



AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-memoires-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

PJT6 -PROJET DE FIN D'ETUDES

**Sujet : Conception et Fabrication d'une trottinette en bois
Rapport du projet**



Année scolaire 2012-2013

Etudiants

Antoine Lacrocq
Clémentine Legeas

Encadrants

Anis Bouali
Alain Renaud

REMERCIEMENS

Pour commencer, nous tenons à remercier nos encadrants de projet : M Bouali et M. Renaud qui nous ont proposé ce sujet original et qui nous ont accompagnés tout au long de ce projet grâce à leurs conseils pour les modélisations et les solutions techniques. Nous leurs sommes également reconnaissant de nous avoir laissé en autonomie durant une grande partie de ce projet, ce qui nous a laissé une marge de manœuvre considérable quant au choix des méthodes à appliquer et de solutions techniques.

Nous souhaitons également remercier M. Pizzi et M. Fredon pour leurs conseils vis-à-vis du comportement du matériau bois et de l'utilisation de colle dans notre prototype. Merci également à M. Eric Masson qui nous a donné accès à une réserve de bois exotique : le Padouk, que nous employons pour des besoins esthétiques.

Nous adressons de sincères remerciements au personnel de l'Atelier de l'ENSTIB, pour le matériel confiés, les conseils obtenus, leur disponibilité et leur confiance. Ces remerciements s'adressent également au personnel du CRITT pour le temps qu'ils nous ont accordé lors de la mise en place de nos essais dans la halle mécanique.

Un remerciement très spécial est adressé à M. Gaëtan Perriniaux et M. Rémi Michel pour leur collaboration de poids durant les essais. Nous adressons aussi notre sincère reconnaissance aux étudiants de l'ENSTIB ayant contribué à l'avancement de ce projet par le partage de leurs connaissances et pour les « coups de main » qu'ils nous ont fourni: M. Feron, M. Bouchard, M. Charlet, M. Le Jannou, M. Pellen, M. Cochenec, et bien d'autres encore.

Pour finir, nous nous accordons un remerciement mutuel car chacun dans ce groupe a su maintenir la motivation qui s'est instaurée au sein du groupe.

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS.....	2
INTRODUCTION.....	4
1. CAHIER DES CHARGES FONCTIONNELLES.....	5
1.1 Orientation de l'action.....	5
1.1.1 Causes et objectifs qui motivent le déclenchement de l'action.....	5
1.1.2 Situation du produit.....	5
1.1.3 Moyens et délais.....	5
1.1.4 Normes.....	6
1.2 Recherche de l'information.....	6
1.2.1 Marché visé.....	6
1.2.2 Petite histoire de la trottinette.....	6
1.2.3 La définition et la validation du besoin.....	7
1.3 Examen fonctionnel.....	8
1.3.1 Cycle de vie.....	8
1.3.2 Recensement et caractérisation des fonctions.....	8
1.4 Analyse de l'existant.....	12
1.4.1 Les trottinettes classiques.....	12
1.4.2 Les trottinettes en bois.....	15
1.4.3 Synthèse de l'analyse de l'existant et envies de l'équipe.....	17
2. CONCEPTION.....	19
2.1 Dimensionnements.....	19
2.1.1 Introduction.....	19
2.1.2 Extraits de la norme NF EN 14619.....	19
2.1.3 Notes de calculs.....	20
2.2 Conception Assistée par Ordinateur.....	29
2.2.1 Exigences de la norme.....	29
2.2.2 Mises en plan de la trottinette en bois.....	29
3. FABRICATION.....	35
3.1 Gammes de fabrication.....	35
3.2 Etude de prix.....	35
3.3 Le prototype réalisé.....	37
4. ESSAIS ET VALIDATION DU PROTOTYPE.....	40
4.1 Les essais mécaniques.....	40
4.1.1 Essai n°1 : Effort surfacique sur la plateforme.....	40
4.1.2 Essai n°2 : Premier effort ponctuel perpendiculaire à la colonne de direction ..	41
4.1.3 Essai n°3 : Second effort ponctuel perpendiculaire à la colonne de direction ...	41
4.2 La validation.....	42
5. CONCLUSION.....	43
6. ANNEXES.....	44
6.1 Extraits de la norme NF EN 14619.....	44
6.2 Dessins d'ensemble et mises en plan de la trottinette.....	45
6.3 Gammes de fabrication des pièces.....	46
7. RESUME.....	47

INTRODUCTION

Le Projet de Fin d'Etude (PFE) est un projet que les étudiants de 3^{ème} année du cycle ingénieur doivent mener. Les sujets proposés sont relativement diverses, ce qui permet à chacun d'être intéressé par l'un d'entre eux.

Durant ce projet, les étudiants doivent faire usage de leurs connaissances et d'un travail en binôme et en autonomie. Le présent rapport fait office de présentation du travail réalisé sur le sujet choisi : la conception et la fabrication d'une trottinette en bois. Ce rapport est accompagné d'une soutenance orale.

Notre groupe de projet s'est intéressé au projet de la conception et de la fabrication d'une trottinette en bois pour plusieurs raisons. L'originalité du projet est la première des raisons. C'est également un projet qui relève d'un certain challenge car nous devons penser à intégrer le matériau bois, avec toute sa complexité, à un système relativement simple qu'es la trottinette.

Bonne lecture.

1. CAHIER DES CHARGES FONCTIONNELLES

1.1 Orientation de l'action

L'orientation de l'action permettra au lecteur de comprendre le but de l'étude et les solutions qui seront proposées : cette partie présente les objectifs et limites de l'action.

1.1.1 Causes et objectifs qui motivent le déclenchement de l'action

a. Causes

Récemment, les étudiants de l'ENSTIB (toutes orientations et promotions confondues) ont développé un fort intérêt pour les trottinettes, car celles-ci permettaient un déplacement rapide et ludique au sein de l'école. Cet attrait a fait naître la volonté de développer une trottinette en bois, disposant des mêmes caractéristiques qu'une trottinette classique.

Dans un contexte de développement durable, la trottinette à développer doit entrer dans une logique d'éco-conception, particulièrement vis-à-vis des matériaux habituellement utilisés. Le fait de développer ce produit dans l'enceinte de « l'école du bois » insiste forcément à proposer une trottinette utilisant un maximum de matériau bois.

b. Objectifs

Le principal objectif de cette étude est de produire « une trottinette qui roule », avec comme objectifs adjacents :

- Développer une trottinette en bois capable de reproduire ce que fait une trottinette classique,
- Développer un produit où le bois devra être présent à environ 70% (masse ou volume),
- Développer un produit aux mêmes gammes de prix et de poids des trottinettes habituelles.

1.1.2 Situation du produit

Il existe déjà des trottinettes, le plus souvent en matériaux métalliques, utilisable pour des petits trajets ou promenades, voire pour du freestyle. Lorsque les trottinettes sont en bois, elles sont, soient des jouets, soient des objets d'art ou de design. Les encadrants du projet ont une volonté d'obtenir une trottinette en bois fonctionnelle, développée grâce aux outils disponible à l'ENSTIB.

1.1.3 Moyens et délais

- Les Moyens :
 - o Matériel : le bois, les machines-outils de l'ENSTIB, les bancs d'essai, atelier,
 - o Financier : le produit doit avoir un prix similaire à celui des trottinettes classiques, avec une limite fixée aux environs de 300€.

- Les délais – un prototype devra être fabriqué avant début janvier 2013 :
 - o 21/01/2013 : Rendu du résumé décrivant le projet
 - o 15/02/2013 : Rendu du présent rapport de projet
 - o 18 au 22/02/2013 : Soutenance du projet de fin d'étude avec présentation de la trottinette développée

1.1.4 Normes

- **NF EN 14619** : *Équipement de sports à roulettes – Trottinettes – Exigences de sécurité et méthodes d'essai.*

Cette norme devra être prise en compte tout au long du projet.

- **ISO 14062** : Management environnemental – intégration des aspects environnementaux dans la conception et le développement de produits.

Cette seconde norme pourrait être étudiée de façon approfondie en vue d'une industrialisation du produit « la trottinette en bois ». Le but serait de réaliser une gamme industrialisable de la trottinette et d'observer si cette gamme respecte la norme ISO 14062.

1.2 Recherche de l'information

1.2.1 Marché visé

Relativement à la partie 1.4, concernant l'analyse de l'existant, nous dégageons deux types de marchés – susceptibles d'influencer l'aspect final du prototype :

- Le premier marché porterait sur une trottinette à l'aspect classique, dont le modèle serait inspiré des trottinettes en aluminium, pliable et possédant des roues relativement petites.
- Celui de l'adulte nécessitant des déplacements réguliers, on s'orienterait alors vers un modèle de trottinette relativement original, c'est-à-dire disposant d'une roue avant comparable à celle des vélos taille adulte.

Le public visé reste à l'heure actuelle, les étudiants de l'ENSTIB, avec une possibilité de production plus importante après validation du prototype produit. Un projet d'ouverture sur la ville d'Epinal a été énoncé au long de notre étude.

