permettre de s'assurer d'une certaine exhaustivité dans cette recherche. Autrement dit, à l'issue de ce travail, on est à peu près sûr d'avoir envisagé tous les cas possibles et donc de proposer une solution optimale. Ne pas permettre au projeteur de réaliser ce travail en toute sérénité est contre-productif et se paie très cher par la suite. Une modification à ce stade de l'étude est transparente en termes de cout et de délai par rapport à une modification qui a lieu quand on est en phase de fabrication. [6]

La synthèse de cette étude de faisabilité doit être rédigée et argumentée au moment même où l'étude se fait. Si le concepteur n'est pas capable d'écrire ce qu'il fait **sur le moment**, en un temps raisonnable, c'est qu'il **ne maîtrise pas** sa conception. Ainsi, en plus d'assurer la traçabilité de ce qui a été fait, sa capacité à rédiger permet de vérifier qu'il maîtrise bien son sujet. [6]

### II.2.3.3 L'avant-projet

A partir de l'étude de faisabilité, il y a lieu de choisir la solution définitive, si plusieurs sont possibles, et de la concrétiser Sous forme de dessin d'avant-projet avec tous les documents justificatifs incluant les éventuels tests ou essais de validations. C'est au cours de cette phase que vont être créés tous les documents définissant et justifiant l'avant-projet et qui vont servir de base pour l'étude détaillée. Ici s'arrête normalement le travail du concepteur en tant que tel. Il doit néanmoins piloter le reste de l'étude, que ce soit à l'intérieur de l'entreprise en encadrant techniquement un dessinateur d'études ou bien en pilotant une sous-traitance externe. Dans tous les cas, il est amené à vérifier les travaux d'études réalisés ; ce qui implique un transfert de responsabilité.[6]

Le dossier d'avant-projet est la spécification technique du produit étudié à partir de la demande client. A ce stade, le produit n'est pas défini intégralement mais sa définition est suffisamment précise pour s'assurer que les études, à réaliser ensuite[6]. Pour ce faire, il faut un dessin de l'avant-projet. C'est un dessin qui définit le produit en termes de solutions technologiques, à un niveau détaillé compatible avec la complexité de la fonction à réaliser. C'est ce qui caractérise l'homogénéité de l'étude. Chaque fonction est étudiée à un niveau de détail permettant de s'assurer qu'aucun problème particulier ne devrait intervenir dans la suite de l'étude. On peut donc très bien avoir une partie du concept de la machine étudiée totalement définie et une autre sous forme d'idée générale.

### II.3 L'analyse fonctionnelle (AF)

#### II.3.1 Définitions

L'analyse fonctionnelle est une technique d'aide à la décision utilisée par les concepteurs de produits mécanique pour établir le CdCF.

Elle s'utilise pour :

- Concevoir des produits nouveaux,
- Reconcevoir des produits.

#### II.3.2 Les méthodes d'analyse fonctionnelle Quelques dates et quelques méthodes

- Les premières méthodes assimilables à de l'AF ont été mises en pratique aux Etats Unis peu après la Seconde Guerre mondiale, en 1947 (chez General Electric).
- La méthode APTE APplication aux Techniques d'Entreprise) est développée dans les années 60.
- L'outil SADT (structuredAnalysis Design Technic) est développé en 1977 et se généralise dans les années 1980.

Il existe bien d'autres méthodes comme RELIASEP, SART,FAST, GRAFCET, MERISE, OMT, UML ...

Néanmoins, la méthode la mieux adaptée pour concevoir des systèmes mécaniques demeure la méthode APTE. C'est d'ailleurs, **la méthode utilisée pour le présent projet.**

#### II.3.3 La méthode APTE

Méthode permettant de recenser les fonctions de service (ou de base) d'un produit en partant :

- De son environnement,
- De son cycle de vie.

Cette méthode se base sur trois étapes :

1. L'analyse du besoin (diagramme bête à cornes)
2. L'analyse des interactions (diagramme pieuvre)
3. Le cahier des charges fonctionnel (CdCF)

### II.4 Analyse fonctionnelle d'une chaise monte-escalier :

#### II.4.1 Analyse du besoin d'une chaise monte escalier :

##### Diagramme bête à Cornes :

Avant de se lancer dans la conception, il convient de bien identifier et formaliser les objectifs du projet. Cette phase est essentielle, car elle fixe la direction du travail qui va être entrepris. Pour faciliter cette tâche, il existe un outil pratique afin d'explicitier les besoins plus aisément : "*La bête à cornes*". Ce diagramme simple d'utilisation sert de guide pour mener une analyse fonctionnelle du besoin. [7]

La **bête à corne** est un outil d'**analyse fonctionnelle du besoin**. En matière d'innovation, il est tout d'abord nécessaire de formuler le besoin sous forme de fonctions simples (dans le sens de « fonctions de bases ») que devra remplir le produit ou le service innovant. [7]

##### A quoi sert la bête à cornes ?

Dès le lancement d'un projet d'innovation, il est nécessaire d'explicitier simplement le besoin primaire, c'est-à-dire l'exigence principale. Son but doit être de satisfaire un besoin exprimé ou non par l'utilisateur.[8]

L'usage d'un nouveau produit ou service doit générer des fonctions de services que la bête à cornes permet d'identifier et de caractériser.[8]

Les fonctions sont exprimées sous formes de verbes à l'infinitif.[8]

##### Comment utiliser la bête à cornes ?

Pour établir la bête à cornes d'un produit, il est nécessaire de se poser les questions suivantes :

- « **A qui mon produit rend-il service ?** » : C'est la cible-utilisateur du futur produit.
- « **Sur quoi agit mon produit ?** » : C'est la matière d'œuvre que va transformer mon produit ou sur laquelle mon produit va agir.
- « **Quel est le but de mon produit ?** » : C'est la fonction principale de mon produit, son intérêt. A quoi sert l'innovation? [8]



Les réponses de ces trois questions permettent de saisir le besoin. Ce dernier doit être rédigé de la manière suivante :

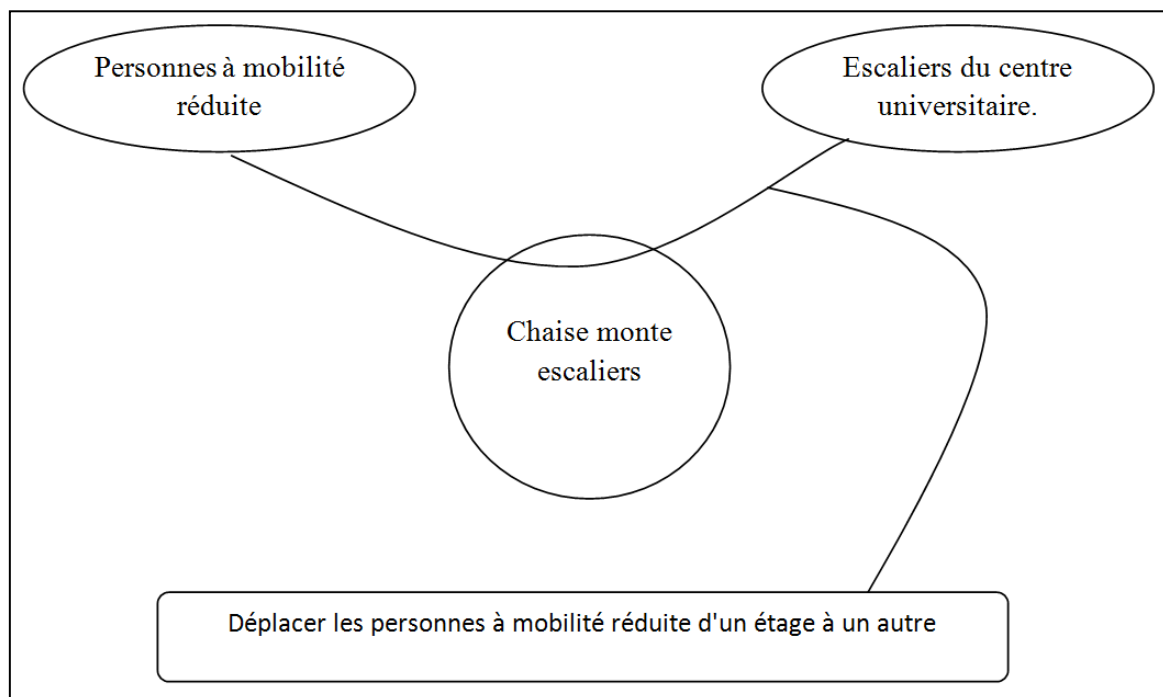
"Le produit rend service au client en agissant sur la matière d'œuvre pour satisfaire le besoin".

### II.4.2 Bête à cornes pour notre projet

Le tableau des questions :

**Tableau. II.1** : tableau des questions

| Question        | Reponses   |
|-----------------|--|
| A Qui?          | Personne à mobilité réduite.   |
| Sur Quoi?       | Escaliers du centre universitaire.   |
| Dans Quel but ? | Pour faciliter le déplacement des personnes à mobilité réduite d'un étage a un autre |



**Figure II.1** : Diagramme "Bête à cornes " lié à notre projet de conception.

### II.5 Analyse des interactions de notre système :

#### II.5.1 Diagramme de Pieuvre (graphe des interactions)

Le diagramme pieuvre est utilisé pour analyser les besoins et identifier les fonctions de service de produit.[9]

En analysant le produit, on peut en déduire le diagramme "pieuvre", graphique circulaire qui met en évidence les relations entre les différents éléments de l'environnement du produit. Ces différentes relations sont appelées les fonctions de services qui conduisent à la satisfaction du besoin.[9]

Parmi les fonctions retenues, il y a les fonctions principales, qui sont notées FP, qui représentent l'action d'un élément du milieu extérieur (EME) sur un autre EME, par l'intermédiaire du système. Ensuite, il y a les fonctions contraintes, qui sont notées FC, et qui représentent l'action d'un EME sur le système ou réciproquement.[9]

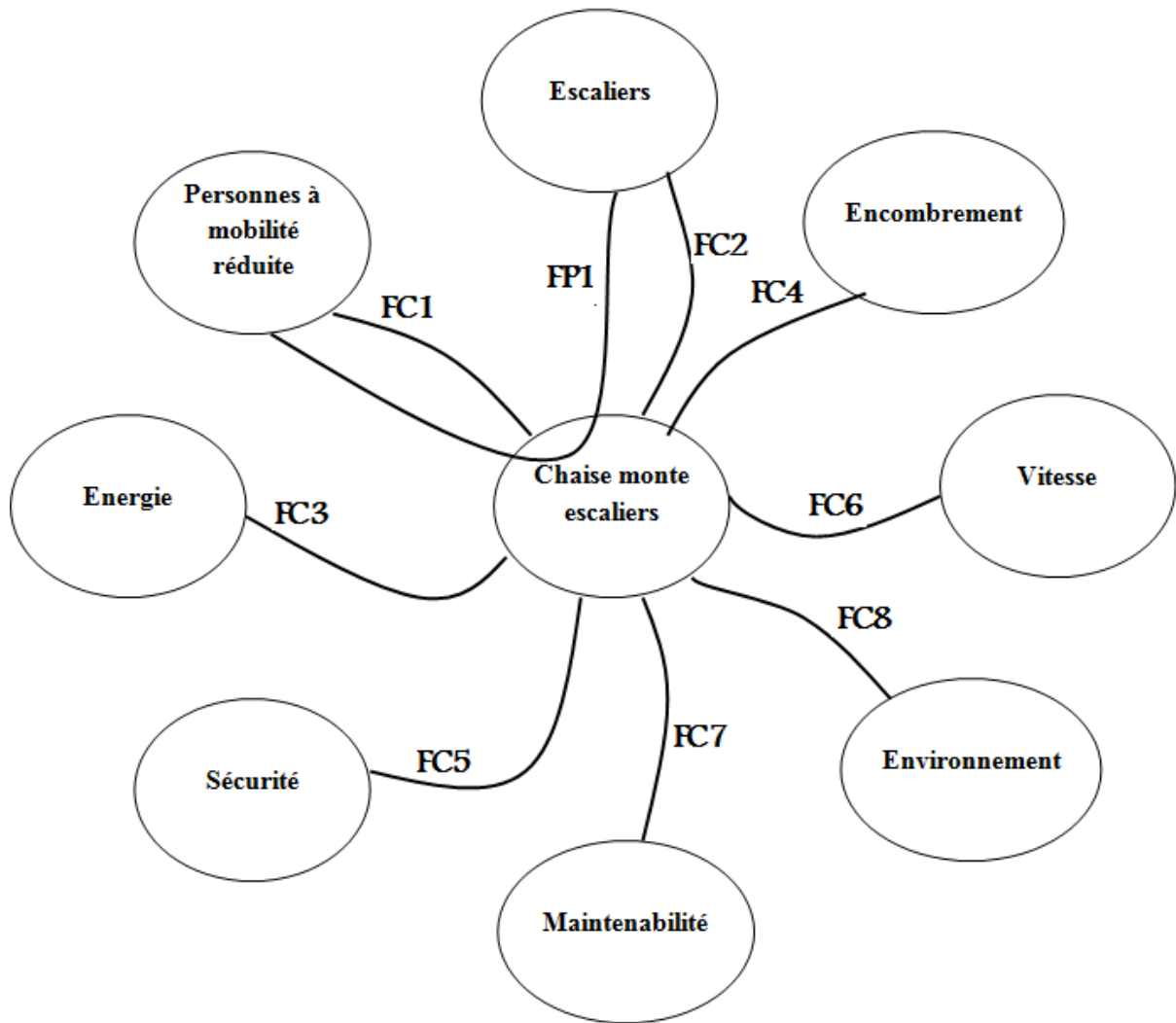
En autres termes, les fonctions principales justifient la création du produit et les fonctions contraintes regroupent toutes les autres fonctions complémentaires qui limitent la liberté du concepteur.

##### II.5.1.1 Expression des fonctions

L'expression des fonctions est normalisée par l'AFNOR : une fonction se compose d'un verbe ou d'un groupe verbal caractérisant l'action, et de compléments représentant les éléments du milieu extérieur concernés par la fonction. Le sujet de la phrase n'apparaît pas, mais il renvoie toujours au produit [10] : F. AUDRY et P. TAILLARD, "La démarche d'analyse fonctionnelle", guide du professeur, académie de Versailles, France.

Outre cette définition formelle, certaines règles d'usage sont à respecter :

- les formes passive et négative sont à éviter (forme passive admise pour les contraintes)
- la formulation de la fonction doit être indépendante des solutions susceptibles de la réaliser
- la formulation doit être la plus concise et la plus claire possible



**Figure II.2 :** Diagramme des interactions (pieuvre) de notre projet de conception.

Les fonctions, principale et de contraintes, de notre diagramme sont :

**FP1 :** déplacer une personne à mobilité réduite d'un étage à un autre.

**FC1 :** s'adapter à des personnes à mobilité réduite.

**FC2 :** s'adapter à la forme et aux dimensions des escaliers.

**FC3 :** utiliser l'énergie électrique alternative du réseau de l'université.

**FC4 :** éviter l'encombrement des escaliers durant l'usage.

**FC5 :** s'adapter aux normes de sécurité.

**FC6 :** fonctionner à une vitesse adéquate.

**FC7 :** faciliter la maintenance des installations.

**FC8 :** fonctionner dans un environnement à température variable.

### II.5.2 Le cahier des charges fonctionnel :

Le Cahier des Charges Fonctionnel (CdCF) est le document qui récapitule la démarche et les résultats de l'Analyse Fonctionnelle du Besoin. Il porte donc essentiellement sur les Fonctions de Service (fonctions principales et contraintes). Le CdCF fait office de contrat à respecter par les concepteurs. Il est rédigé sous forme d'un énorme tableau qui résume toutes les étapes de la démarche de la conception. [10]

Pour notre étude, nous nous limitons au tableau de classification des fonctions.

**Tableau II.2 :** CdCF réduit de notre solution.

| Fonction   | Critère   | Niveau   | Flexibilité |
|--|---|--|-------------|
| FP1 : Déplacer une personne à mobilité réduite d'un étage à un autre.      | Déplacement vertical  | 3 étages   | F0          |
| FC1 : s'adapter à des personnes à mobilité réduite.                        | Personnes à mobilité réduite en position assise                   | 120 Kg en poids  | F0          |
| FC2 : s'adapter à la forme et aux dimensions des escaliers.                | Escaliers avec paliers  | En forme de U  | F1          |
| FC3 : utiliser l'énergie électrique alternative du réseau de l'université. | Energie motrice électrique  | 220V/ 50 Hz  | F0          |
| FC4 : éviter l'encombrement des escaliers durant l'usage.                  | Volume réduit   | 50% de la largeur des escaliers/max  | F1          |
| FC5 : s'adapter aux normes de sécurité.                                    | Sécuriser l'utilisateur et les autres utilisateurs des escaliers. | - Ceinture de sécurité pour l'utilisateur.<br>- Signalisation sonore et lumineuse pour | F0          |

|  |   | les autres utilisateurs. |    |
|--|---|--------------------------|----|
| <b>FC6</b> : fonctionner à une vitesse adéquate.                       | Vitesse assurant le confort et la sécurité. | 0.15m/s                  | F1 |
| <b>FC7</b> : faciliter la maintenance des installations.               | Accès facile aux installations.             |                          | F2 |
| <b>FC8</b> : fonctionner dans un environnement à température variable. | Pas de sensibilité à la température         | Entre 6°C et 40 °C       | F2 |

**Avec :**

**F0** : Le niveau de la fonction est impératif

**F1** : Le niveau de la fonction est peu négociable

**F2** : le niveau de la fonction est négociable

### II.6 L'analyse fonctionnelle technique

#### II.6.1 Définition

L'analyse fonctionnelle technique est considérée comme une étape intermédiaire entre l'analyse du besoin, précédemment détaillée, et la conception du produit. En effet, cette phase du déroulement de l'étude de conception consiste à transformer les fonctions existantes entre le produit à concevoir et les éléments du milieu extérieur en solution technique. Pour notre cas, nous pouvons citer comme exemple, l'utilisation d'un moteur électrique, un engrenage, un assemblage par soudage...etc.