1.2.2 Petite histoire de la trottinette

La trottinette (ou parfois « patinette ») fut à l'origine un jouet destiné aux enfants issus de familles très aisées entre les années 1910 et 1930. D'après la figure 1, on peut remarquer que le modèle de la trottinette a évolué : au départ à 3 roues puis avec 2 pneus ; en bois puis en fer ; pour enfin ressembler à celles de nos jours, munies de freins.

Au cours des années 80, on constate l'apparition des trottinettes motorisées (moteurs à essences au départ, puis électriques).

Durant cette même période, la trottinette devient également une mode aux USA : les premières compétitions (cross ou endurance) sont organisées.

La trottinette en aluminium fait son apparition début des années 90 : le marché de ce produit en fut bouleversé. En effet, le développement de la trottinette pliable devient rapidement un moyen de locomotion à succès, d'abord au Japon puis dans le monde entier.

Aujourd'hui, la trottinette est utilisée dans les villes et campagnes, par les enfants ou les adultes, pour de nombreuses activités : promenade, déplacement en ville, free-style

1.2.3 La définition et la validation du besoin

a. Bête à cornes

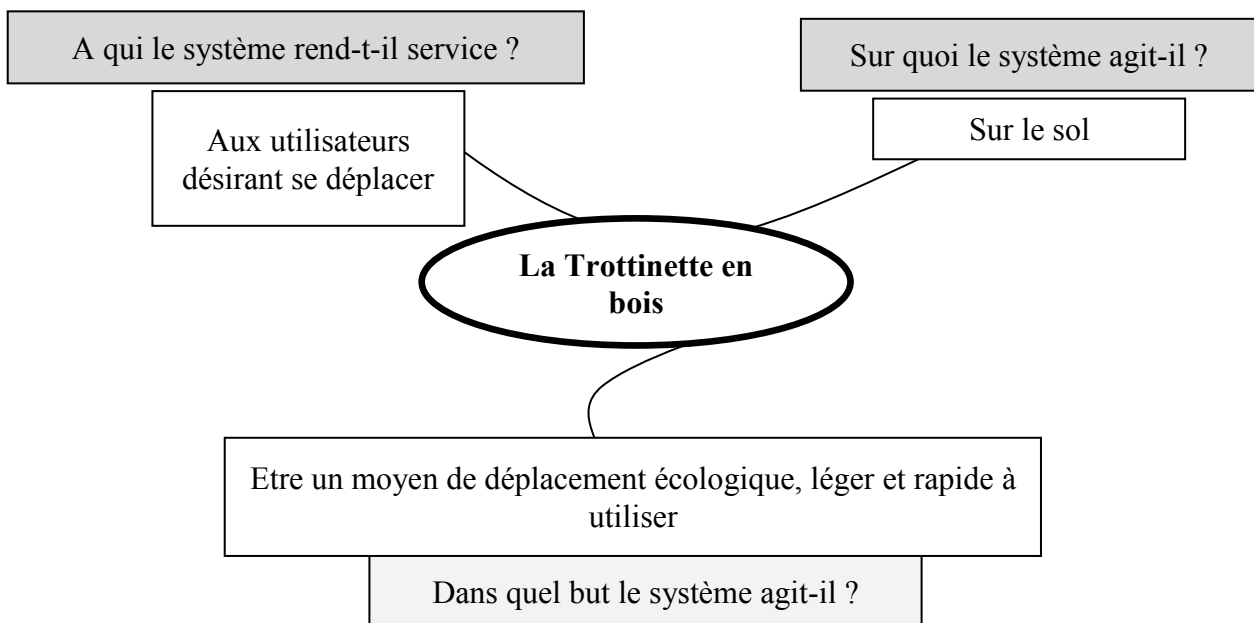


Figure 1 : Bête à cornes de la Trottinette en bois

b. Contrôle de validité

Pourquoi le système existe-t-il ?

Le produit permet à l'utilisateur de se déplacer de manière rapide, ludique et autonome, sans demander une activité musculaire importante.

Pourquoi le besoin existe-t-il ?

Chacun a le besoin de se déplacer, pour des raisons diverses. Proposer un outil ludique et simple à utiliser est une bonne alternative à la marche à pied qui peut être considérée comme lente, contraignante voire banale.

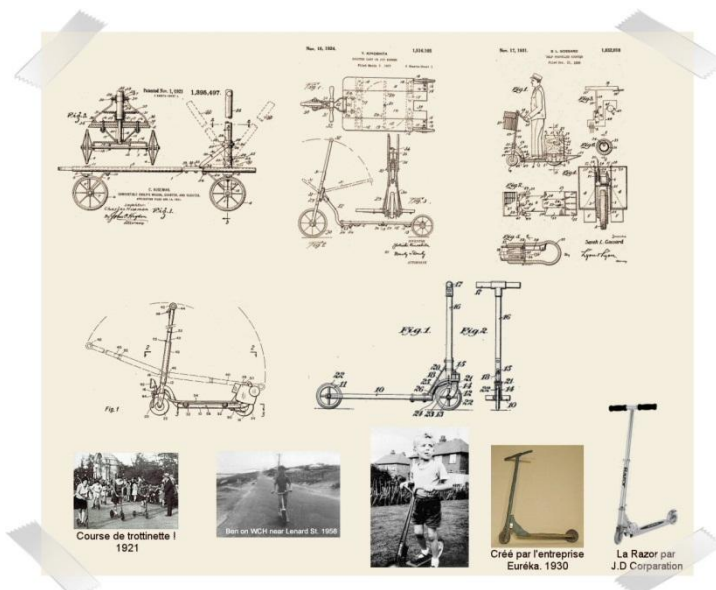


Figure 2 : Dessins de principe des premières trottinettes

Quelles sont les causes possibles d'évolution ou de disparition du besoin ?

Les évolutions éventuelles peuvent être :

- L'utilisateur peut être désireux de vouloir se déplacer plus rapidement, sans avoir à fournir le moindre effort,
- L'utilisateur peut à contrario avoir envie d'utiliser uniquement la marche à pied.

La disparition du besoin de se déplacer ne peut être envisagée, à moins que tout nous soit à porter de main à l'instant où on le désire... Nous entrerions ainsi dans un univers utopique.

1.3 Examen fonctionnel

1.3.1 Cycle de vie

En s'inspirant des contraintes appliquées aux matériels sportifs en bois, produits par d'importantes compagnies comme Décathlon, nous souhaitons proposer un produit avec une durée de vie minimale de 2 ans, pour une durée de vie de 10 ans dans les conditions normales d'utilisation. Une augmentation de ce cycle de vie peut être envisageable dans une logique de recyclage des éléments composant la trottinette en bois. Quant au cycle d'utilisation du produit, il sera décrit comme suit :

« *Rangement-transport-dépliage-utilisation-plier-transport-rangement* »

Les étapes de transport et de pliage ou dépliage de ce cycle peuvent être optionnelles, car la trottinette peut rester déployée entre deux utilisations et ranger contre un mur ou dans un parc à vélo.

1.3.2 Recensement et caractérisation des fonctions

a. Recensement des fonctions : Diagramme pieuvre

Le diagramme ci-dessous, nommé le « diagramme pieuvre », recense les inter-acteurs de la trottinette ainsi que les fonctions et contraintes reliant le produit à ses inter-acteurs.

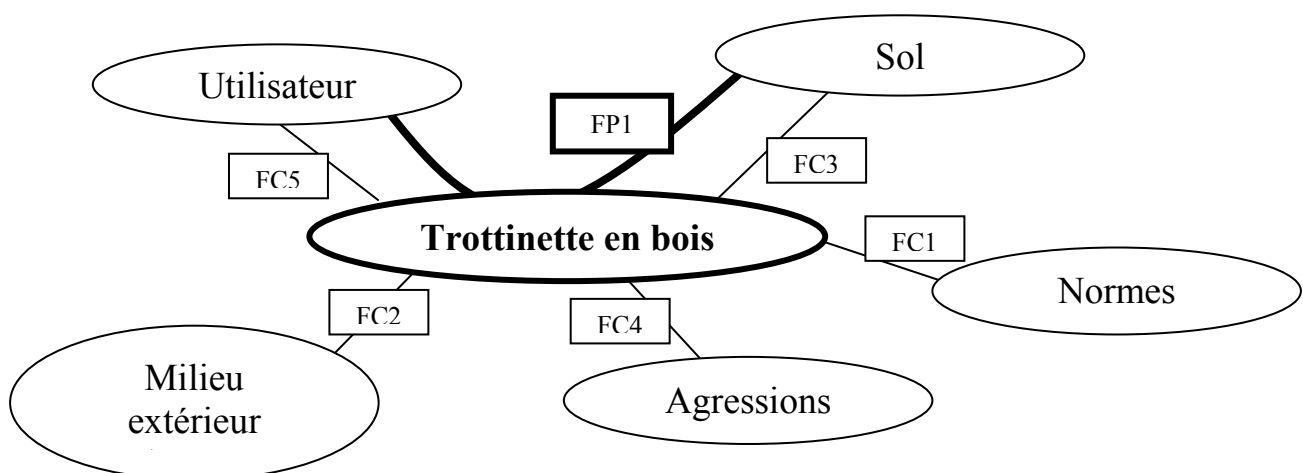


Figure 3 : Diagramme pieuvre de la Trottinette en bois

Liste des fonctions – la trottinette en bois doit :

FP1 : Permettre à l'utilisateur de se déplacer

FC1 : Etre conforme aux normes en vigueur

FC2 : Etre adapté au milieu extérieur d'usage

FC3 : Eviter la transmission des vibrations dues à la rugosité du sol

FC4 : Résister aux agressions

FC5 : Etre simple d'utilisation et adapter à la morphologie de l'utilisateur

Afin de définir convenablement les fonctions relatives à la conception de la trottinette en bois, il est nécessaire de caractériser les inter-acteurs du produit – cf tableau 1 – et enfin, caractériser les fonctions (tableau 2), ce qui orientera nos choix en matière de solutions techniques.

b. Caractérisation et validation des inter-acteurs et des fonctions

Inter-acteur	Caractéristiques		Flexibilité
	Critères	Niveau	
Utilisateur	Force de portée	10 ± 1 kg	F0
	Age	Supérieur à 12 ans	F1
	Poids ¹	Supérieur à 35 kg	F1
	Taille ¹	Supérieur à 1m45	F1
Sol	Texture	Lisse ou rugueuse	F1
	Matériaux	Bitume, goudron, macadam	F2
	Solidité	Rigide	F0
Milieu extérieur d'usage	Inclinaison du sol	10 %	F2
	Planéité du sol	Bosses (3 cm)	F2
Agression	Température ²	-20°C < T < 40°C	F1
	Eau	Pluie, flaque	F1
	Hygrométrie	Supérieure à 80%	F1
	Vent	20 km/h	F1
	Poussières	Oui	F1
	UV – exposition au soleil	10 H < exposition < 16 H	F1
	Insectes xylophages	Oui	F1
Normes	NF EN 14619³ <i>Équipement de sports à roulettes – Trottinettes</i>	Respect de la norme, avec application des essais présentés	F0

¹ Sources : Courbes de poids et taille des garçons de 0 à 22 ans.

² Sources : Météo France – Climatologie des Vosges

³ Normes NF EN 14619 et ISO 14062– extraits disponibles en annexe

	ISO 14062³ Management environnemental – intégration des aspects environnementaux dans la conception et le développement de produits	Etude de la norme, en vue d'une suivit de celle-ci dans le cadre d'une industrialisation du produit	F1
--	--	--	----

Tableau 1 : Caractérisation et validation des fonctions liées à la Trottrnette en bois

Fonction	Critères d'appréciation	Niveau	Flexibilité
FP1 : Permettre à l'utilisateur de se déplacer	Système de pilotage	Guidon et poignée	F0
	Système d'avance	Roues	F0
	Propulsion	Activité musculaire et inertie	F0
	Surface d'appui	Plateforme d'environ 0,05 m ²	F2
	Hauteur	Verticale : 900 mm	F1
	Longueur	Horizontale : 900 mm	F1
	Largeur	Horizontale : 150 mm	F1
FC1 : Etre conforme aux normes en vigueurs	Sécurité Écoconception	Conforme à NF EN 14619 Conforme à ISO 14062	F0 F2
FC2 : Etre adapté au milieu extérieur d'usage	Stabilité structurelle Stabilité dimensionnelle Esthétique	3 appuis Matériau stable Forme de trottrnette	F1 F0 F0
FC3 : Eviter la transmission des vibrations dues à la rugosité du sol	Absorption des vibrations Souplesse de la structure	Roues en caoutchouc Amortissement Matériau élastique	F1 F2 F2
FC4 : Résister aux agressions	Résister à l'eau Résister aux insectes xylophages Résister aux variations d'humidité et de température Résister aux UV	Matériau durable Matériau stable Matériau imprégnable Traitement de surface	F0 F1 F1
FC5 : Etre simple d'utilisation et adapter à la morphologie de l'utilisateur	Durée pliage / dépliage Nombre de personnes Utilisation d'outils Maniabilité Confort Poids	30 secondes L'utilisateur Nul Poignée de préhension Dimensions des éléments Inférieur à 10 kg	F1 F1 F0 F1 F1 F0

Tableau 2 : Caractérisation et validation des fonctions liées à la Trottrnette en bois

c. Ordonnement des fonctions

Ce schéma permet de comprendre comment les fonctions s'agencent les unes par rapport aux autres. Certaines fonctions découlent directement de la mise en œuvre d'une autre fonction ; d'autres sont indépendantes et demanderont plus d'investissement.

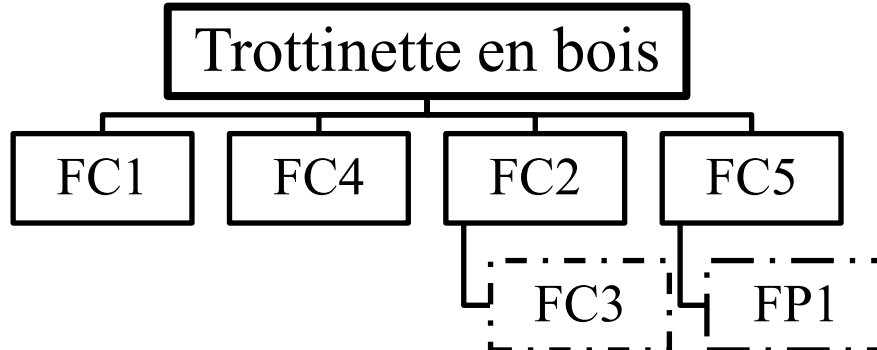


Figure 4 - Organigramme d'ordonnement des fonctions

d. Hiérarchisation des fonctions

La hiérarchisation des fonctions consiste à comparer les fonctions entre elles afin de donner une représentation de leur importance dans le produit. On représente cette hiérarchisation par un tableau de tri croisé, où une pondération de l'importance d'une fonction par rapport à une autre est définie comme suivant :

- 1, fonction d'importance légèrement supérieure ;
- 2, fonction d'importance supérieure ;
- 3, fonction d'importance très supérieure.

	FC1	FC2	FC3	FC4	FC5	Total	%	Classement
FP1	FC1 = 1	FP1 = 3	FP1 = 2	FP1 = 2	FP1 = 1	8	34,8	1- FP1
	FC1	FC1 = 2	FC1 = 2	FC1 = 1	FC1 = 1	7	30,4	2- FC1
		FC2	FC3 = 1	FC4 = 2	FC5 = 1	0	0	3- FC4
			FC3	FC4 = 1	FC3 = 1	2	8,7	4- FC3
				FC4	FC4 = 2	5	21,7	5- FC5
					FC5	1	4,3	6- FC2
						23	100	Total

Tableau 3 : Hiérarchisation des fonctions, par priorité

1.4 Analyse de l'existant

1.4.1 Les trottinettes classiques

a. La valise trottinette

C'est le résultat de la Coopération entre fabricant de bagages américain Samsonite et le Suisse Micro Mobility.

Prix (€)	299
Masse (kg)	5
Dimensions	26L de rangement
Matériaux	Plastique et alu
Marché	Adulte
Divers	/
Avantages	Innovation intéressante
Inconvénients	Taille des roues assez faibles, n'est pas utilisable sur beaucoup de surfaces.



Tableau 4 : Caractéristiques de la trottinette - valise

b. La trottinette freestyle

Prix (€)	100 à 400
Masse (kg)	3
Dimensions	/
Matériaux	Aluminium
Marché	Jeunes, utilisant les skate-parks
Divers	/
Avantages	Solidité importante en raison des chocs et contraintes mécaniques lors des sessions en skate-park.
Inconvénients	Non adapté pour les déplacements

Tableau 5 : Caractéristiques de la trottinette Free Style



c. La trottinette standard

Cette trottinette, que nous qualifierons de standard est pour la majeure partie des gens l'image première que l'on a d'une trottinette. Les données suivantes proviennent d'une moyenne d'une vingtaine de trottinettes de la même gamme.



Prix (€)	100
Masse (kg)	4 à 5
Dimensions	H : 90cm
Matériaux	Aluminium
Marché	Enfant adolescent
Divers	Peut se replier
Avantages	Trottinette légère avec un encombrement réduit.
Inconvénients	La faible taille des roues ne permettent pas de se déplacer sur tous types de terrains.