Il existe plusieurs méthodes permettant à assister l'ingénieur de conception dans le choix des éléments mécaniques. Nous citons à titre d'exemple ; le FAST et le SADT. Comme pour le cas de l'analyse fonctionnelle du besoin, nous allons définir ces deux techniques en les adaptant pour notre cas d'étude.

### II.6.2 Diagramme FAST ( Fonctionnal Analysis System Technique)

Le **FAST** est un outil qui permet de présenter les fonctions techniques et les solutions techniques retenues pour réaliser les différentes fonctions de service du produit. Une fonction technique représente une tâche ou une opération nécessaire pour accomplir quelque chose de plus important pour l'utilisateur. [9]

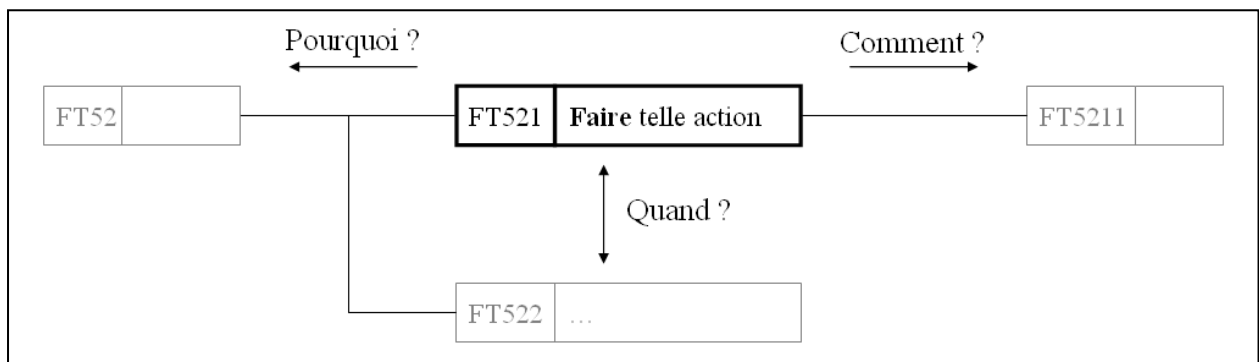
Représenté sous forme d'un arbre composé de blocs rectangulaires, le FAST doit donner des réponses techniques à des questions pertinentes liées à la conception.

Le schéma général du FAST est donnée par les figure II.3 et II.4. Sur ces schémas, on peut trouver les questions et les réponses correspondantes suivantes :

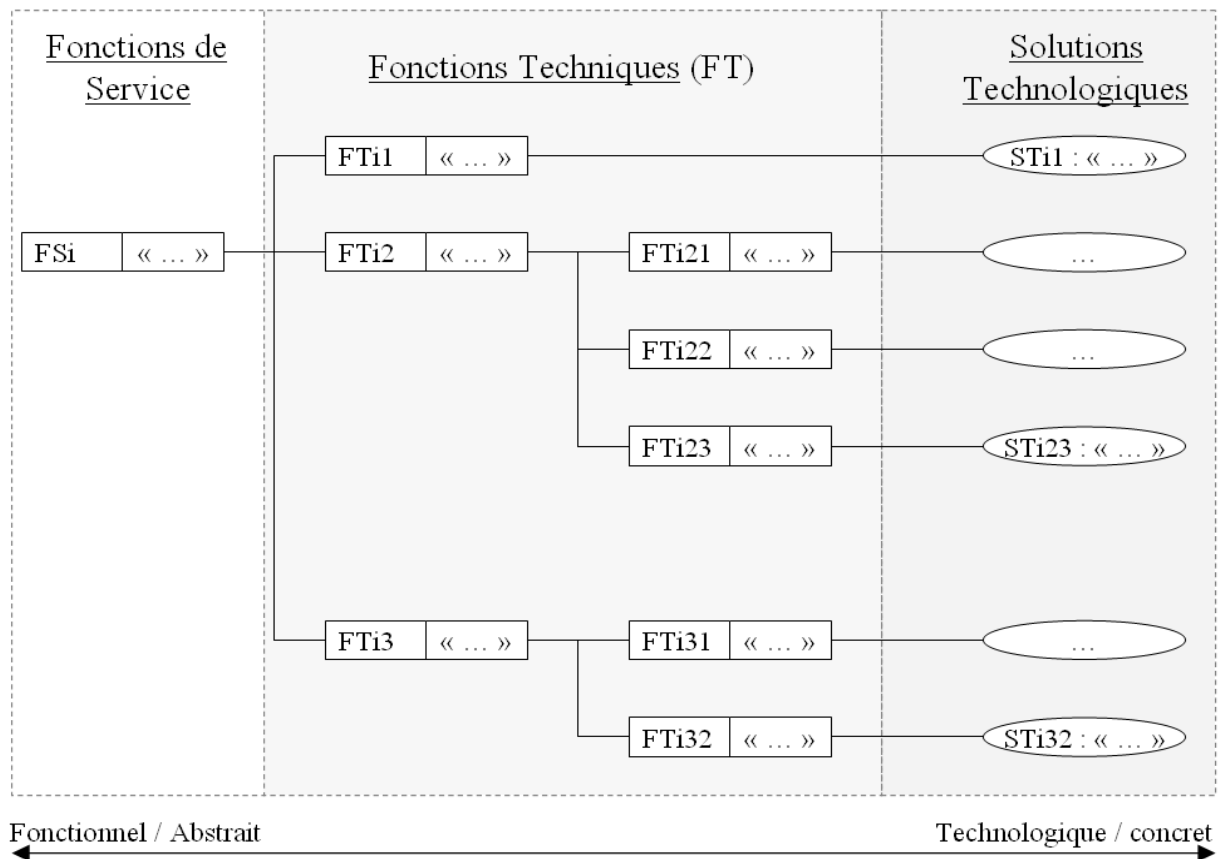
Q : Pourquoi FT521 existe-t-elle ? → R : Pour réaliser FT52 (et seulement FT52)

O : Comment FT521 est-elle réalisée ? → R : Grâce à FT5211 (il peut y en avoir d'autres)

Q : « Quand » FT521 intervient-elle ? → R « En même temps que » FT522



**Figure II.3 :** représentation schématique typique d'un diagramme FAST[10]

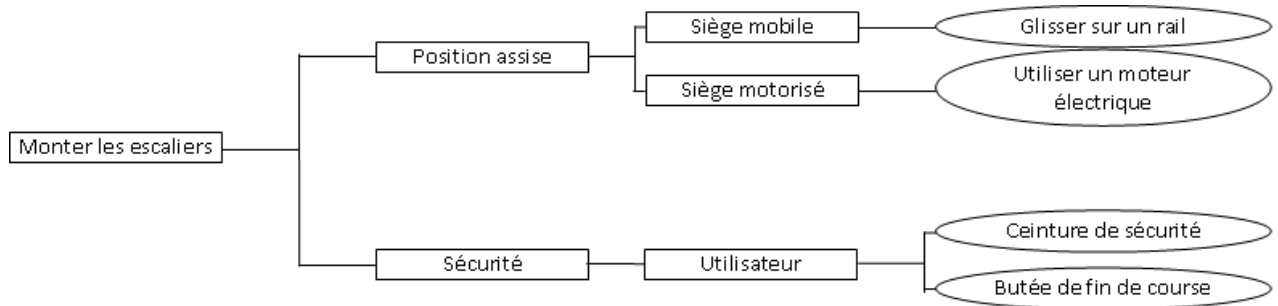


**Figure II.4 :** représentation schématique détaillée d'un diagramme FAST[10]

Pour notre projet d'étude, nous nous contentons d'un diagramme FAST pour la fonction principale. L'analyse fonctionnelle technique donne le schéma illustré par la figure II.5.

De cette analyse on peut se projeter dans la solution. On y voit les éléments de construction suivants :

- Rail.
- Moteur.
- Siège.
- Butée de fin de course.



**Figure II.5 :** Diagramme FAST de la fonction technologique principale.

### II.7 Solutions Proposées

Avant de se lancer dans la conception, nous avons discuté avec notre encadreur, quatre solutions possibles pour installer des montes escaliers dans notre centre universitaire. Cette phase de l'étude est qualifiée de généraliste. Les solutions sont faites à partir des dessins à main levé qui sont ensuite réalisés sur ordinateurs en utilisant le logiciel Soliworks. Les solutions ne présente, en cette phase, que l'aspect générale de l'idée imaginée pour répondre à la demande du client. Parmi les solutions envisagées, nous présentons quatre approches avec une étude comparative entre elle conduisant au choix de la solution finale qui sera détaillée dans le troisième chapitre.

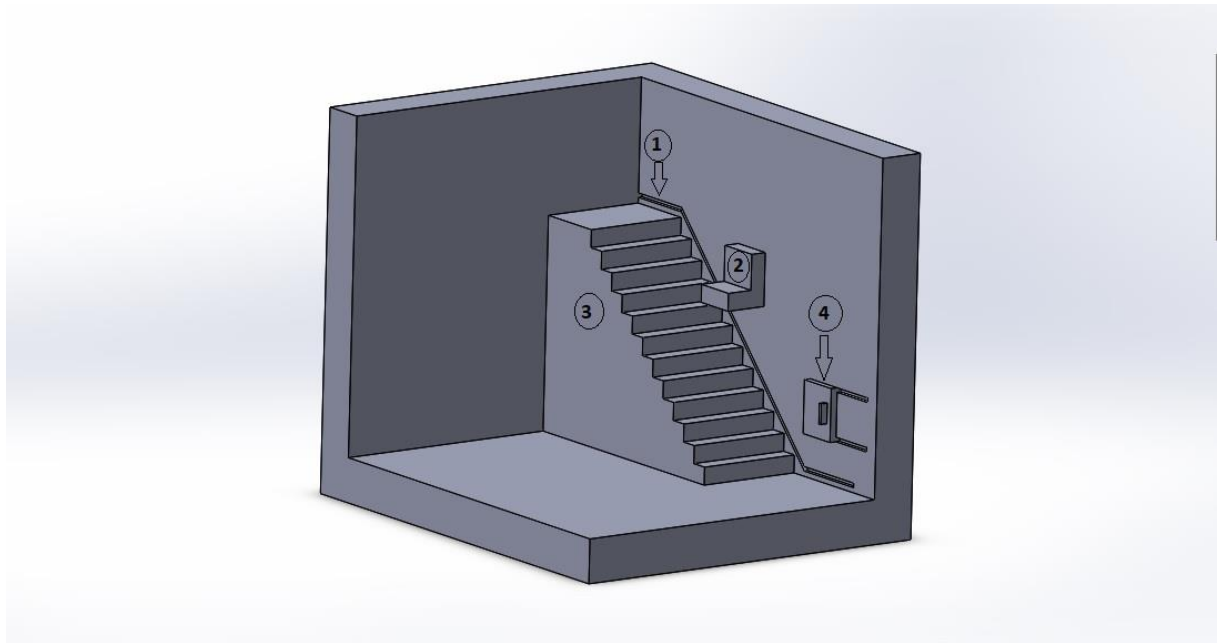
#### II.7.1 Chaise monte-escalier pliante

Pour cette solution, nous avons imaginé une chaise monte escaliers qui glisse sur un rail (Figures II.6 et II.7). La solution doit comporter deux coffres dans les positions extrêmes de la course. Une fois en place, la chaise sera pliée et rangée dans les coffres. Cette solution permet de laisser les escaliers dégagés pour les autres utilisateurs.

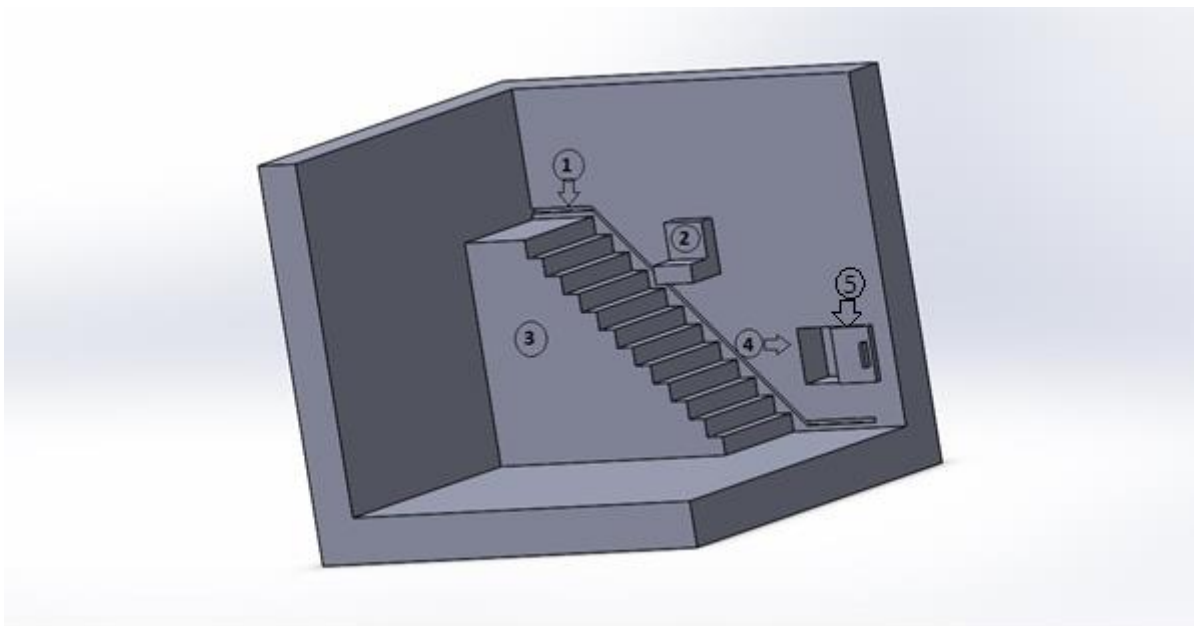
Les éléments constituant cette solution sont :

- 1) Le Rail
- 2) La chaise pliante
- 3) L'escalier
- 4) Le coffre
- 5) La porte glissante du coffre





**Figure II.6 :** Chaise monte-escalier pliante (coffre fermé).



**Figure II.7 :** Chaise monte-escalier pliante (coffre ouvert).

### II.7.2 Chaise monte-escalier glissante (sur deux rails)

Pour cette solution, la chaise glisse sur deux rails de part et d'autre de l'escalier (Figure II.8). Au stationnement, la chaise s'engouffre dans un coffre réalisé au sol afin de laisser l'escalier dégagé. Cette solution est trouvée son intérêt quand les escaliers sont loin d'un mur comme le montre la figure II.9.

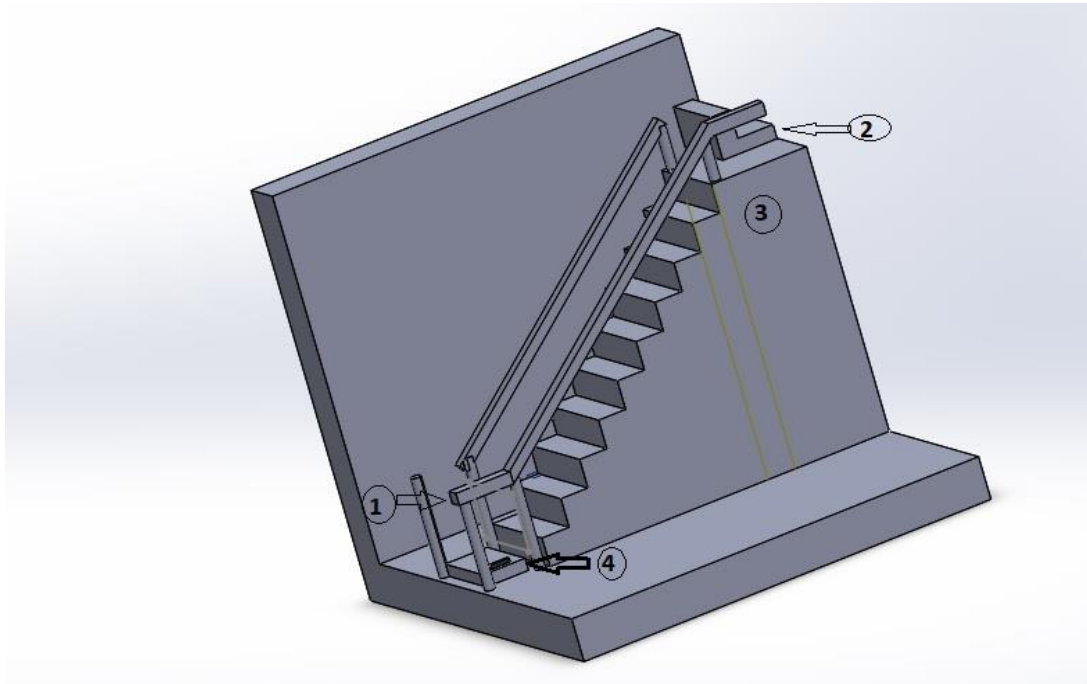


Figure II.8 : Chaise monte-escalier Glissante sur deux rails.