Tableau 6 : Caractéristiques de la trottinette standard

d. Kickbike

Prix (€)	277
Masse (kg)	10
Dimensions	L : 158 cm H: 107cm
Matériaux	Acier
Marché	Adulte
Divers	Taille jantes : Av:26pc Ar:16pc
Avantages	Trottinette conçue pour les déplacements réguliers et diverses balades. Convient à un nombre important de terrains. Confortable. Frein vbrake avant et arrière.
Inconvénients	Poids importants et encombrement également.



Tableau 7 : Caractéristiques de l'hybride trottinette – vélo : Kickbike

e. Mibo confort

Prix (€)	279
Masse (kg)	8
Dimensions	L : 116cm H: 80cm
Matériaux	Acier
Marché	Adulte et enfant
Divers	Jantes en 12 pouces
Avantages	S'adapte à de nombreux terrains. Peut se plier.
Inconvénients	Hauteur de guidon un peu basse



Tableau 8 : Caractéristiques de la trottinette Mibo confort

f. Gravity pulka

Modèle comparable au kickbike mais utilisable sur tous les terrains. Ce modèle possède des freins à disques à l'avant et à l'arrière et également une fourche à l'avant avec 100mm de débattement.

Prix (€)	595
Masse (kg)	11.5
Dimensions	/
Matériaux	Cadre aluminium
Marché	Adulte sport extérieur
Divers	Jantes : Av 26pc Ar 20pc
Avantages	Peut être utilisé sur tous types de terrains
Inconvénients	Poids important



Tableau 9 : Caractéristiques de la trottinette - VTT : Gravity pulkka

g. Trottinette sportive Puki

Prix (€)	149
Masse (kg)	/
Dimensions	L : 116cm H: 90cm
Matériaux	Acier
Marché	Enfant, adolescent
Divers	Jantes 12 pc, freins arrière Vbrake
Avantages	Peut être utilisé sur d nombreux types de terrains
Inconvénients	/



Tableau 10 : Caractéristiques de la trottinette sportive Puki

1.4.2 Les trottinettes en bois

h. La trottinette en contreplaqué

Il s'agit plus d'un concept que de quelque chose réellement utilisable.

Prix (€)	/
Masse (kg)	/
Dimensions	/
Matériaux	Panneaux bois
Marché	Concept
Divers	/
Avantages	Fabrication dans un seul panneau, gain important de productivité
Inconvénients	Ce modèle est difficilement utilisable de manière régulière



Tableau 11 : Caractéristiques de la trottinette en contreplaqué

i. Le jouet pour enfant

C'est l'un des produits qui revient les plus souvent lorsque l'on parle de trottinette en bois. Cependant il ne correspond pas à notre projet.

Prix (€)	27
Masse (kg)	NC
Dimensions	NC
Matériaux	Bois et caoutchouc pour les roues
Marché	Enfant
Divers	/
Avantages	/
Inconvénients	/



Tableau 12 : Caractéristiques de la trottinette pour enfant

j. La trottinette Naoscoot

Prix (€)	/
Masse (kg)	/
Dimensions	/
Matériaux	Bois et alu
Marché	Enfant, design
Divers	/
Avantages	Utilisation du bois remarquable, en fait un objet de design plus qu'un produit utilisable.
Inconvénients	Marché pour enfant, ne nous concerne peu.



Tableau 13 : Caractéristiques de la trottinette concept Naoscoot

k. La trottinette en bambou T2o

Ce projet sorti de l'agence Fritsch-Durisotti à Paris se situe entre la trottinette et le vélo. Ce produit n'est pas encore commercialisé.

Prix (€)	élevé
Masse (kg)	/
Dimensions	L :180 H :120
Matériaux	Bambou, liège, acier et aluminium
Marché	Adulte
Divers	Possède un moteur électrique
Avantages	Un pourcentage important de bois est utilisé. Mode de déplacement novateur.
Inconvénients	Les mêmes que pour un vélo. Encombrement important.



Tableau 14 : Caractéristiques de la trottinette en bambou, hybride vélo

1.4.3 Synthèse de l'analyse de l'existant et envies de l'équipe

L'analyse de l'existant présentée, ainsi que des études annexes, nous permettent d'établir les caractéristiques suivantes de la future trottinette en bois :

	Synthèse de l'existant	Projet
Prix moyen (€)	120	300
Masse moyenne [kg]	5	5 à 7
Dimensions moyennes (mm)	Longueur : 800 Largeur : 100 (Plateforme) Largeur : 400 (Guidon) Hauteur : 900	Longueur ⁴ : 820 Largeur ⁵ : 120 (Plateforme) Largeur : 320 (Guidon) Hauteur ⁶ : 900
Matériaux	Roues : Uréthane Cadre : Aluminium	Bois et dérivée
Roulements	ABEC 5 ou ABEC 7	ABEC 5

Tableau 15 : Synthèse de l'analyse de l'existant et caractéristique de la future trottinette en bois

⁴ Longueur mesurée entre les extrémités externes des deux roues

⁵ Largeur au milieu de la plateforme

⁶ Hauteur mesurée depuis le sol jusqu'au-dessus guidon

Les caractéristiques choisies pour la trottinette sont basées sur les objectifs de notre étude (matériau et prix). Concernant les dimensions, nous nous inspirons d'un modèle de trottinette présent sur le site de l'Enstib.



Figure 5: Trottinette modèle Oxelo - source d'inspiration pour notre projet

2. CONCEPTION

2.1 Dimensionnements

2.1.1 Introduction

Le dimensionnement de la trottinette doit être conforme à la norme NF EN 14619, en accord avec ce qui a été présenté précédemment. Notre démarche de dimensionnement s'inscrit en 2 étapes, précédées d'une présentation succincte de la norme en question. Les résultats sont présentés par les notes de calcul 1 et 2 ci-après.

La première étape consiste en un pré-dimensionnement de la trottinette à l'aide du logiciel RDM6. L'idée est simple : nous partons de la modélisation d'une trottinette existante et nous remplaçons le matériau acier par le matériau bois. Notre objectif est de déterminer, par ce pré-dimensionnement, les nouvelles sections de la trottinette en bois sachant quelles doivent être résistantes aux sollicitations préconisées dans la norme.

La seconde étape est un dimensionnement complet – via des éléments finis – de la trottinette en bois une fois celle-ci modélisée à l'aide d'un logiciel de CAO (ici, Inventor). La modélisation de la trottinette et les différentes pièces la composant sont présentées dans la partie suivante. Ce second dimensionnement – post-modélisation – a pour objectif de valider le pré-dimensionnement réalisé sous RDM6, en restant sous les mêmes sollicitations imposées par la norme.

2.1.2 Extraits de la norme NF EN 14619

a. Généralités

La norme présente tout d'abord la composition d'une trottinette par ses éléments constitutifs: 1-Guidon, 2-Poignées, 3-Bouchon, 4-Dispositif de verrouillage, 6-Colonne de direction, 7-Palier de direction, 8-Tube de direction, 9-Frein, 12-Roue, 14-Mécanisme de pliage, 15-Fourche.

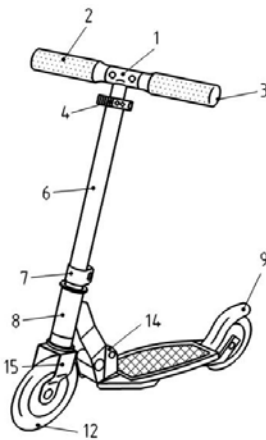


Figure 6 : Composants de la trottinette

Selon les fonctions qu'elle offre, une trottinette n'est pas tenue de disposer de l'ensemble de ces éléments. Le mécanisme de pliage et le mécanisme télescopique du guidon ne sont pas obligatoires.

b. Méthodes d'essais

La norme préconise notamment les 5 essais suivants :

- Adhérence des roues
- Charge statique sur le repose-pied et la colonne de direction
- Chute d'une masse
- Choc contre la roue avant
- Endurance de la trottinette

A ce stade de l'étude, nous savions que nous utiliserons des roues existantes, provenant de Décathlon, ayant déjà fait leurs preuves sur des systèmes existants. Le premier essai n'est donc pas à réaliser. Les essais de chute de

masse, de chocs contre la roue avant et d'endurance correspondent à une caractérisation du cycle de vie de la trottinette. Après discussion avec les encadrants, ces essais sont facultatifs au dimensionnement. Aussi, nous nous focalisons sur les essais de charges statiques pour le dimensionnement. **Les essais sont valides tant que la trottinette n'est pas détériorée par rupture d'un élément.**

2.1.3 Notes de calculs

a. Les essais de charge statique

Les efforts statiques sont à appliquer sur le repose-pied et la colonne de direction (le lecteur est invité à lire la norme afin de mieux comprendre les essais) :

- Le repose-pied doit pouvoir recevoir une charge de 200kg, en son centre, sur une surface de 100*100 mm.
- La colonne de direction doit être étirée au maximum (si un mécanisme télescopique est présent) et être fixée verticalement par rapport au sol. Une charge de 50kg doit être accrochée en son centre : une fois quand la roue avant est fixée, une autre fois pour la roue arrière.

b. Note n°1 : Pré-dimensionnement de la trottinette

Identification et géométrie du modèle :

Le dimensionnement s'est effectué sur le logiciel RDM6, module ossature.

Nous avons choisis d'utiliser les principes de l'Eurocode 5 pour pré-dimensionner notre trottinette, on ne parle pas alors d'essence de bois mais de classe mécanique. Nous avons débuté nos recherches en faisant varier la classe mécanique pour chacun des éléments et en leur attribuant la même classe mécanique à tous les matériaux. Puis, une fois la classe définie, nous avons fait varier les sections.

Chaque modèle a été vérifié pour quatre paramètres de contraintes.

- La contrainte de flexion : $\sigma_{m,d} \leq \left(\frac{k_{mod} f_{m,k}}{\gamma_M} \right)$
- La contrainte de compression : $\sigma_{c,0,d} \leq k_{c,i} \left(\frac{k_{mod} f_{c,0,k}}{\gamma_M} \right)$

Avec $k_{c,i} = 0$ car il n'y a pas de risque de flambement dans aucunes des pièces.

- La contrainte de traction : $\sigma_{t,0,d} \leq \left(\frac{k_{mod} f_{t,0,k}}{\gamma_M} \right)$
- La contrainte de cisaillement : $\tau_{v,d} = \frac{3 V_{max}}{2 bh} \leq \left(\frac{k_{mod} f_{v,k}}{\gamma_M} \right)$

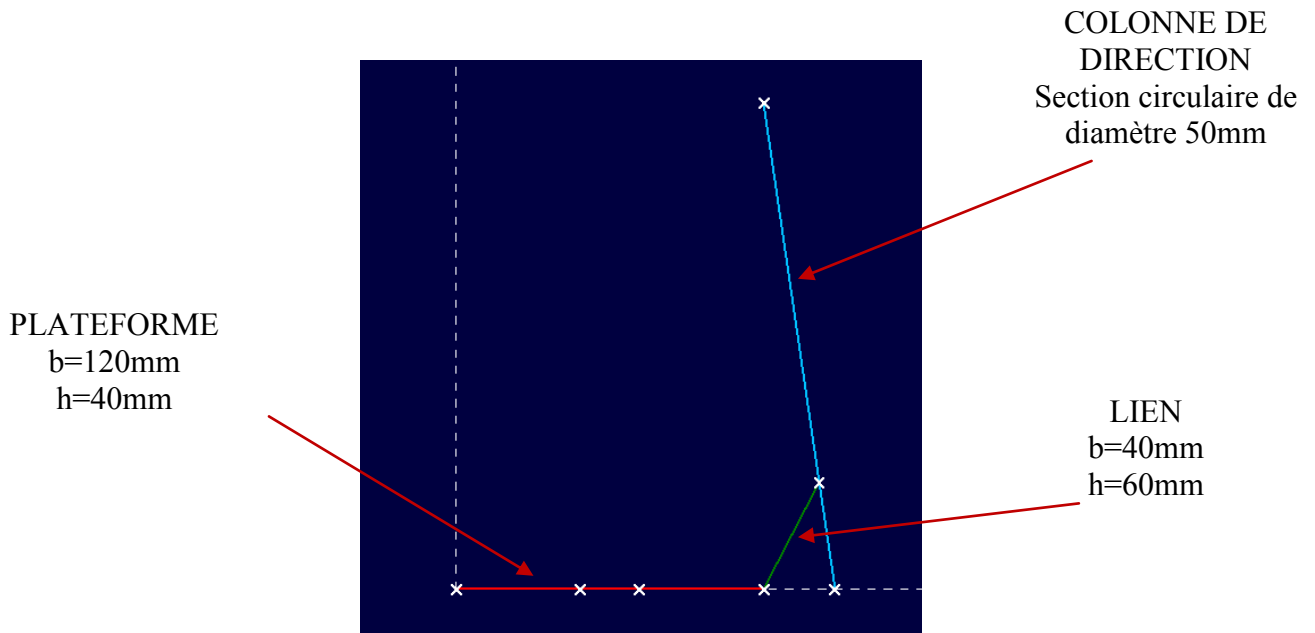


Figure 7: Modélisation de la trottinette sur RDM6

1^{ère} étape, variation de la classe mécanique :

Les 3 cas de charges cités dans les graphiques suivants sont les cas imposés par la norme.

Cas n°1	Cas n°2	Cas n°3
200kg vertical sur la plateforme	50 kg horizontal sur l'avant au centre de la colonne de direction	50 kg horizontal sur l'arrière au centre de la colonne de direction

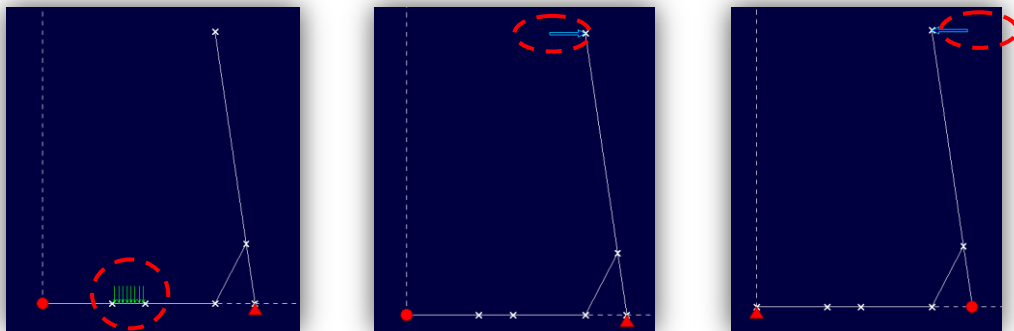


Figure 8 : Modélisation des 3 essais statiques sous RMD6

Les graphiques suivants nous donnent la contrainte maximale que nous avons dans la trottinette pour chaque cas de charges et la compare avec sa contrainte admissible pour différentes classe mécanique allant du C18 au C40.

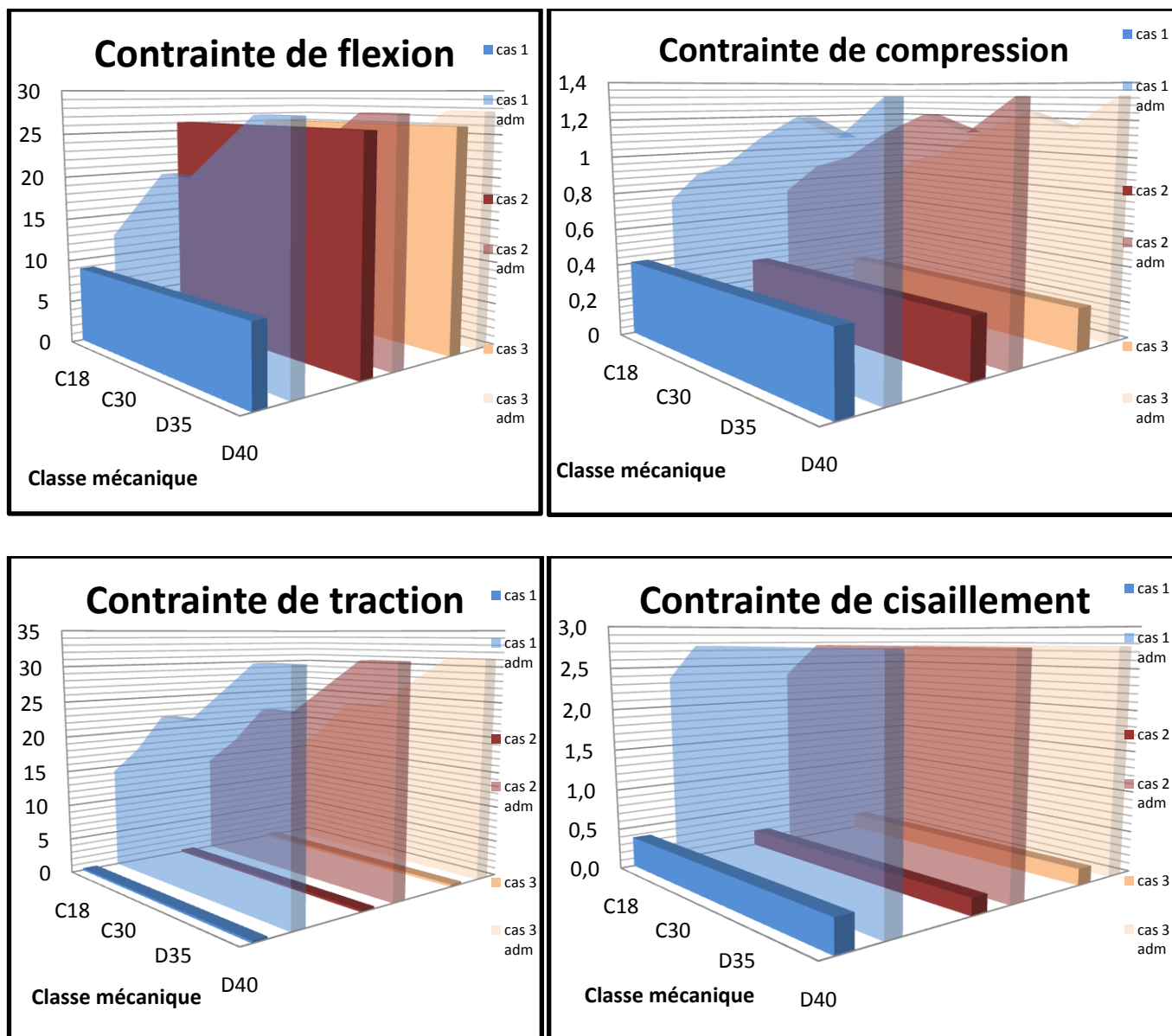
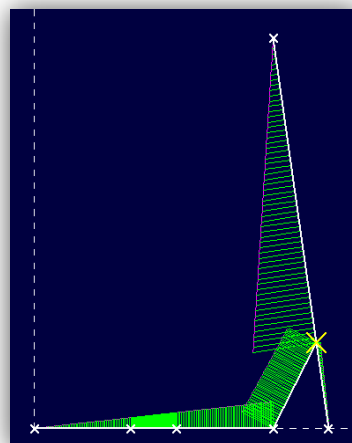