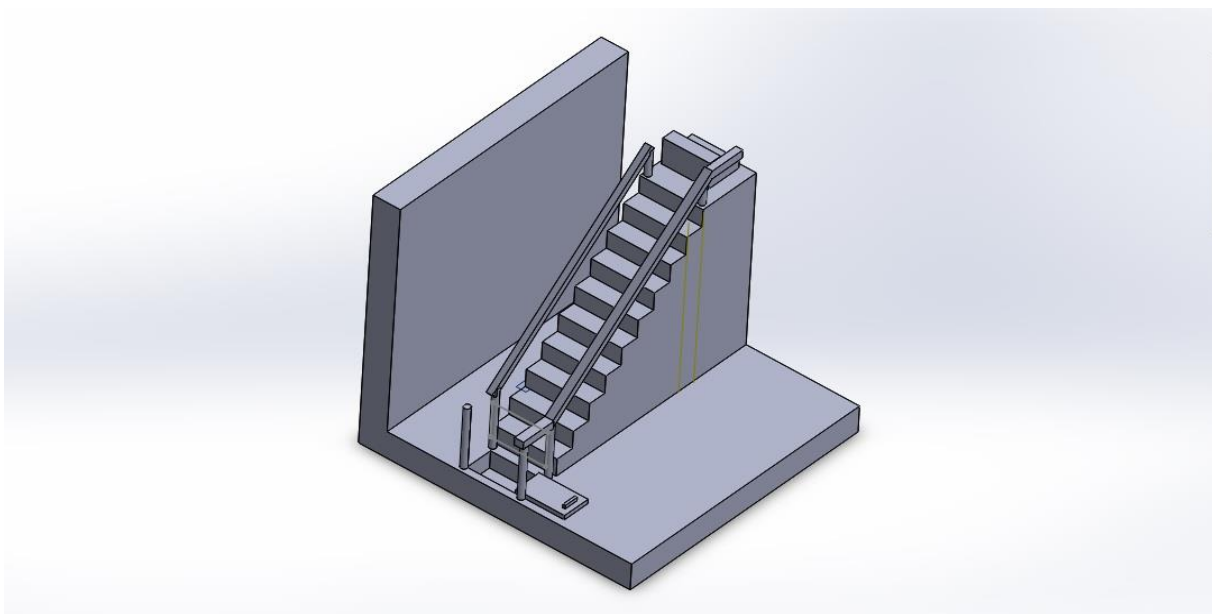
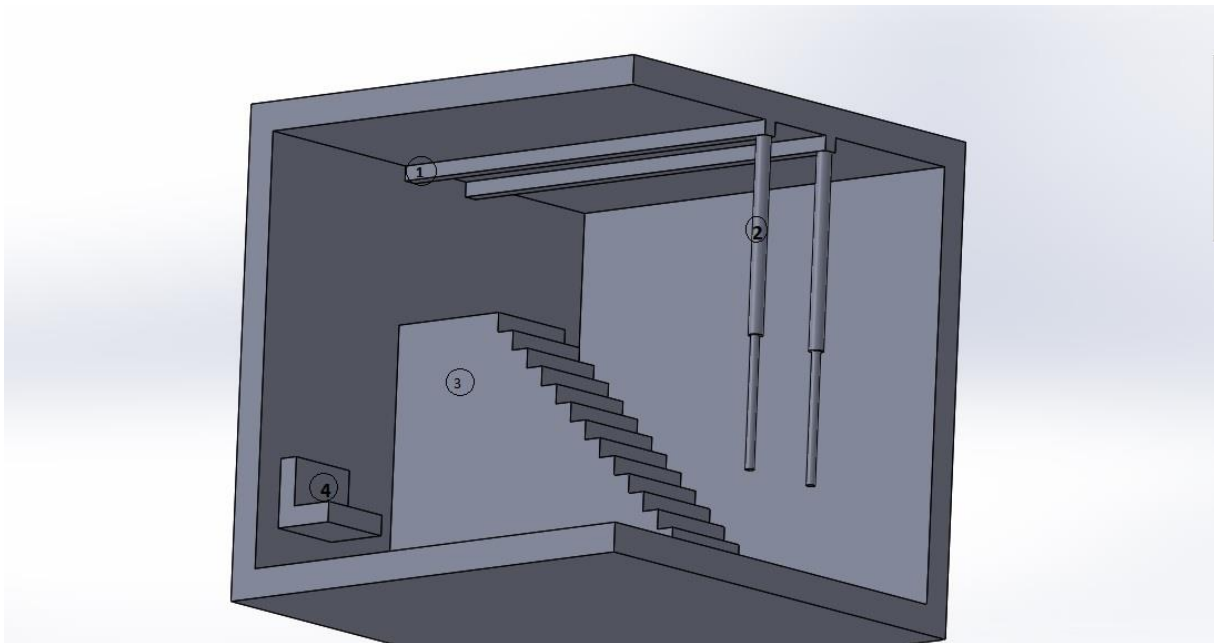


Figure II.9 : Chaise monte-escalier Glissante sur deux rails pour un escalier central.

### II.7.3 Chaise monte-escalier démontable

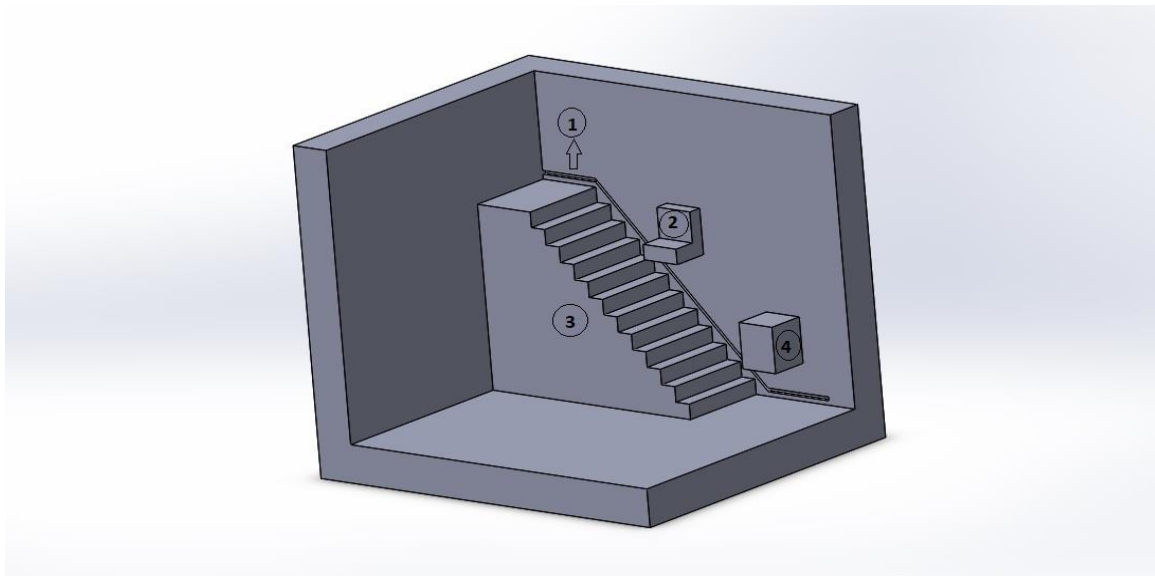
Pour cette solution, relativement originale, la chaise amovible se fixe par crochets sur deux vérins (2). Ces deux derniers se glissent sur le rail (1) fixé au plafond. Cette solution permet de garder l'escalier dégagé sans avoir besoin de réaliser des coffres pour le stationnement. La figure II. 10 illustre notre idée.



**Figure II.10 :** Chaise monte-escalier démontable.

### II.7.4 Chaise monte-escalier à coffre apparent

Cette solution ressemble beaucoup à la première solution mais avec une petite modification. En effet, la première solution nécessite la réalisation du coffre de stationnement réalisé dans le mur et implique un démontage de la chaise pour la glisser dans le coffre. En plus, le coffre doit être suffisamment volumineux pour supporter la chaise. Cela peut poser des problèmes pour les murs à faible épaisseur. Pour cette solution, le coffre est réalisé directement sur le mur (en non pas dans le mur). Pas besoin donc de démonter la chaise. Un fois au point de stationnement, la chaise est pliée et glissée dans son coffre de stationnement (Figure II.11).



**Figure II.11** : Chaise monte-escalier à coffre apparent.

### II.7.5 Synthèse des solutions

Afin de fixer la solution à développer, nous avons mené une étude comparative entre les quatre solutions. Les avantages et les inconvénients de chacune des solutions sont reportés dans le tableau II.2.

| Solution | Avantage  | Inconvénient   |
|----------|---|--|
| 1        | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilisation simple</li> <li>- Peu encombrante</li> </ul>                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ne s'adapte pas sur tous les murs.</li> <li>- Nécessite beaucoup de travaux de préparation.</li> </ul>                                |
| 2        | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilisation simple</li> <li>- Confort en utilisation</li> </ul>                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Coût élevé</li> <li>- Sécurité affaiblie (coffre au sol)</li> </ul>   |
| 3        | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Peu encombrante</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Coût très élevé</li> <li>- Sécurité affaiblie (Risque de chute)</li> <li>- Installation compliquée (maintenance difficile)</li> </ul> |
| 4        | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilisation simple</li> <li>- Peu encombrante</li> <li>- Maintenance facile</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Non adaptée aux escaliers centraux</li> </ul>   |

Suite à cette étude comparative, et en concertation avec notre encadreur, nous avons choisi la quatrième solution pour notre projet. Cette solution sera davantage détaillée dans le troisième chapitre.

### III. CHAPITRE III : Conception De la Chaise monte escalier

#### III.1 Introduction :

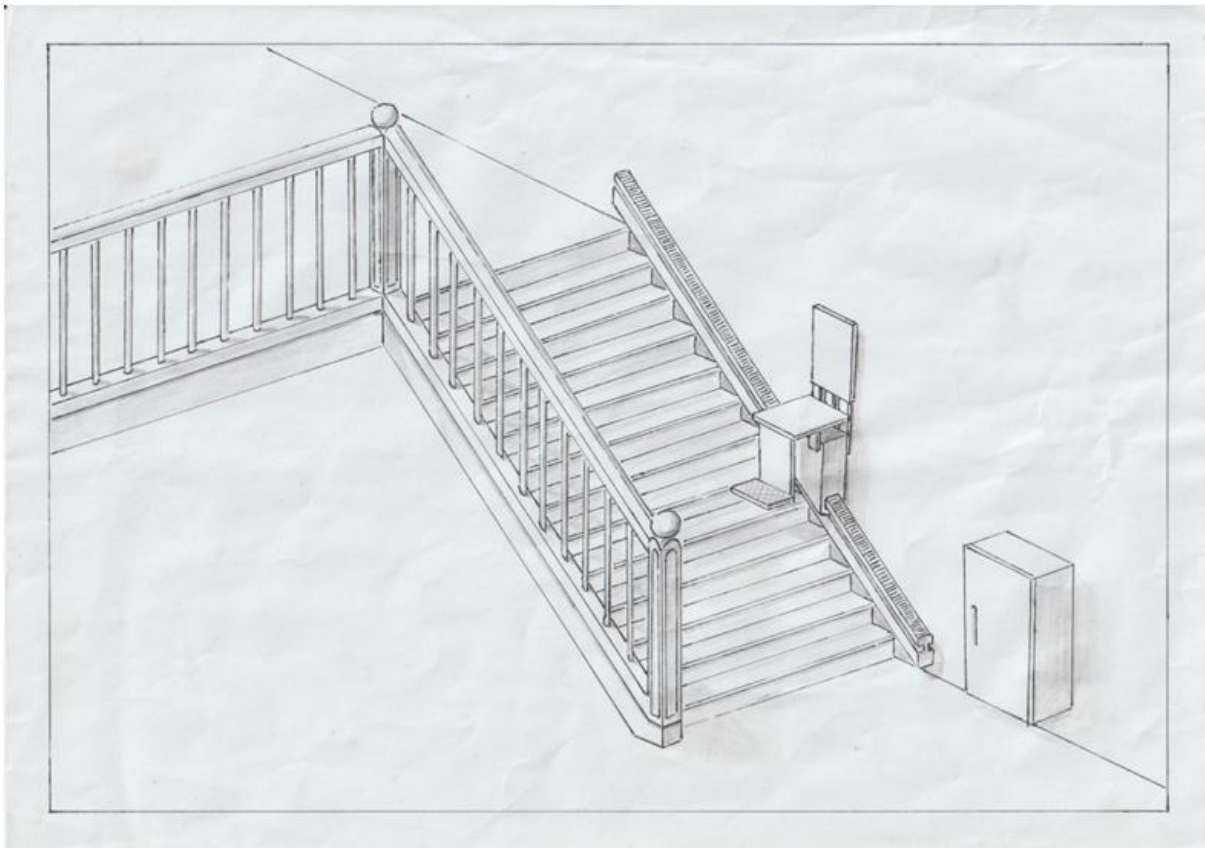
Cette partie de l'étude sera en partie consacrée à la conception assisté par ordinateur de notre solution visant à faciliter le déplacement, d'un étage à un autre, des personnes à mobilité réduite. La conception, initiée dans le deuxième chapitre sera donc détaillée avec des calculs de vérification des éléments standards.

#### III.2 Solution envisagée :

##### III.2.1 Présentation générale de la solution :

La solution technique envisagée est le fruit de plusieurs études. Tout d'abord, l'analyse fonctionnelle et technique ont permis de clarifier le cadre global de la solution. Quatre idées ont été proposés. La comparaison menée au deuxième chapitre entre les quatre solutions envisagées s'est conclue par le choix du quatrième modèle. En effet, cette solution consiste à utiliser une chaise qui se déplace sur un rail fixé au mur. Nous avons commencé par un dessin à main levée pour schématiser la solution. L'un de nos premiers dessins réalisés sur un simple bout de papier est présenté par la figure III.1. On y voit les escaliers du bloc B, une chaise glissant sur un rail fixé sur le mur. A partir de cette idée nous avons commencé les développements. Notons qu'une conception proprement réalisée nécessite beaucoup de temps (certainement plusieurs mois par une équipe pluridisciplinaires pour un projet de même envergure). Pour notre cas, et avec l'appui de notre encadreur, nous avons opté pour une démarche simplifiée visant à donner l'aspect global de notre solution.

Un des défis majeurs de notre démarche consistait à réduire considérablement les coûts. C'est pour cette raison que nous avons choisi d'utiliser au maximum des éléments de construction mécanique (des éléments de machines standards). Les dimensions des éléments constituant notre solution sont donc normalisées. Nous avons mené des calculs de vérification.



**Figure III.1 :** Croquis réalisé à main levée de la solution envisagée pour un monte escaliers.

### **III.2.2 Schématisation cinématique de la solution :**

A partir de notre croquis initial, nous avons cherché à représenter les différentes liaisons mécaniques dans un schéma cinématique (Figure III.2).

Sur ce schéma, on peut lire que le rail (1) est fixé (encastrement) en plusieurs points sur le mur (2). Une liaison glissière permet au support de la chaise (3) de se déplacer sur le rail. La chaise, composé d'une assise (5), d'un dossier (4) et d'un repose pied (7) est réalisé de façon à pouvoir plier l'ensemble afin de réduire son volume.

Les différentes liaisons avec leurs degrés de libertés sont représentées dans le tableau III.1.

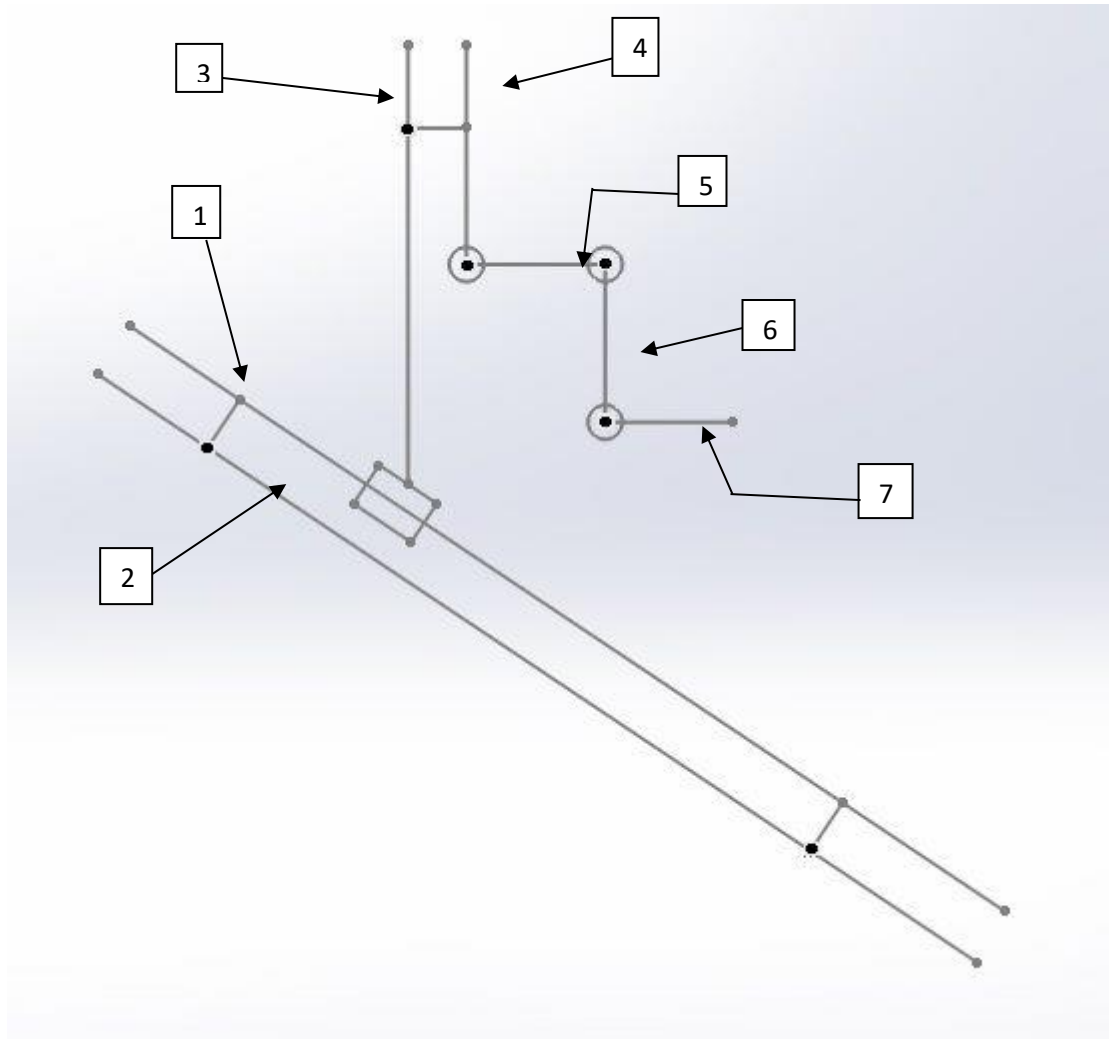


Figure III.2 : Schéma cinématique de la chaise monte escaliers.