Figure 9 : Graphiques de comparaison des contraintes maximales obtenues aux contraintes admissibles des classes de bois testées

Il en ressort, de ces quatre graphiques, que la contrainte de flexion dans les cas 2 et 3 est la seule défavorable.

On obtient une contrainte de flexion de 26.11MPa, c'est sur la colonne de direction juste au dessus du tube de direction que les contraintes de flexion sont maximum et dimensionnent notre trottinette.

Figure 10: Contrainte de flexion cas de charge n°2



Il est alors possible d'utiliser du C24 pour la plateforme et le lien. Par la suite, nous avons choisi de modifier notre modèle pour diminuer les contraintes de flexion sur la zone faible. Nous avons surélevé de 5 cm et dédoublé le lien pour se rapprocher au mieux de la réalité. Cette modification nous permet de diminuer la classe mécanique à du C35 ou D35. Nous avons également augmenté cet écart pour atteindre le D30, la valeur correspondante est un écart de 150mm, ce qui est beaucoup trop élevé dans la réalité. Il nous faut alors choisir une classe mécanique équivalente ou supérieure à du D35.

Nous souhaitons utiliser du hêtre qui est disponible en quantité dans la région, il répond à nos attentes pour les usinages et aussi par son aspect esthétique. Après consultation des chercheurs du CrittBois, il nous a été conseillé de définir une classe mécanique du hêtre en fonction de sa simple masse volumique. Selon le Cirad, le hêtre a une masse volumique moyenne de 710 kg.m^{-3} . En se basant sur les tableaux de classes de résistance fourni par l'Eurocode 5, le hêtre possède alors une classe mécanique correspondant à un intervalle allant du D40 au D50. Il correspond alors parfaitement à nos besoins.

BILAN :

- Nous utilisons du C24 pour la plateforme et le lien.
- Nous devons en revanche utiliser du D40 pour la colonne de direction en conservant le diamètre de 50mm.

2^{ème} étape, variation de la section de la plateforme :

Nous pouvons également modifier la section de la plateforme pour gagner en poids mais aussi concernant le design de notre objet. La seule modification pertinente de la section de la plateforme va intervenir sur la contrainte de flexion de la dite plateforme.

La section rectangulaire de 120 par 40 mm a été décrite précédemment. Nous allons chercher les dimensions équivalentes pour une section que l'on retrouve sur les trottinettes classiques en acier ou aluminium ou des sections plus originales.

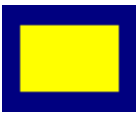



Section rectangulaire	Section monopied	Section bipied	Section circulaire
			

Figure 11: Aperçu des différentes section testées au dimensionnement

Nous garderons des dimensions d'encombrement équivalentes à la section rectangulaire, c'est-à-dire 120 par 40 mm pour chacun des modèles.

Nous obtenons des contraintes convenables pour les quatre sections. Les contraintes sont certes plus élevées avec les sections à pied mais le gain de poids est considérable, on gagne aux alentours de 500g par rapport à la section rectangulaire. Nous avons privilégié la section bipied car, lors de la conception, l'avantage a été de pouvoir insérer un tenon entre les deux pieds et ainsi créer notre assemblage.

BILAN :

- Nous utiliserons une section bipied pour la plateforme car elle permet un gain de poids important et est toujours vérifiée par rapport aux contraintes admissibles.
- Nous avons fait également des choix de préconception qui nécessite quelques justifications.
- *Choix de conserver une fourche en acier disponible dans le commerce :*

Pour déterminer s'il était possible ou non de créer et d'utiliser une fourche faite de bois, nous avons réalisé un pré dimensionnement sur RDM6. Nous avons alors procédé à une modélisation de la fourche. Nous avons modélisé uniquement trois pièces, la fourche en bois, l'axe et la roue. Pour les charges, nous nous sommes placés dans le cas que nous considérons le plus défavorable, une charge de 50kg répartie sur la hauteur de la fourche avec un angle de 45° pour tenir compte des contraintes que l'on pourrait trouver lors d'un virage un peu serré.

On obtient alors des contraintes de flexion bien supérieures à celles admissibles définies par les Eurocodes, autour des 40 MPa. Donc, même en considérant un bois de classe mécanique importante, ce ne serait pas suffisant.

De plus, utiliser la fourche en acier nous permet de conserver l'adaptabilité de chacune des pièces liées au système de direction et ainsi de faciliter sa mise en place.

Figure 13 :
Modélisation et
schématisation du
problème pour la
roue

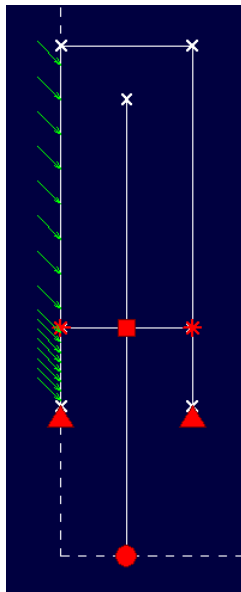
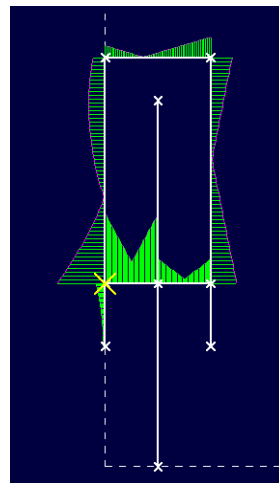


Figure 12: Allure des
contraintes de
cisaillement suite à
l'application des efforts



- *Choix de l'assemblage entre notre guidon et la colonne de direction :*

Même si la norme n'impose aucune vérification quant à cet assemblage, il nous a été plus sécuritaire de le vérifier. L'intérêt est ici de contrôler l'importance du cisaillement dans la colonne de direction pour ainsi voir à ne pas faire notre perçage pour le guidon trop près du bout de la colonne, ce qui risquerait d'entraîner une rupture des fibres en cisaillement.

Le modèle choisi comprend donc uniquement deux pièces, la colonne et le guidon. Celui-ci étant situé 4 cm en dessous du bout de la colonne. Pour ce qui est de la charge, il s'agit une charge ponctuelle verticale de 50 kg en bout gauche de guidon.

On obtient des contraintes de cisaillement relativement faible dans la colonne, autour de 0,04 MPa. On trouve également des contraintes de flexion de 4,89 MPa. Toutes ces contraintes sont donc nettement inférieures aux contraintes admissibles correspondantes.

On peut donc même chercher à rapprocher le guidon du bout de la colonne pour des raisons esthétiques, jusqu'à 2 cm sans problèmes.

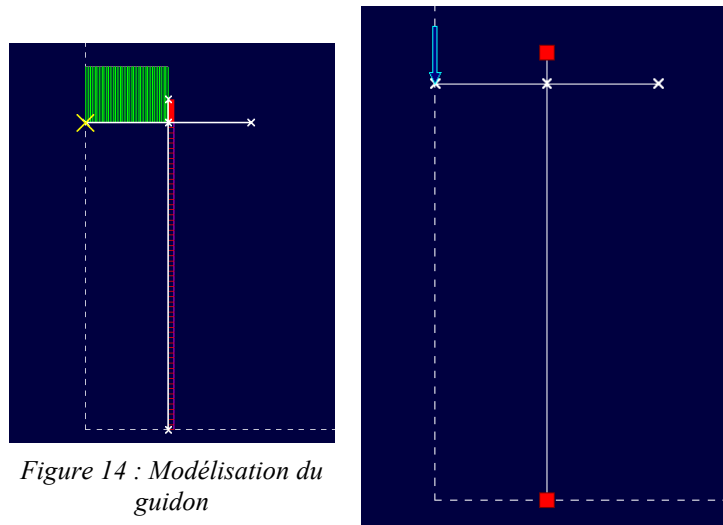


Figure 14 : Modélisation du guidon

c. Note n°2 : Dimensionnement post-modélisation et validation de la note de calcul n°1

Ce second dimensionnement est réalisé à partir de la modélisation CAO que nous avons eu à réaliser pour ce projet. Il a pour objectif de vérifier les modélisations effectuées via le logiciel de dessin (modélisation présentées en annexes et descriptions des solutions techniques dans la partie 2.2.2). Le rôle de ce second dimensionnement est plus orienté vers la validation des solutions constructives. Les futurs essais « destructifs » confirmeront ou infirmeront ces résultats.

Nos dimensionnements – 3 essais statiques à réaliser – sont effectués via le logiciel Inventor Pro et son onglet « Environnements », qui permet l'analyse des contraintes, déformations, déplacements, etc.

1^{ère} étape, Définition des propriétés du modèle :

Pour chacun des trois dimensionnements statiques effectués (effort sur la plateforme et deux efforts sur la colonne de direction), plusieurs étapes de caractérisation du modèle sont à effectuer :

- **Définition des matériaux :** pour chaque élément modélisé, il est possible d'affecter via le logiciel Inventor, un matériau disposant de propriétés physiques provenant de la base de données d'Autodesk. *Exemple :* pour la prise en compte des propriétés du hêtre – qui est le matériau le plus présent dans notre trottinette – le module d'Young définis est de 9,3 Gpa contre 15,3 Gpa, d'après les fiches techniques « tropix » du Cirad et 9,5 Gpa d'après les extraits de l'Eurocode pour les bois de classe D30. La valeur donnée par le cirad n'étant pas une valeur générale, celle de l'Eurocode sert de référence. Globalement, les valeurs données par la base de données d'Inventor sont plus dimensionnantes, donc acceptables.
- **Définition des contraintes :** Les contraintes servent ici à définir les appuis d'un problème donné. Nous définissons – respectivement aux normes – un appui simple sur la roue avant et un appui sur rouleau pour les essais 1 et 2 ; un appui simple sur la roue arrière et un appui sur rouleau pour la roue avant pour le troisième essai.

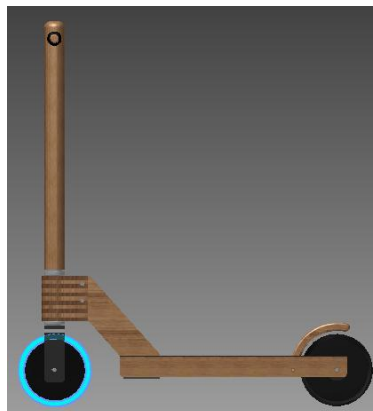


Figure 15 : Exemple de contrainte type "appui simple" imposée à la roue avant

- **Définition des charges :** On retient les 3 types de charges vues précédemment : de gauche à droite - effort 1 appliqué sur la plateforme, effort 2 appliqué dans la direction A, effort 3 appliqué dans la direction B.

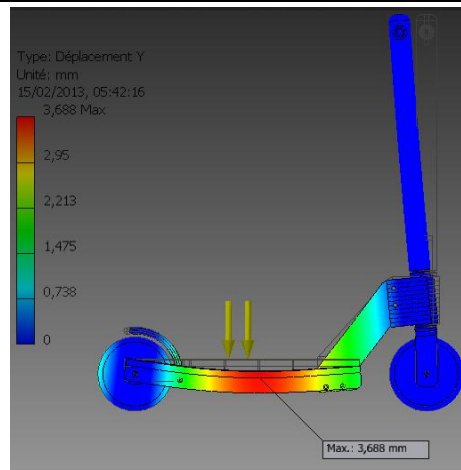


- **Définition des contacts entre les pièces :** Cette fonction automatique va prendre en compte les liaisons définies entre les pièces de la trottinette et créera des contraintes de contact - impossible à modéliser sous RDM6.

2nde étape, Analyse des résultats :

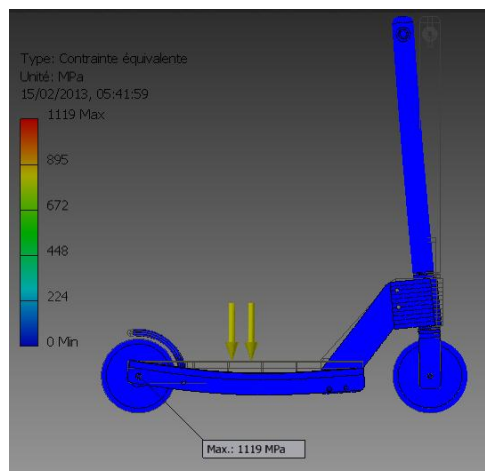
Nous nous intéressons en particulier à faire ressortir les déplacements maximum et la contrainte maximale obtenu dans chaque circonstance :

- **Dimensionnement à l'effort statique sur la plateforme :**



Valeur maximale : 3,68 mm

Figure 16: Essai 1 - Déplacement maximal suivant Y



Valeur maximale : 1,12 GPa

Figure 17 : Essai 1 - Allure des contraintes et position de la contrainte maximale

- **Dimensionnement à l'effort statique sur la colonne de direction dans la direction**

A

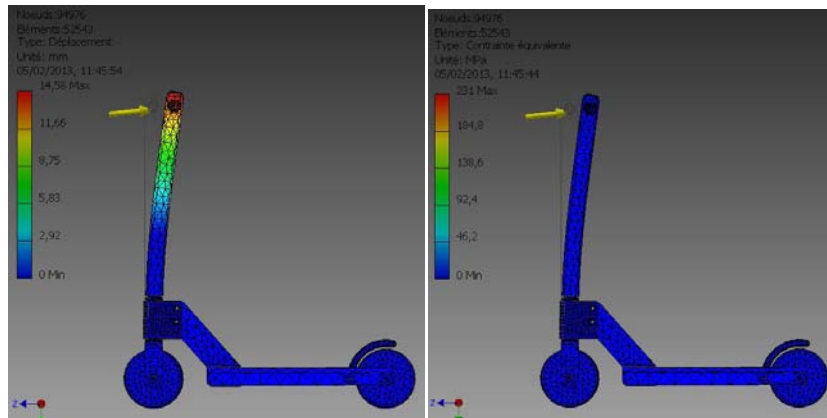
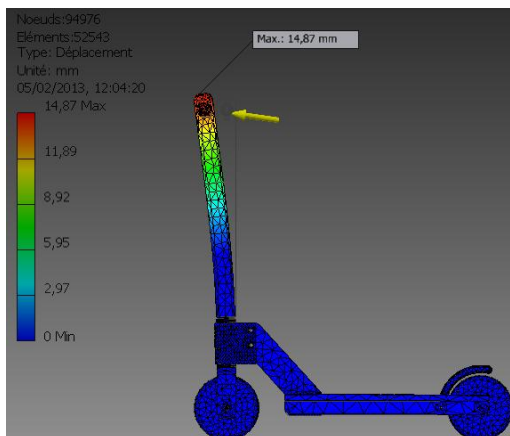


Figure 18 : Essai 2 - Allure des déplacements et contraintes dans la trottinette

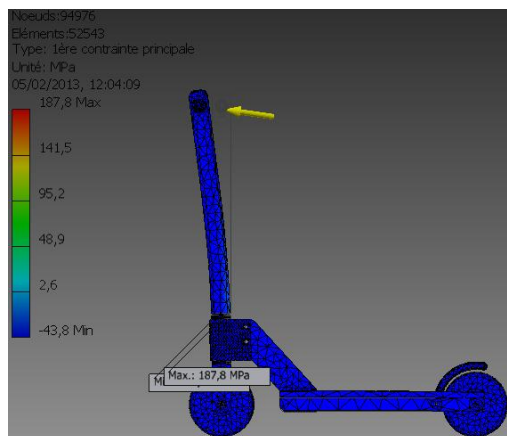
- **Dimensionnement à l'effort statique sur la colonne de direction dans la direction**

B



Valeur maximale : 14,87 mm

Figure 19: Essai 3 - Déplacement maximal observé sur la trottinette



Valeur maximale: 187.8 MPa

Figure 20: Essai 3 – Allure des contraintes et position de là contraintes maximale

Bilan :

En considérant les modélisations précédentes, on se rend compte que la trottinette semble être suffisamment résistante aux sollicitations qui lui sont virtuellement imposées dans l'essai n°1. Les sollicitations imposées dans les essais 2 et 3

2.2 Conception Assistée par Ordinateur

La CAO – i.e. la modélisation de la trottinette en bois – a été faite grâce au logiciel Inventor Pro. Les mises en plan ont également été produites via ce logiciel.