Tableau III.1 : Les différentes liaisons de notre solution.

| liaisons | types        | Degrés de liberté |
|----------|--------------|-------------------|
| L1/2     | Encastrement | 0R/0T             |
| L3/1     | Glissière    | 0R/1T             |
| L4/3     | Encastrement | 0R/0T             |
| L5/4     | Pivot        | 1R/0T             |
| L6/5     | Pivot        | 1R/0T             |
| L7/6     | Pivot        | 1R/0T             |

Avec :  
 T : liberté en translation  
 R : liberté en rotation.



### III.3 Les éléments constituant la solution :

#### III.3.1 La force motrice

Le diagramme FAST présenté au deuxième chapitre envisage d'utiliser un moteur électrique afin de déplacer la chaise. Nous avons cherché sur le marché local et nous avons trouvé une panoplie de moteurs mais à des prix exhaustifs. Une autre contrainte réside dans la vitesse de sortie. En effet les vitesses de sorties offertes par les moteurs électriques sont élevées. L'utilisation d'un réducteur devient une nécessité. Comme nous avons envisagé d'éviter la fabrication (utilisation des éléments standards), nous nous sommes tournés vers les motoréducteurs. Nous avons trouvé les modèles suivants :

- Lemotoréducteur ZD type GN T5.
- Lemotoréducteur type GW33d-05.
- Le motoréducteur 80807001.

Ces solutions sont difficilement adaptables sur notre chaise (dimensions, forme, alimentation électrique...). Notre encadreur nous a alors orienté vers une solution simple qui consiste à utiliser les motoréducteurs des lèves rideaux actuellement en plein extension sur le marché national. Nous nous sommes déplacés vers des spécialistes des rideaux électriques au niveau de la ville d'Ain Témouchent afin de relever les caractéristiques des ces motoréducteurs.

Les motoréducteurs les plus utilisés dans le domaine des lèves rideaux électrique sont de marque ACM de fabrication Italienne. A la réception, le groupe motoréducteur ressemble à celui de la figure III.3. Sur la fiche technique, on peut lire les caractéristiques suivantes :

- Tension d'alimentation :220/230V
- Puissance :630w
- Couple : 170N.m
- Vitesse de sortie :10trs/mn
- Charge de soulèvement :170Kg
- Diamètre de l'arbre :25 mm.

Notons que le prix de ce motoréducteur avoisine les 25000 Dinar Algérien.

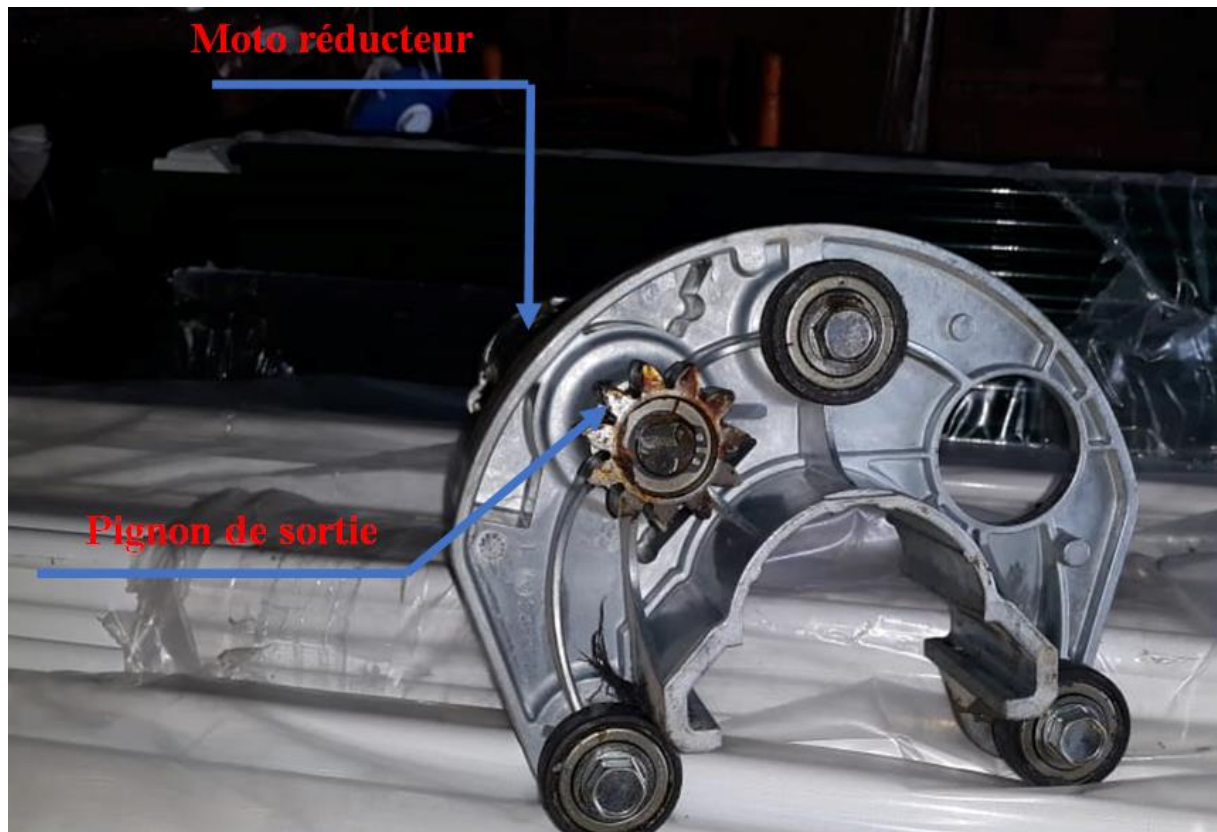
Pour adapter ce motoréducteur sur notre solution, nous envisageons d'enlever quelques éléments comme par exemple la roue à denture intérieure visible sur la figure III. 4 ainsi que le pignon de sortie (figure III.5).



Figure III.3 Motoréducteur de marque ACM initialement prévu pour les rideaux électriques.



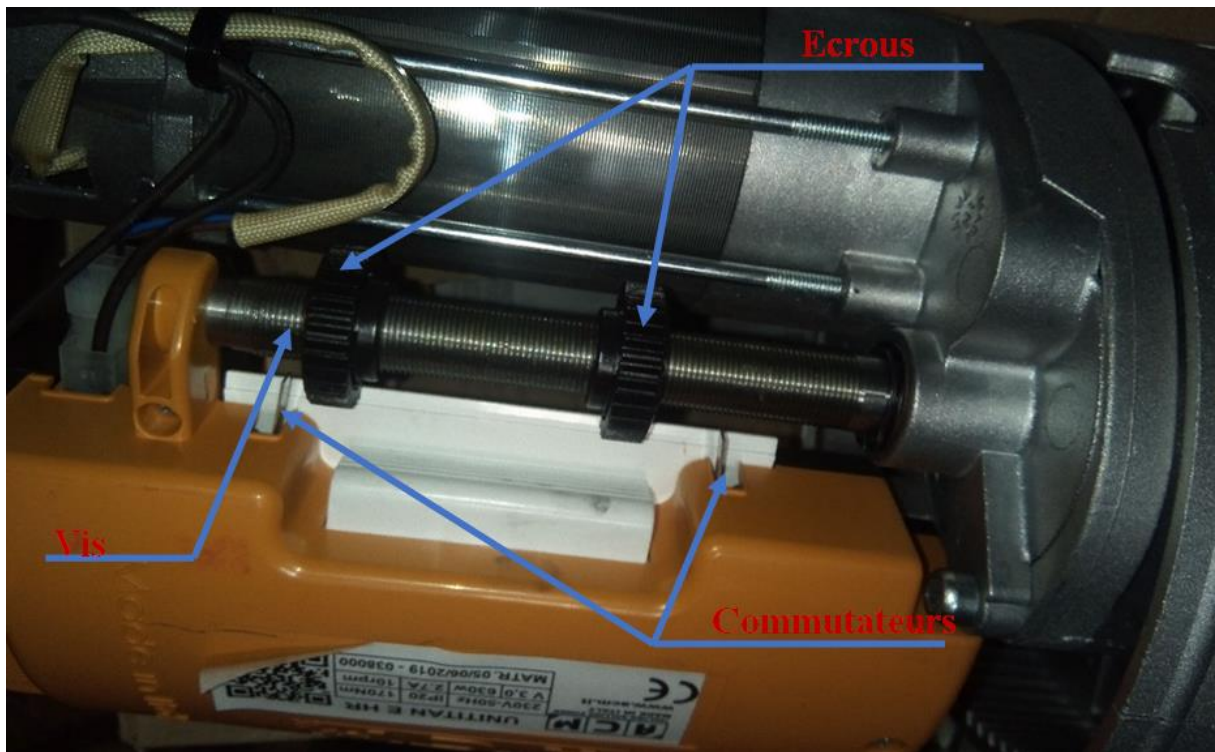
Figure III.4 : Une autre vue du motoréducteur ACM.



**Figure III.5** : Vue orientée sur le pignon de sortie du motoréducteur ACM.

En plus de sa facilité d'utilisation, le motoréducteur ACM offre l'avantage de pouvoir régler la course de déplacement. Pour rappel, dans le diagramme FAST du deuxième chapitre, nous avons mentionnée que la sécurité est assurée en partie par les butée de fin de courses. Le moteur ACM comporte un système simple et pratique permettant d'arrêter le moteur. Composé d'une vis et deux écrous et de deux commutateurs (Figure III.6) ce système fonctionne de la manière suivante :

La vis régulatrice tourne avec le moteur. Sa rotation provoque le déplacement de l'écrou. Ce dernier entre en collision avec le commutateur ce qui provoque l'arrêt du moteur. Le deuxième écrou fait le même travail dans l'autre sens de rotation. En déplaçant manuellement les écrous, on peut facilement régler la course de notre chaise.



**Figure III.6 :** Le système de régulation de course du motoréducteur ACM.

Le dessin d'ensemble du motoréducteur lève rideau est donnée par la figure **III.7**.



|       |             |         |                  |
|-------|-------------|---------|------------------|
| 1 : 2 | Moteur      | C U A T | Chadli et Meddah |
|       | Vue de face |         | 10/09/2019       |
| A4    |             |         | M2 MG            |

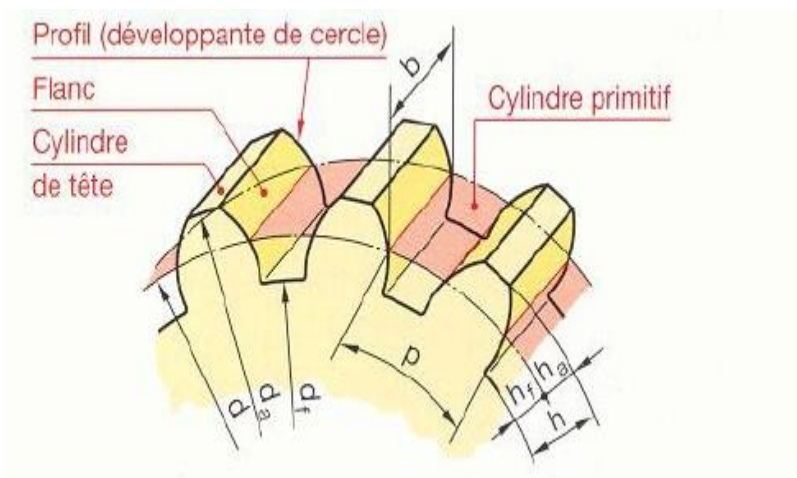
Figure III.7 : Dessin d'ensemble du motoréducteur ACM

### III.3.2 Le pignon de sortie

Le pignon de sortie du motoréducteur est de faible taille. Il a été conçu pour s'engrener avec la roue à denture intérieure (figure III.4). Puisque nous avons envisagé d'enlever la roue, le redimensionnement du pignon devient une nécessité.

Nous avons choisi un engrenage droit à denture droite. Nous avons procédé au dimensionnement du pignon. Afin d'éviter l'encombrement, nous avons choisi un pignon de diamètre  $d = 80 \text{ mm}$

Les caractéristiques d'un pignon à denture droite sont illustrées par la figure III.8.



**Figure III.8** Paramètres généraux d'un engrenage droit à denture droite.

De la figure, on peut constater que :

$$h = h_a + h_f$$

Avec

$$h = 2.34 \times m$$

$$h_a = m$$

$$h_f = 1.25 \times m$$

$h_a$  : Saillie

$h_f$  : Creux

Il faut calculer le module.

### III.3.2.1 Le Module :

$$m = 2.34 \sqrt{\frac{F_t}{K \times R_{pe}}}$$

$f_t$  : Force tangentielle (Newton)

K : Coefficient de largeur de denture (Valeur entre 6 et 10)

$R_{pe}$  : Resistance pratique a l'extension du matériau de la denture en (MPa)

$$f_t = C/r$$

Avec :

C : couple et  $r = d/2$

$$R_{pe} = \frac{Re}{S}$$

Re : Limite élastique (541 MPa pour l'acier 304)

S : Coefficient de Sécurité (1,5 choisi pour notre cas)

$$f_t = C/r$$

$$f_t = 170/0.040$$

$$f_t = 4250N$$

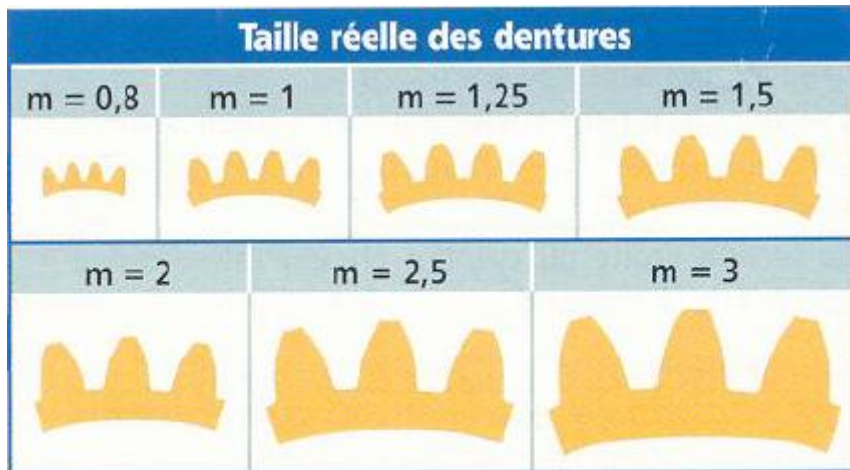
$$R_{pe} = \frac{Re}{S}$$

$$R_{pe} = \frac{541}{1.5}$$

$$R_{pe} = 360.66 \text{ MPa}$$

$$m = 2.34 \sqrt{\frac{F_t}{K \times R_{pe}}} = 3.03 \text{ mm}$$

| Modules Normalisés |     |     |   |      |     |    |
|--------------------|-----|-----|---|------|-----|----|
| 0.3                | 0.5 | 0.8 | 1 | 1.25 | 1.5 | 2  |
| 2.5                | 3   | 4   | 5 | 6    | 8   | 10 |



Donc on prend  $m=4$

$$h = m \times 2.25$$

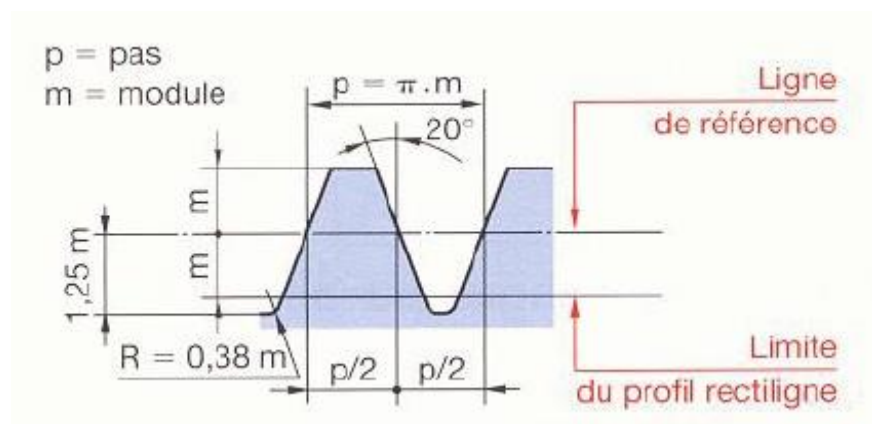
$$h = 9\text{mm}$$

### III.3.2.2 Calcul de la largeur de la denture :

$$b = m \times k$$

$$b = m \times 7$$

$$b = 28\text{mm}$$



### III.3.2.3 Calcul du pas :

$$P = \pi \times m$$

$$P = \pi \times 4$$

$$P = 12.56\text{mm}$$



Après dimensionnement, nous avons réalisé le dessin de définition du pignon. Les Figures III.9, III.10 et III.11 donnent le dessin de définition de l'engrenage sous plusieurs vues



Figure III.9 Vue isométrique de l'engrenage.

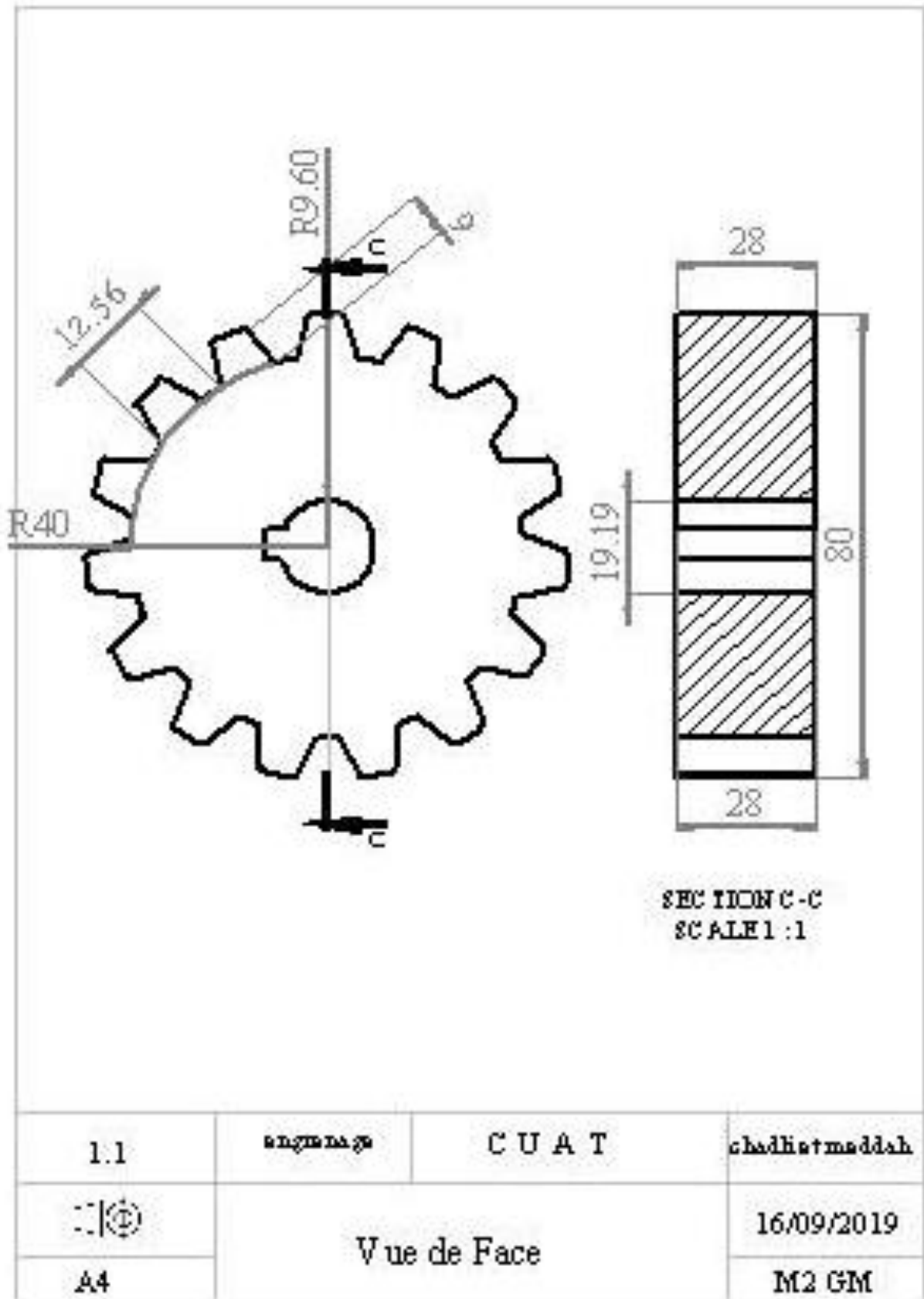


Figure III.10 Vue de face de l'engrenage.

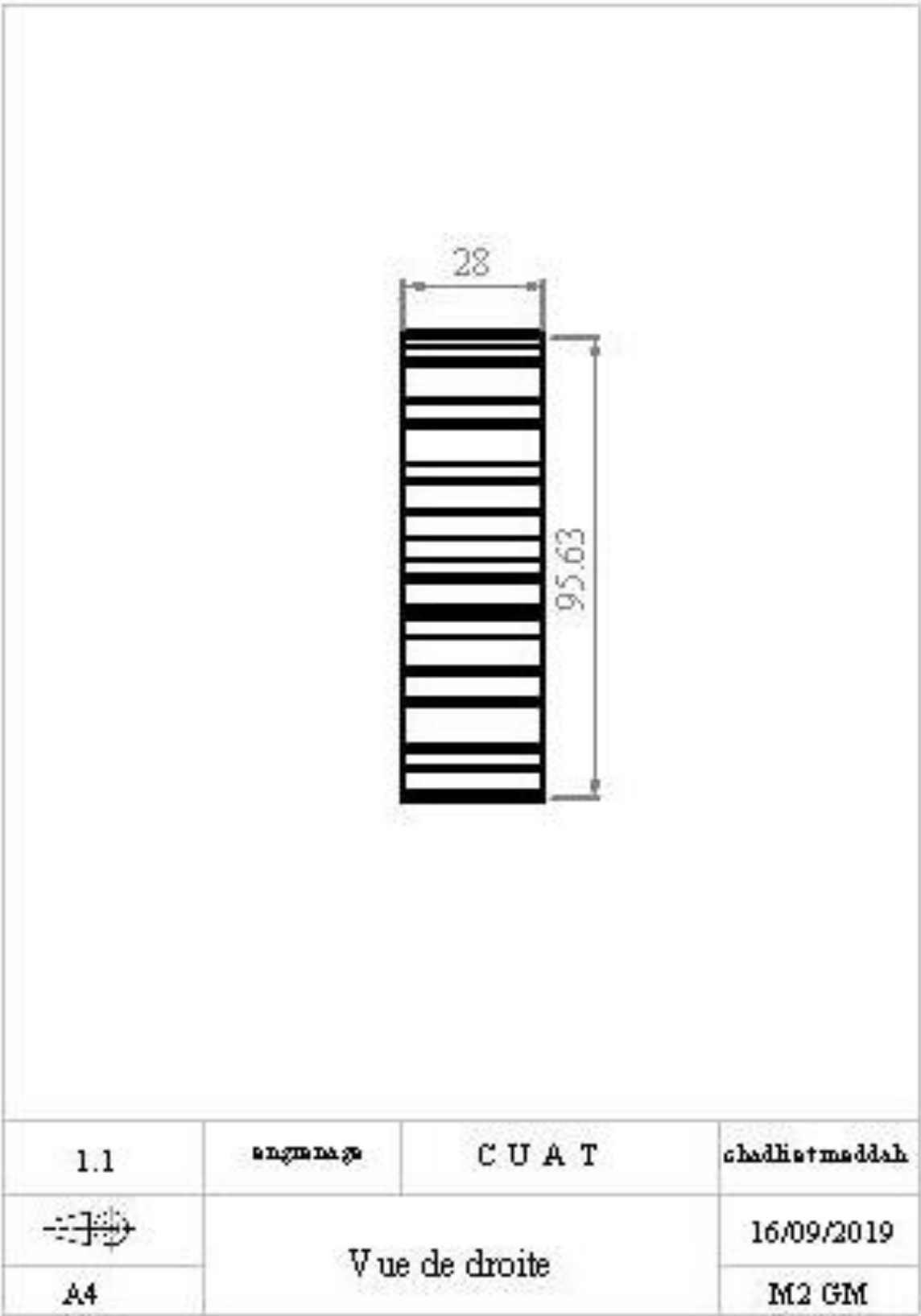
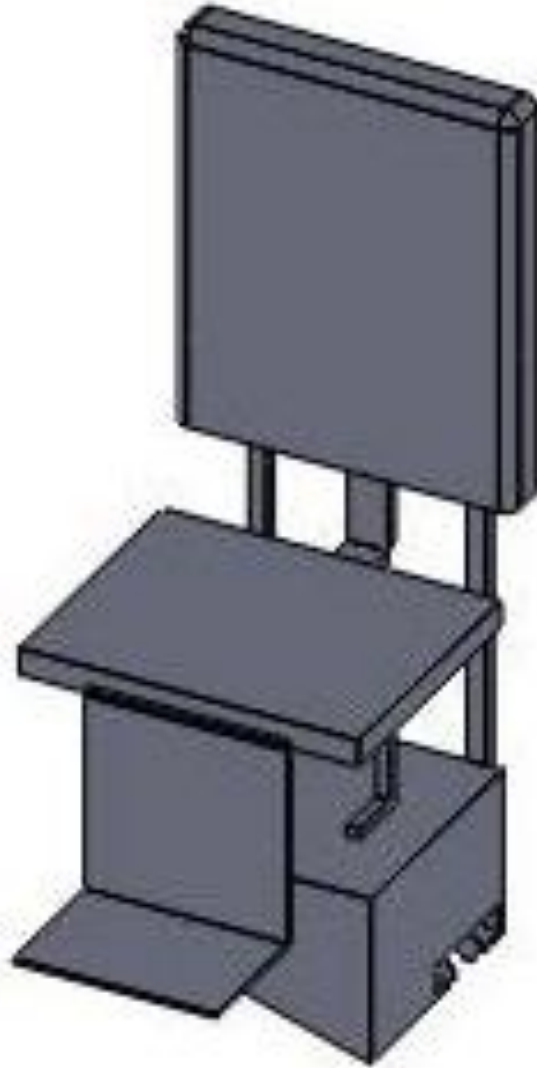


Figure III.11 Vue de droite de l'engrenage.

### III.3.3 La chaise monte escaliers

La solution que nous avons développée est présentée en 3D par la figure III.12. Les différentes vue de la chaise sont représentées par les figures III.13-17.



**Figure III.12 :** Modèle 3D de la chaise monte escalier

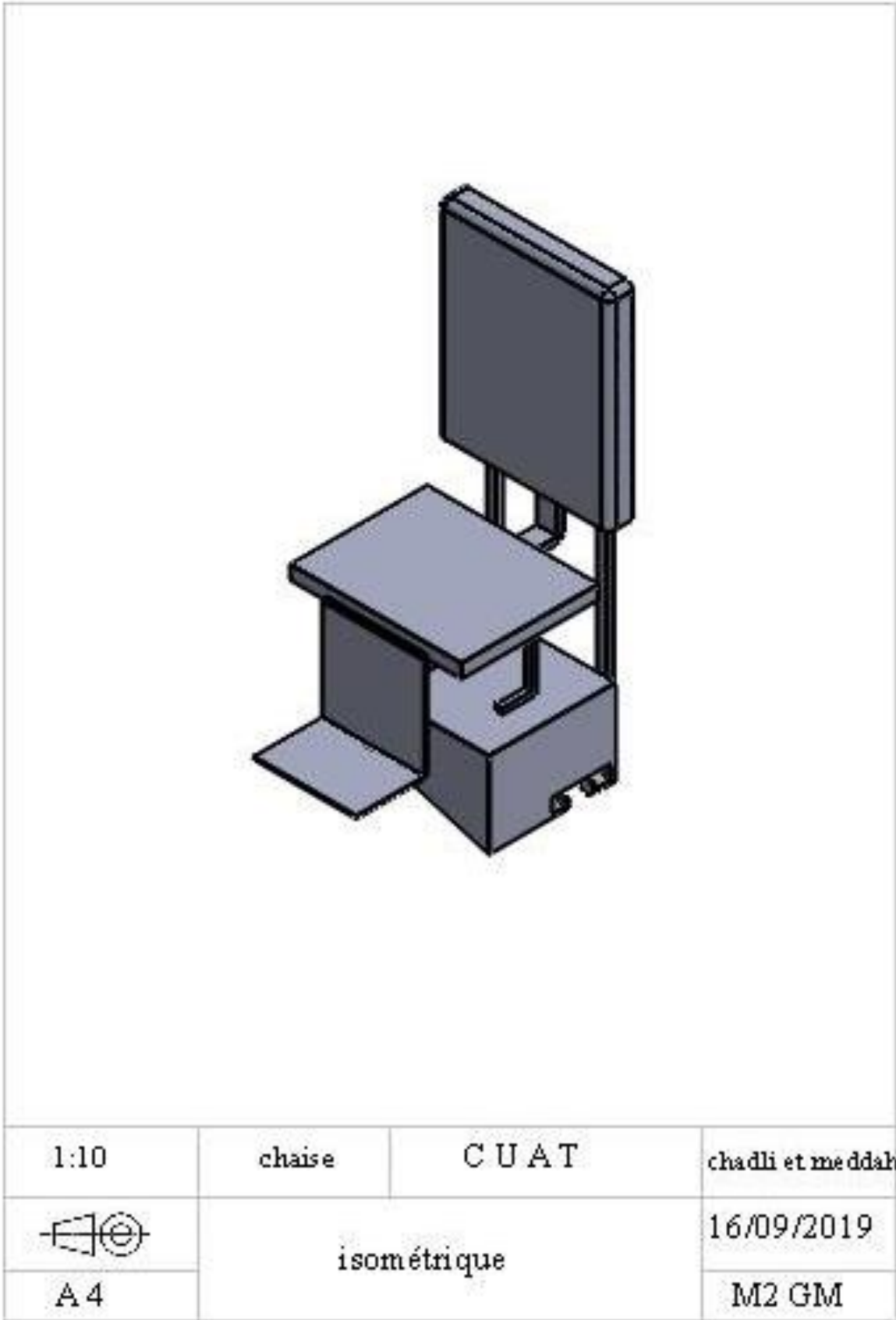


Figure III.13 : Modèle 3D isométrique de la chaise monte escalier

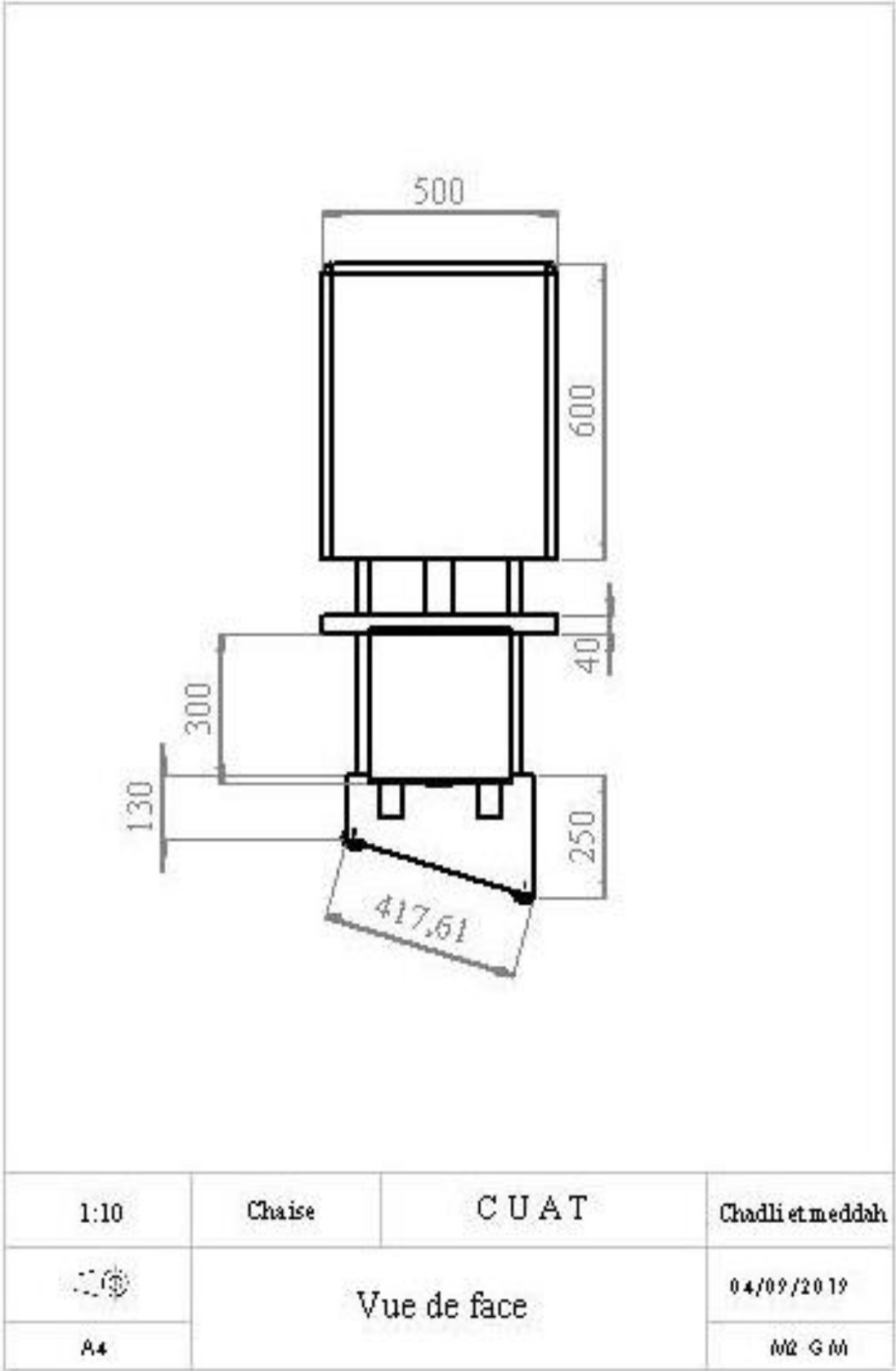


Figure III.14 : Vue de face de la chaise monte escalier

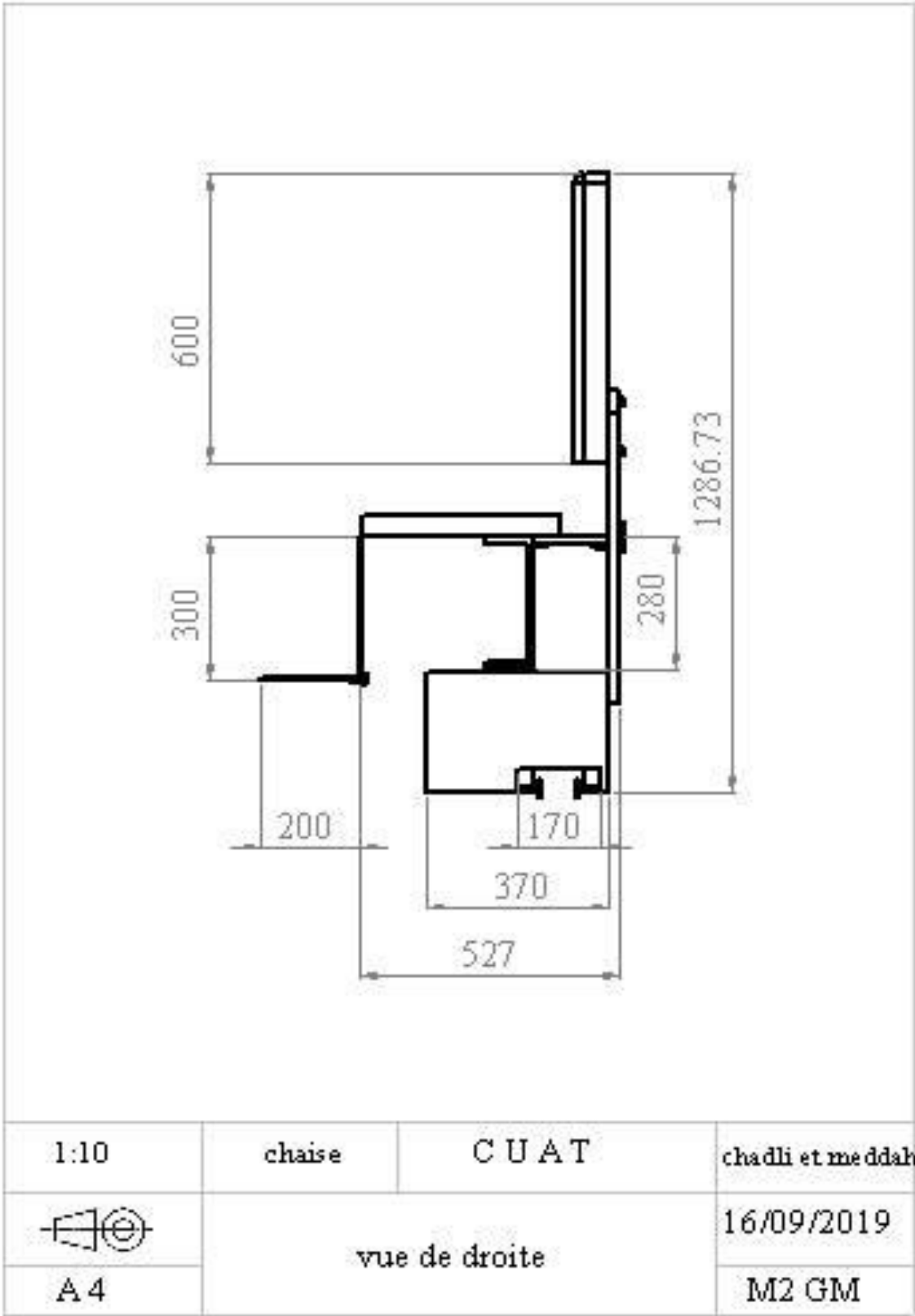


Figure III.15 : Vue de droite de la chaise monte escalier



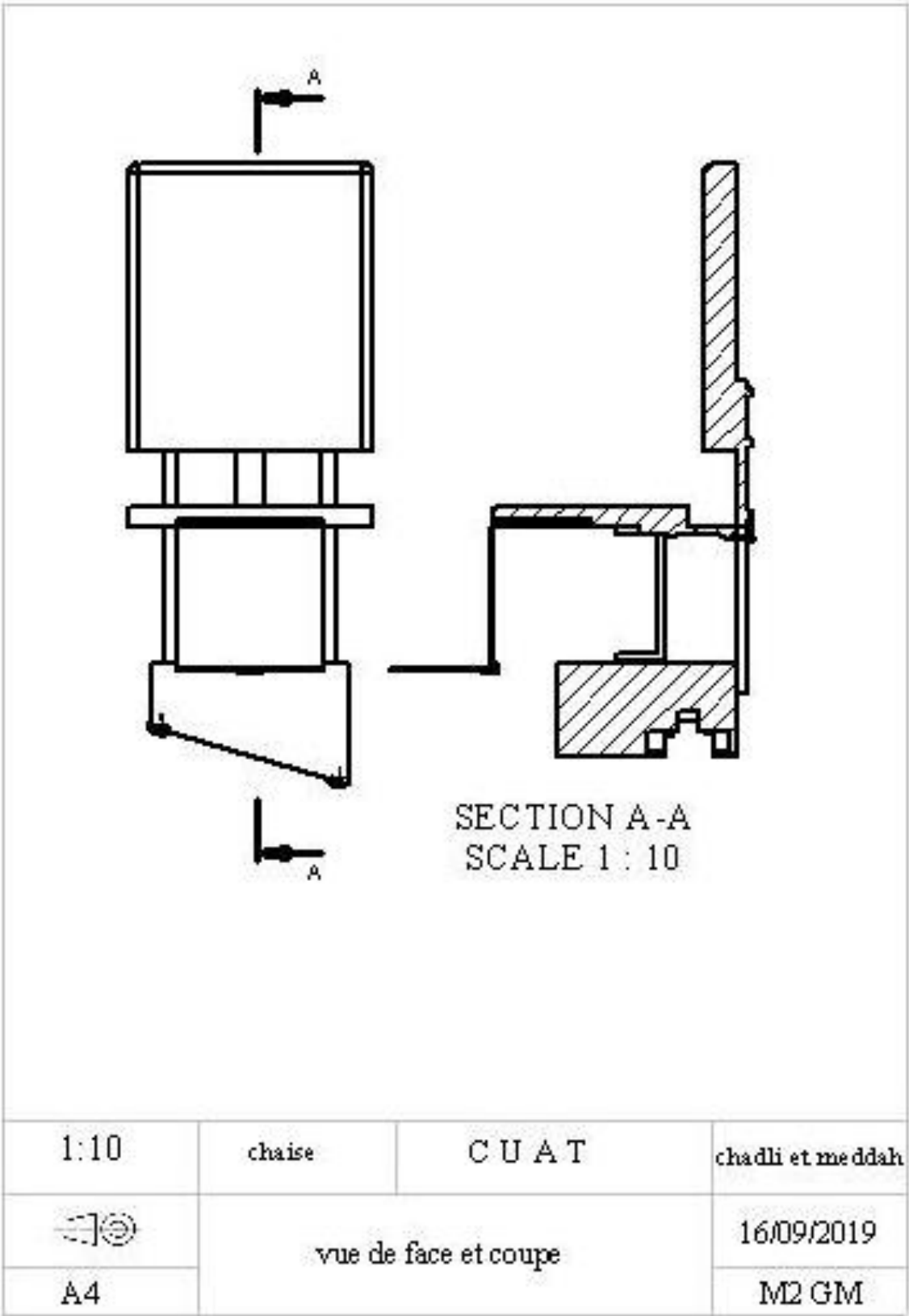


Figure III.16 : Vue de face et de coupe de la chaise monte escalier

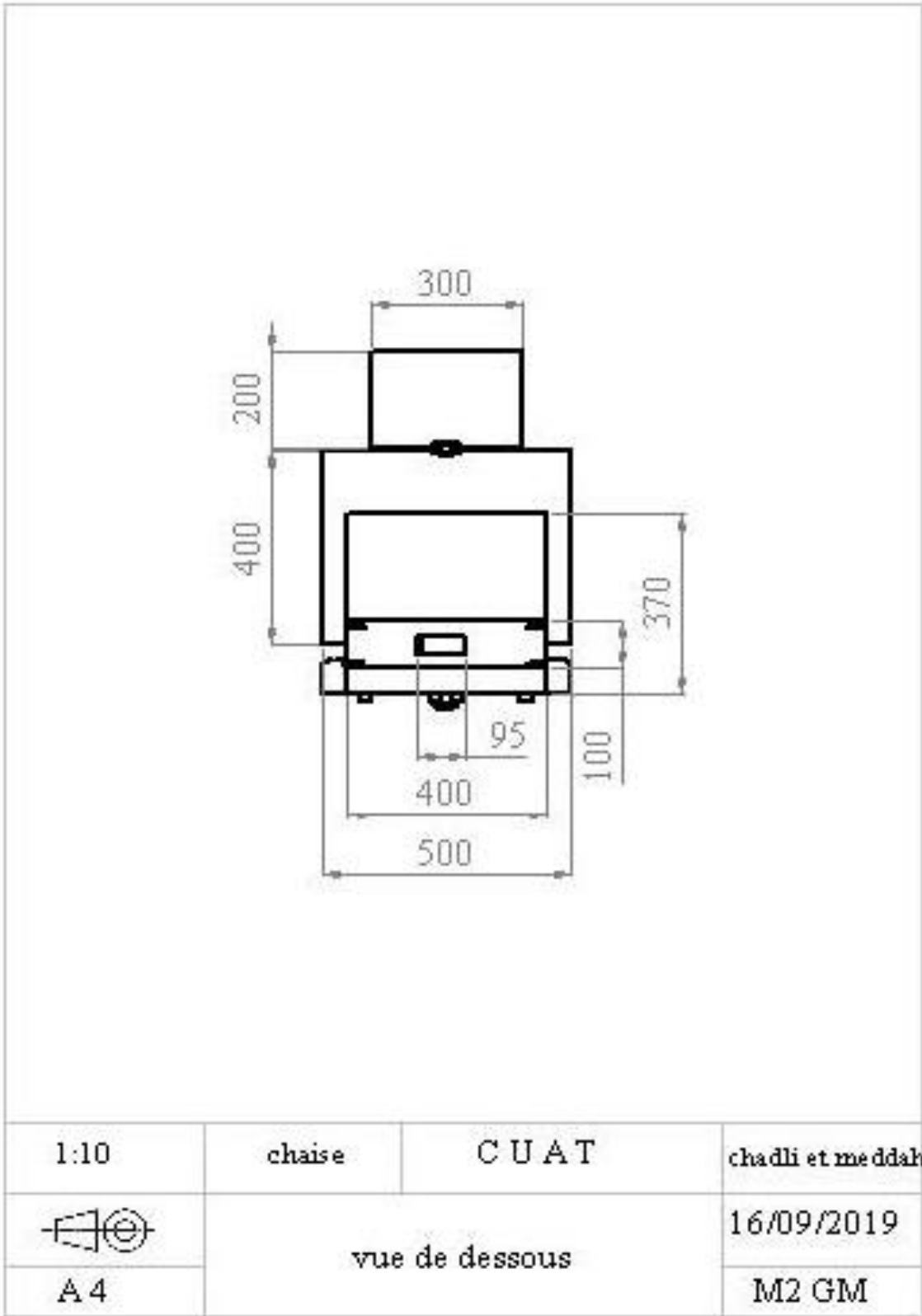


Figure III.17 : Vue de dessous de la chaise monte escalier

### III.3.4 Le rail

Le rail est conçu en l'acier afin de résister au poids exercé par l'utilisateur. Il est fixé au mur en plusieurs points espacés d'une distance  $l$ . Nous avons utilisé le logiciel RDM 6 afin de modéliser le rail dans l'objectif de fixer cette distance ( $l$ ). Les figures III.18-20 représentent la déflexion du rail en fonction de la distance entre appuis ( $l$ ). Pour une faible déflexion, nous avons choisi la distance  $l=1000$  mm.

Cas1 : Un Crémaillère de longueur  $L=1000$  mm

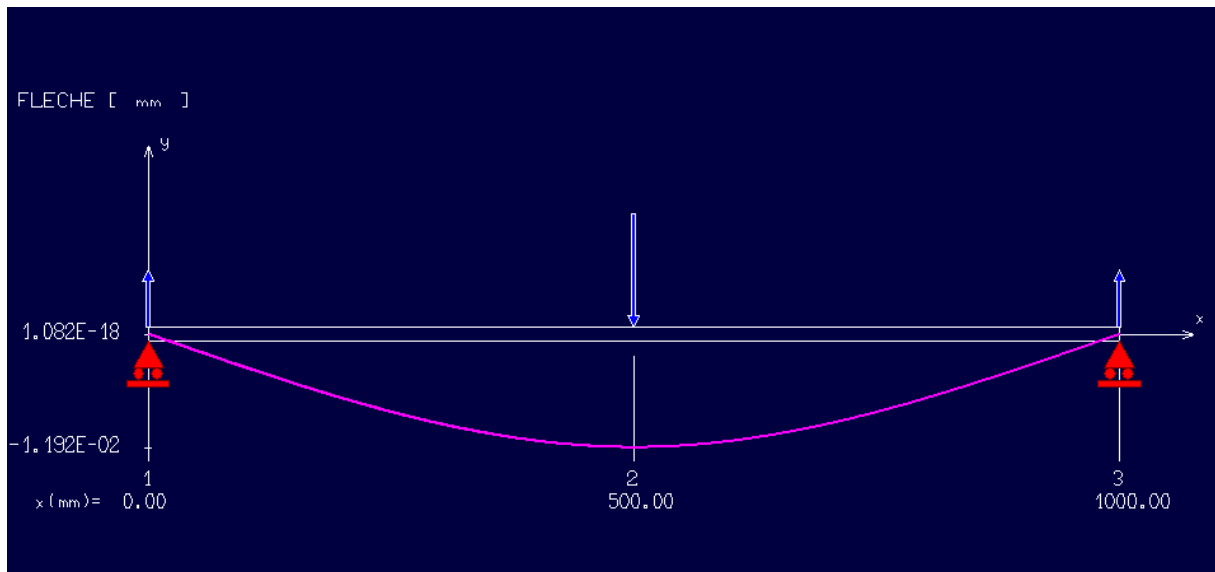


Figure III.18 : Schéma qui représente la flèche avec  $L= 1000$  mm par logiciel RDM6

Cas2 : Un Crémaillère de longueur  $L=1200$  mm

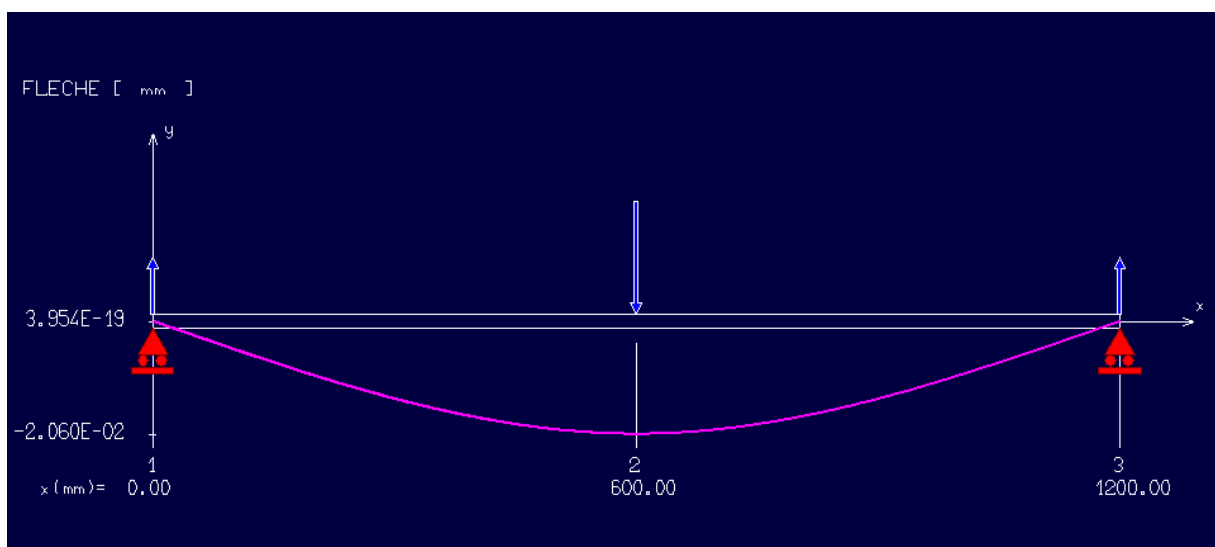
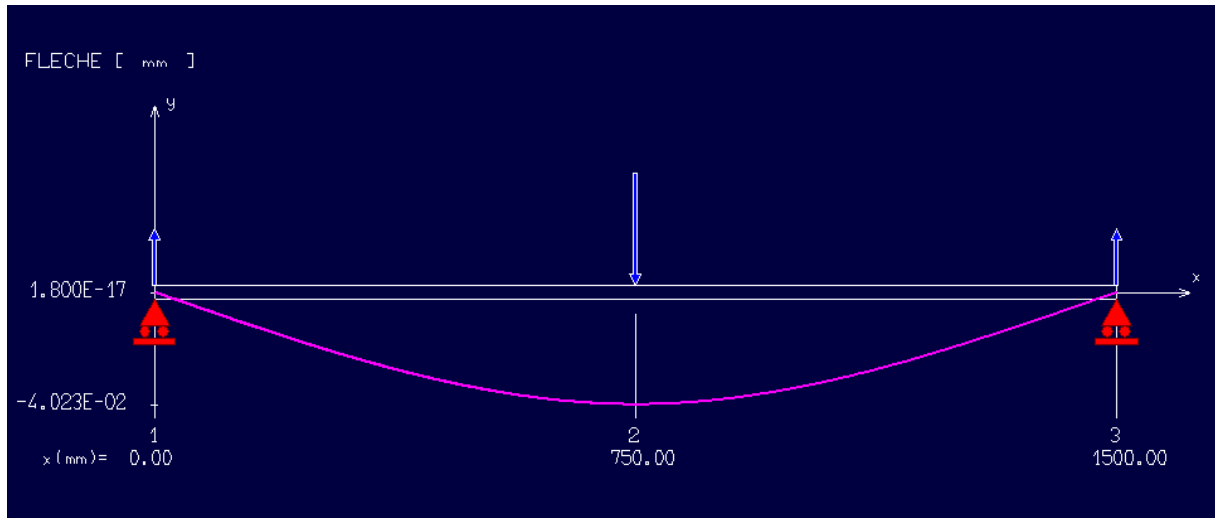


Figure III.19 : Schéma qui représente la flèche avec  $L= 1200$  mm par logiciel RDM6

Cas3 : Un Crémaillère de longueur L=1500 mm



**Figure III.20 :** Schéma qui représente la flèche avec L= 1500 mm par logiciel RDM6

Ce rail (crémaillère) comporte une lame en cuivre électrifiée et nue permettant à un contacteur d'alimenter le motoréducteur. La structure globale (crémaillère et fil électrique) sera protégée par une cage. Les différentes vues de la crémaillère et de sa cage de protection sont représentées par les figure III.19-21.

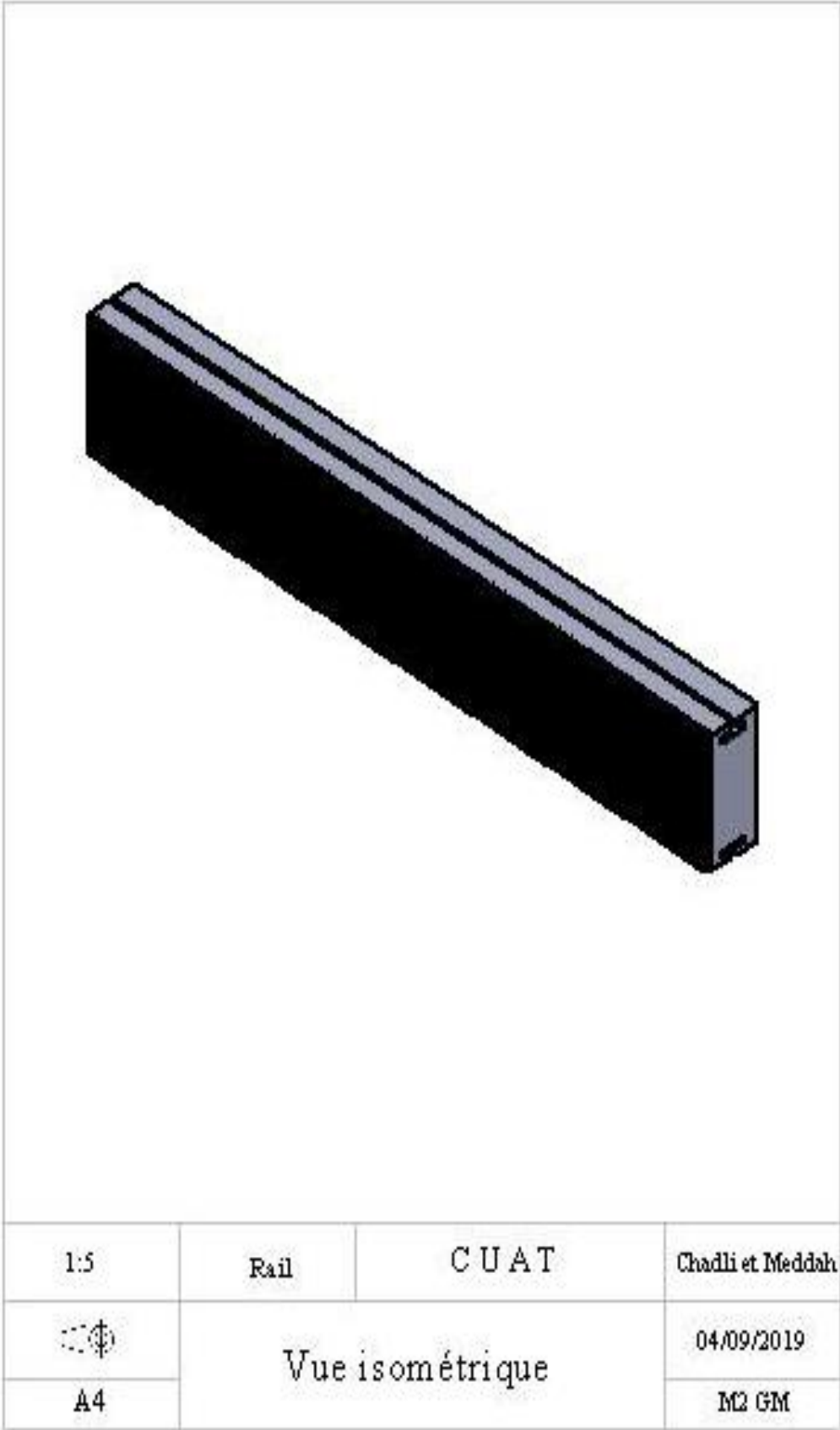


Figure III.21 : Vue isométrique de la crémaillère.

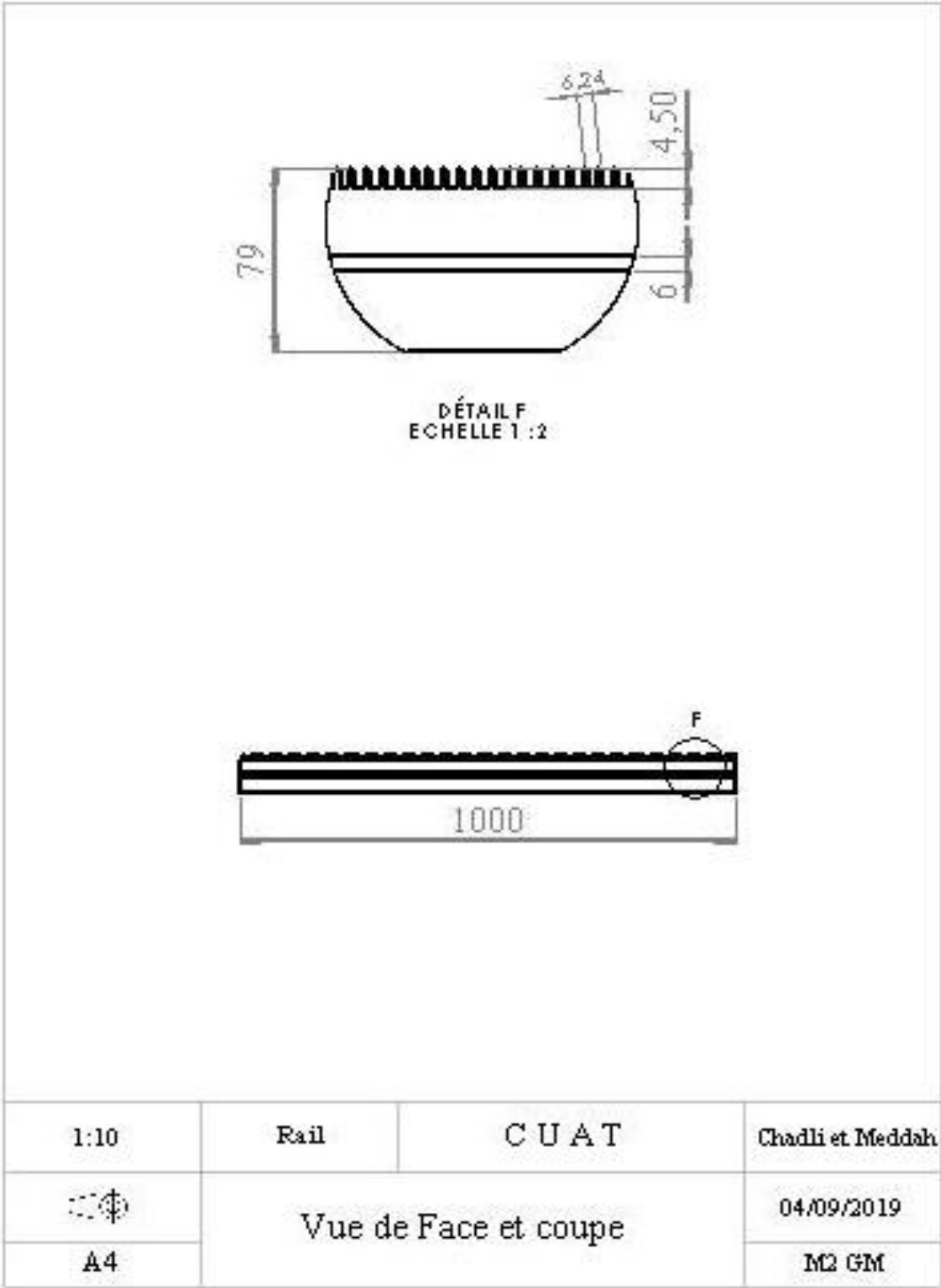


Figure III.22 : Vue de face et de coupe de la crémaillère.

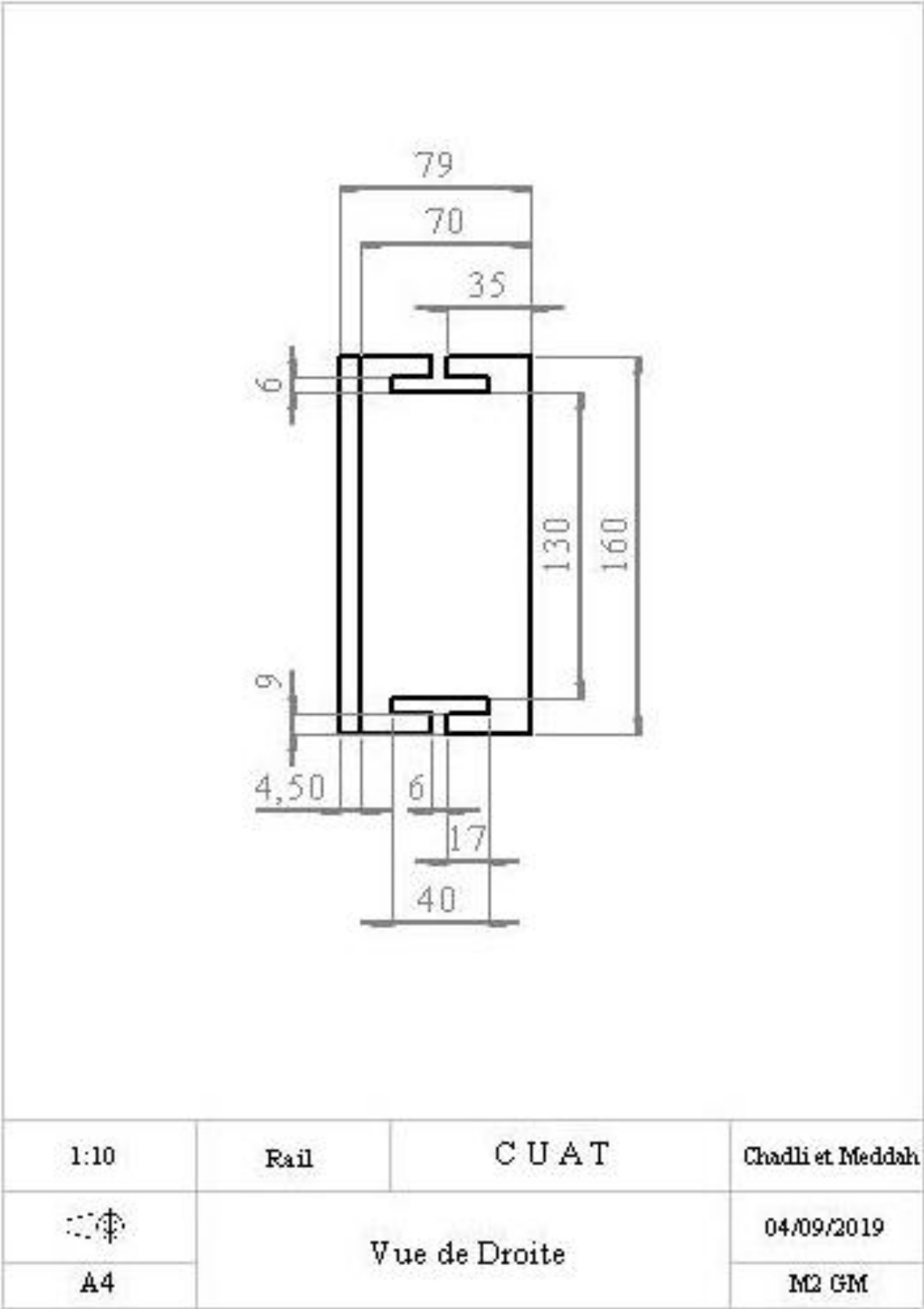


Figure III.23 : Vue de la crémaillère et de sa cage de protection.

### **III.3.5 Le châssis de la chaise monte escaliers**

Le châssis de la chaise occupe un rôle très important. En effet, cet élément supporte la chaise, le moteur et assure, avec le rail, un guidage en translation de la chaise. Le guidage en translation est assuré par quatre galets (petites roues) qui se déplacent dans une rainure faite dans la cage de protection de la crémaillère. Les dessins de définitions du châssis sont donnés par les figures III.24-28.



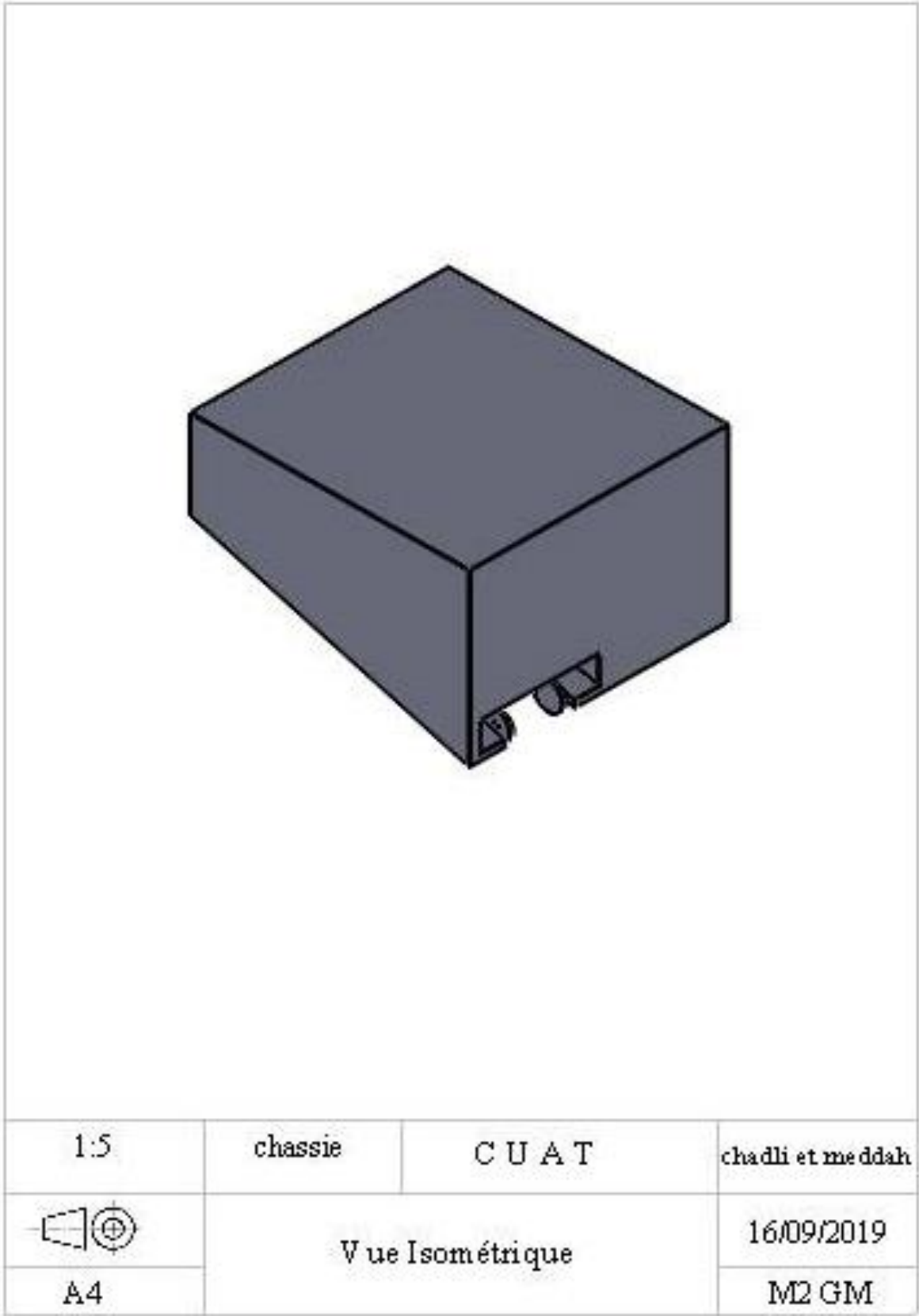


Figure III.24 : Vue isométrique du châssis.

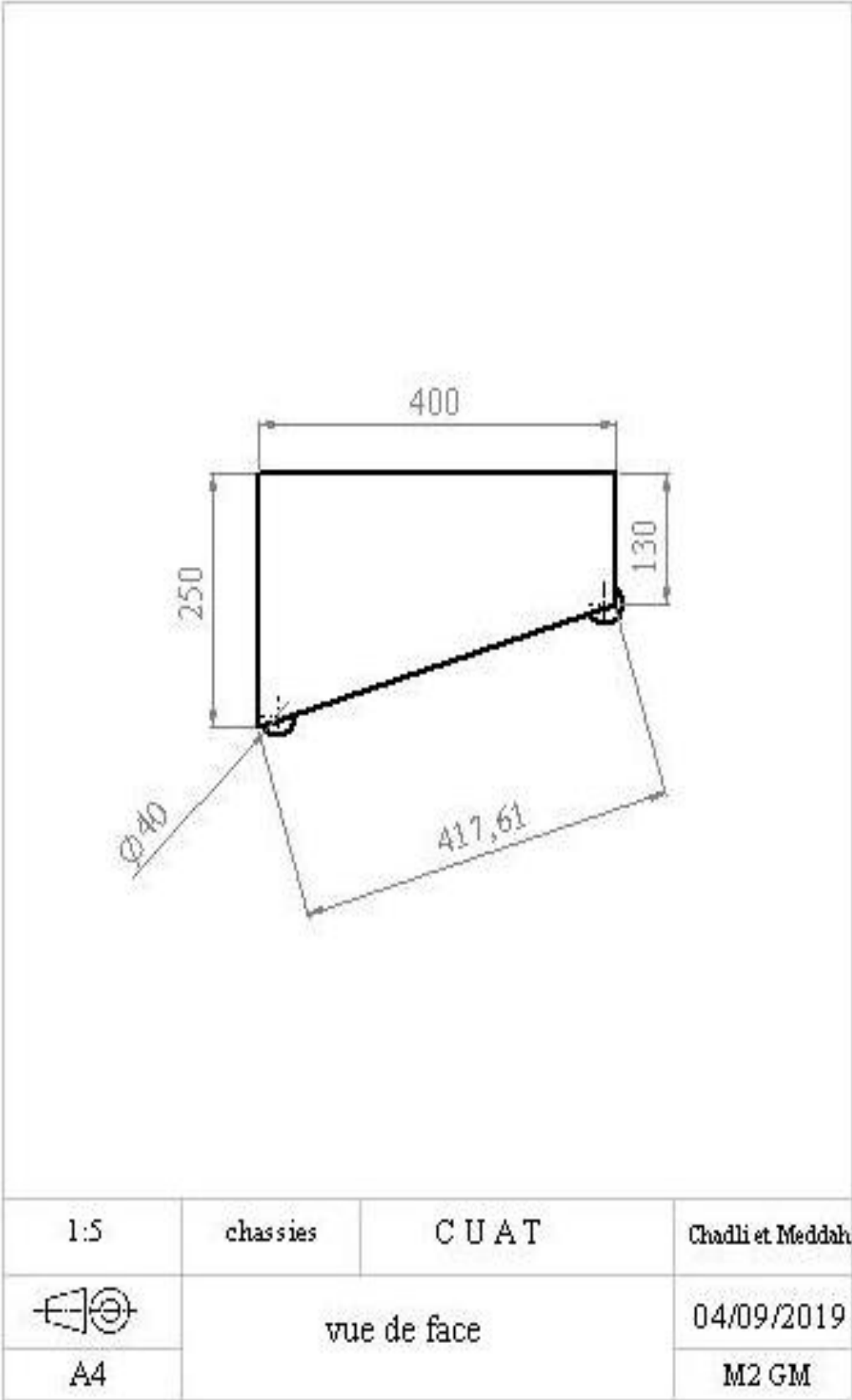


Figure III.25 : Vue isométrique du châssis.

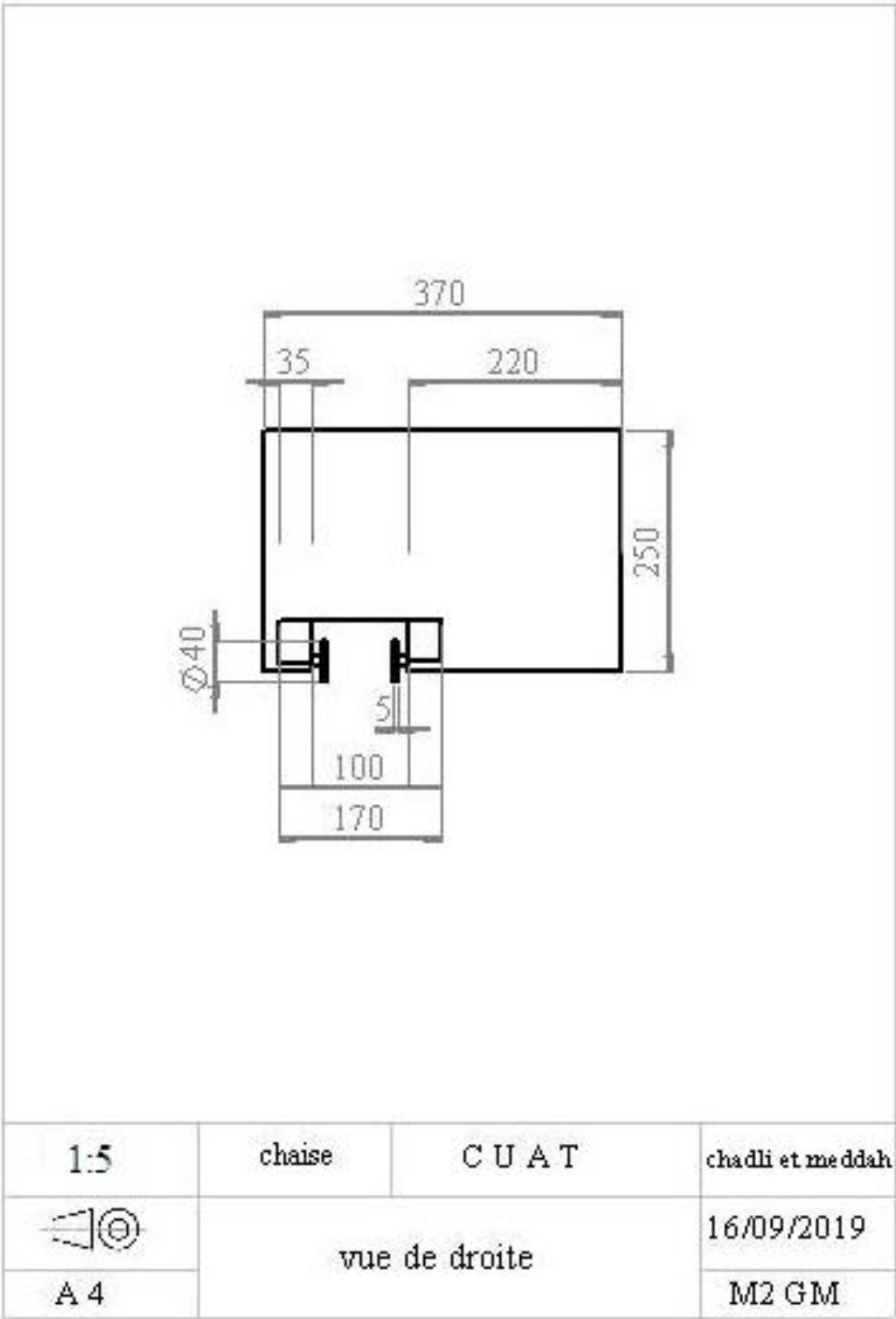


Figure III.26 : Vue de droite du châssis.

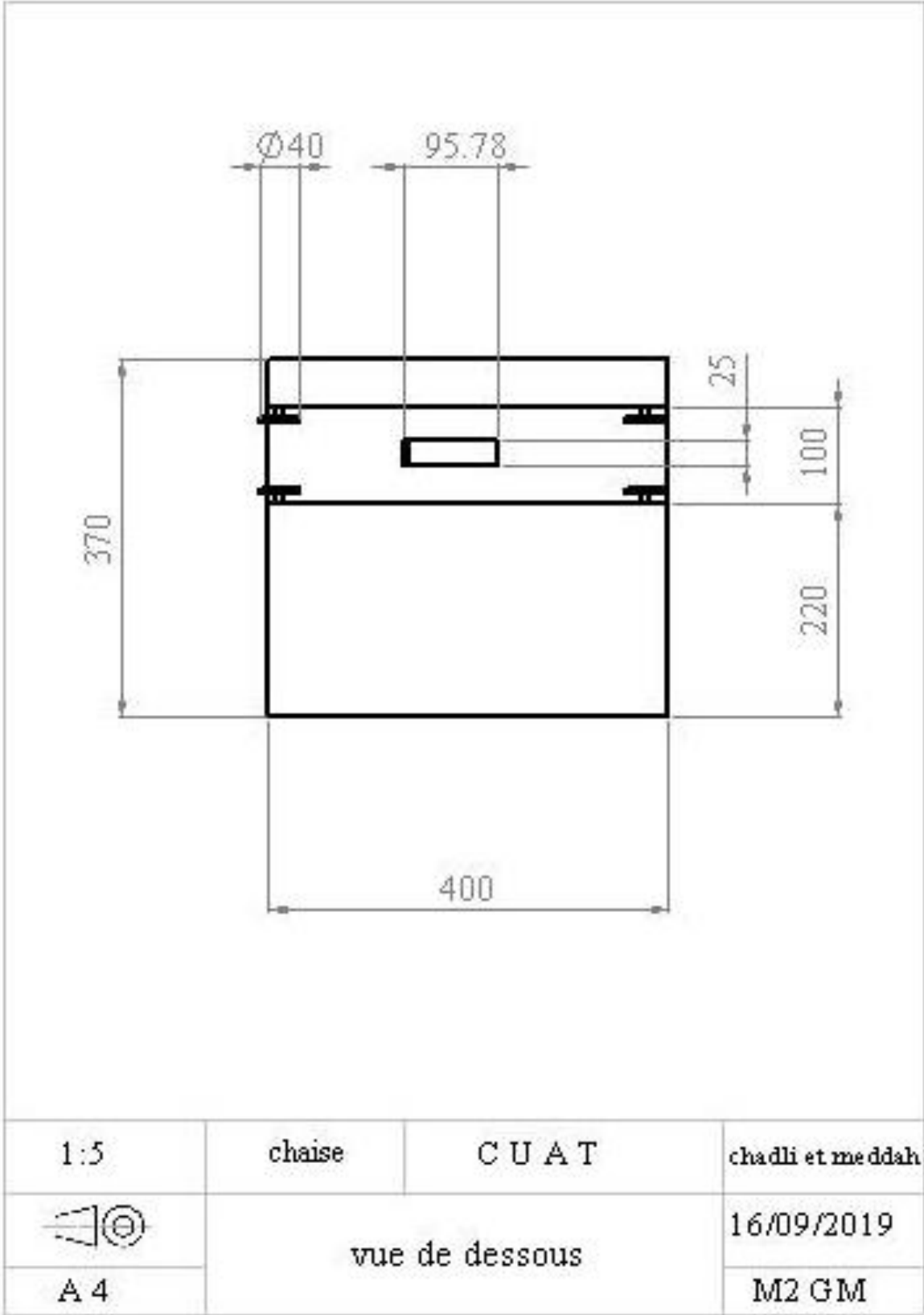


Figure III.27 : Vue de dessous du châssis.

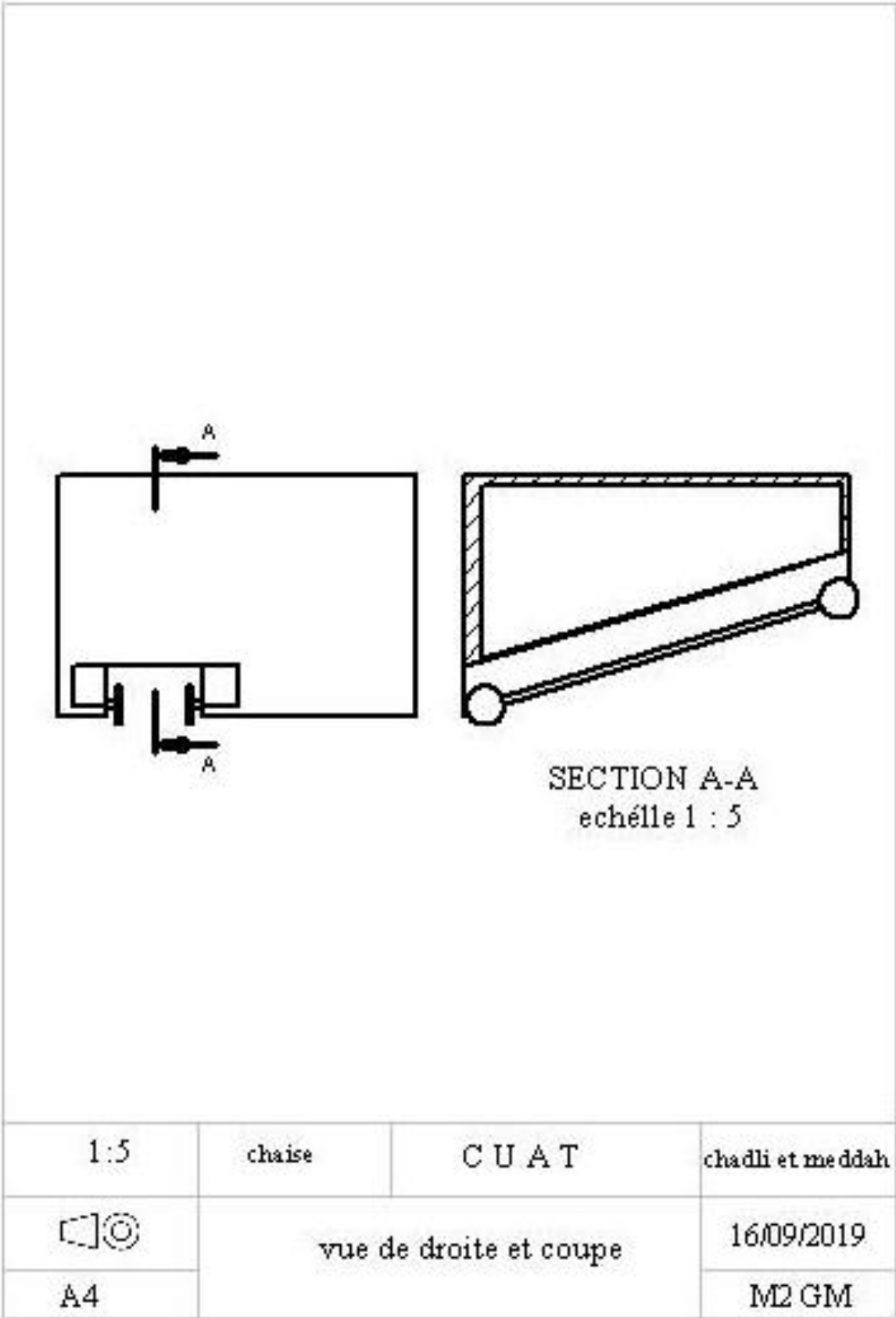


Figure III.28 : Vue de droite et de coupe du châssis.

## IV. Conclusion Générale et perspectives

Cette étude consistait à développer une chaise monte escalier pour notre centre universitaire. La solution sera utilisée par des personnes à mobilité réduite pour se déplacer d'un étage à un autre.

Nous avons réalisé une recherche bibliographique sur les solutions existantes. Nous avons constaté que les solutions actuellement sur le marché coutent chers. C'est pour cette raison que nous avons développé une solution relativement moins chère en utilisant des éléments de construction mécanique standards.

Les démarches de la conception suivies dans la présente étude sont compatibles avec la méthode APTE. Le logiciel CAO Solidworks a été employé pour la conception.

De cette étude, nous pouvons tirer les conclusions suivantes :

- Notre centre universitaire ne dispose pas actuellement de moyens techniques visant à faciliter l'accès aux étages supérieures des personnes à mobilité réduite.
- Les solutions existantes sur le marché sont trop onéreuses.
- L'utilisation de la méthode APTE dans la conception nous a facilité les démarches visant à finaliser notre produit.
- Le logiciels Solidworks nous a offert une grande liberté dans la conception et la mise en plan des différents éléments.
- Le logiciel RDM6 nous a permis de réaliser des calculs de dimensionnement rapidement et fiablement.
- Le présent projet nous a permis d'appliquer nos connaissances apprises durant notre cursus de formation notamment en RDM, CAO et conception de systèmes mécaniques.
- Cette étude était pour nous, une très bonne occasion pour nous familiariser avec les logiciels utilisés par l'ingénieur mécanicien.

### Perspectives

Cette étude, menée en quelques mois présente certainement des lacunes. Nous invitons les étudiants intéressés à améliorer cette solution de passer par les étapes suivantes :

- Approfondir et développer une solution fiable permettant de connecter électriquement la chaise durant son mouvement
- Développer un système de commande manuelle ou télécommandé pour actionner la chaise.
- Mener des calculs poussés à l'aide d'un logiciel de calcul par éléments finis.

## V. Référence bibliographique :

### Chapitre I:

[1] : [www.fauteuilmonteescalier.blogspot.com/p/quest-ce-quun-fauteuil-monte-escalier.html](http://www.fauteuilmonteescalier.blogspot.com/p/quest-ce-quun-fauteuil-monte-escalier.html)

[2] : <http://www.guide-monte-escalier.fr/fonctionnement-monte-escalier/p23.html>

[3] : [http://www.devis-monte-escalier.fr/Maintenance\\_d\\_un\\_monte-escalier.php](http://www.devis-monte-escalier.fr/Maintenance_d_un_monte-escalier.php)

[4] : <https://www.renovationettravaux.fr/monte-escalier-elevateur-avantage-inconvenients>

### Chapitre II :

[5]: Fath-EddineSemmoudAbderrahmane BelaidiIdir Belaidi, LEMM – Faculté des Sciences de l'Ingénieur Université M'HAMED BOUGARA BOUMERDES, mémoire de master« **Les méthodes d'approches en conception mécanique routinière** »

[6] :Philippe Boisseau, La conception mécanique - 2e édition, octobre 2016

[7] :<https://www.manager-go.com/gestion-de-projet/dossiers-methodes/bete-a-cornes>

[8] :<http://www.actinnovation.com/innobox/outils-innovation/bete-a-cornes>

[9] :<http://isi2nd41.e-monsite.com/pages/les-outils/l-outil-diagramme-pieuvre.html>

[10] : F. AUDRY et P. TAILLARD, "La démarche d'analyse fonctionnelle", guide du professeur, académie de Versailles, France.

[11] :[https://www.wikimeca.org/index.php/M%C3%A9thode\\_SADT](https://www.wikimeca.org/index.php/M%C3%A9thode_SADT)