2.2.1 Exigences de la norme

- **Distance entre les parties** : La distance qui sépare les parties mobiles accessibles doit être : soit inférieure à 5mm, soit supérieure à 18mm. Exigence non applicable aux roues, supports de roues et systèmes de freinage.
- **Système de direction** : Il doit être conçu de façon à ce qu'il n'y ait aucun contact entre les roues et les autres parties de la trottinette. Aucune ouverture involontaire du système de direction ne doit se produire pendant son utilisation : un système de verrouillage doit être pensé.

2.2.2 Mises en plan de la trottinette en bois

Dans la présente partie, nous nous intéresserons à justifier nos choix constructifs pour les solutions d'assemblages. **Les dessins d'ensemble, de sous-ensembles et les mises en plan sont présents en annexes**, par soucis de place dans ce rapport. Ces plans ont servi à la fabrication du premier modèle de trottinette.

Comme nous l'avons annoncé ci-dessus, nous souhaitons justifier le choix des solutions techniques définies pour la fabrication de notre trottinette. Globalement, ces solutions ont été choisies selon plusieurs paramètres :-

- les machines et outils disponibles dans la halle de l'ENSTIB,
- l'idée d'industrialisation de la trottinette (qui préconise des solutions simples et rapidement réalisables),
- **la contrainte de conserver l'aspect de la trottinette**,
- le bois choisi : le hêtre ainsi que des bois annexes tels le chêne et le padouk, dont le rôle est essentiellement esthétique.

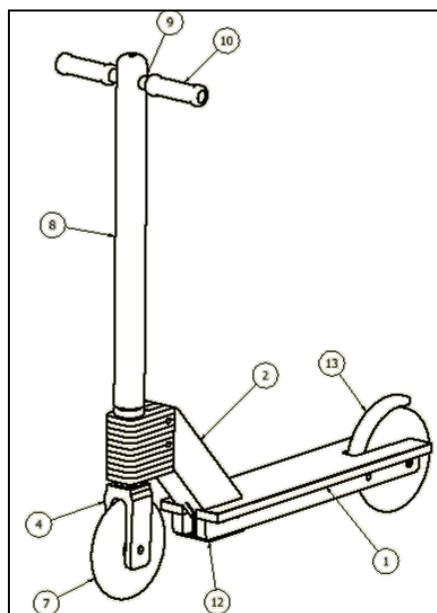


Figure 21 : Extrait du dossier de mises en plan de la trottinette

Afin que le lecteur comprenne la démarche, voici la nomenclature synthétique de la trottinette en bois modélisée :

Tableau 16: Liste des éléments entrant en compte dans la modélisation

N°	Nom de l'élément
1	Plateforme
1-1	Support de plateforme
1-2	Ame de plateforme
2	Eléments de liaison
2-1	Tube de direction
2-2	Lien
4	Fourche
7	Roues
8	Colonne de direction
9	Guidon
10	Poignées
12	Ame
13	Frein

a. Pièce n°1-1 : Support de plateforme

Cette plateforme a pour fonctions :

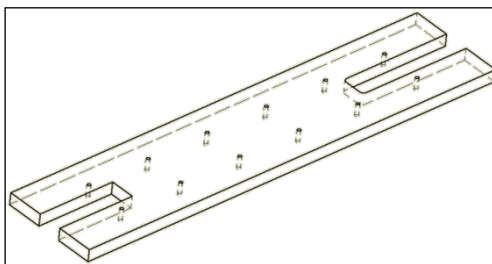


Figure 22 : Support de plateforme

- Accueillir les pieds de l'utilisateur, par conséquent disposer d'une surface centrale suffisamment grande,
- Disposer d'un espace pour laisser passer la roue arrière (à droite),
- Disposer d'un espace permettant d'accueillir le lien qui la reliera au guidon (à gauche).

La réalisation de cette plateforme peut se faire par via des outils de découpe type scie à format ou à la toupie. La forme proposée reste relativement simple vis-à-vis des fonctions à réaliser. Des arrondis peuvent cependant être usinés pour améliorer l'apparence de la plateforme. Les perçages observables servent à fixer la plateforme au dessus des âmes de la plateforme. Leur nombre a été déterminé arbitrairement et semble sécuritaire. Sur le prototype existant, 12 vis sont utilisées. Une étude de « pinces » – comme ce qui peut être réalisé en construction bois – pourrait réduire ce nombre à 8 vis.

b. Pièce n°1-2 : Ame de plateforme

Les âmes de la plateforme ont pour fonction :

- Supporter le poids de l'utilisateur et de la plateforme,
- Disposer de perçages permettant d'accueillir l'axe de la roue arrière mais également, l'axe du frein, l'âme métallique et le lien,

- En observant cette pièce, peu de manœuvres sont à réaliser : la mise à longueur et la production de la bonne section, puis suivront les perçages.

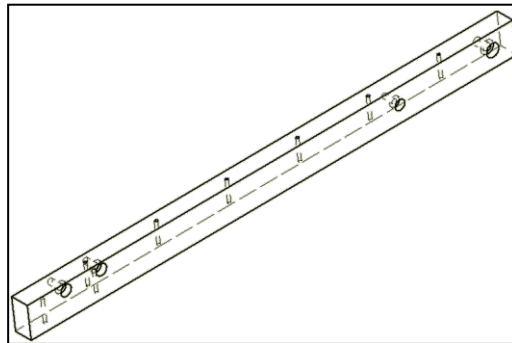


Figure 23 : Ame de la plateforme

c. Pièce n°2-1 : Tube de direction

Cette pièce est très particulière car elle se trouve « au cœur » de la trottinette puisqu'elle relie les éléments de la plateforme à la colonne de direction. Il est donc important de songer à la déformation de cette pièce.

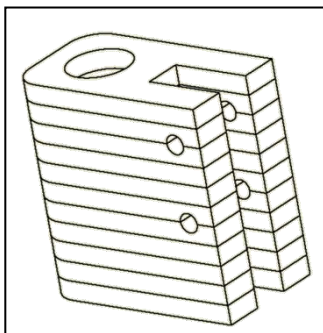


Figure 24 : Tube de direction

L'idée proposée fut de concevoir ce tube en croisant à 90° des lamelles de bois de façon à réduire les effets de retrait/gonflement induit par le bois lors des variations d'humidité. Ces lamelles pourront être collées entre elles.

Ainsi, le perçage accueillant la fourche n'aura pas une déformation ovale mais plutôt circulaire. La rainure accueillant le lien sera réalisée à la toupie et 2 perçages semblent suffire pour le maintien en position du lien (ainsi qu'un collage).

d. Pièce n°2-2 : Lien

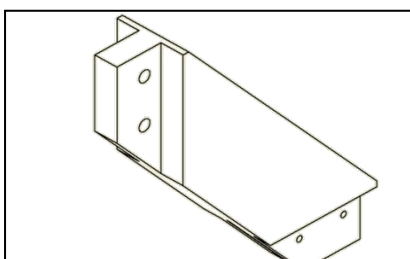


Figure 25 : Lien

Cet élément est également au cœur de la trottinette puisqu'il relie la plateforme au tube de direction. D'après nos dimensionnements, elle reprendra beaucoup d'efforts de traction et de compression. Aussi, nous évitons de concevoir une pièce susceptible de fendre.

La direction du fil du bois devra être dans l'axe du lien, afin que l'on puisse surtout considérer les propriétés physiques du bois dans la direction longitudinale. De simples perçages et tenonnages permettront de placer le lien sur la plateforme et dans le tube de direction. Pour des raisons de résistance, nous n'avons pas souhaité réaliser un prototype pliable.

e. Pièce n°8 : La colonne de direction

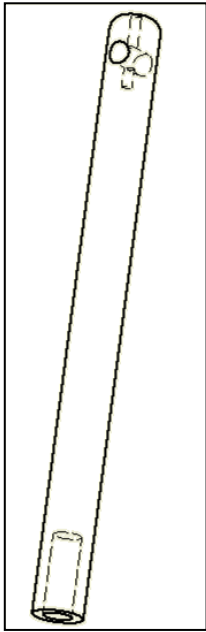


Figure 26 :
Colonne de
direction

La colonne de direction est également un élément essentiel dans la trottinette car celle permet la transmission des efforts depuis le guidon jusqu'à la fourche maintenant la roue avant.

Pour la fabrication, nous n'avons pas souhaité réaliser de colonne télescopique pour des raisons de résistance et de simplicité du prototype. Cependant, la réalisation d'une colonne de direction télescopique pourrait être une bonne amélioration de notre trottinette en bois.

Nos choix de solutions techniques se sont portés vers des solutions simples dont :

- Un perçage en haut de colonne permettant d'accueillir le guidon, que l'on viendrait maintenir à la colonne via la mise en place d'un tourillon, placé perpendiculairement au guidon et dans l'axe de la colonne.
- Un perçage dans l'axe de la colonne permettra la mise en position de la fourche de la trottinette. Pour le maintien en position, nous songeons à coller la fourche à la colonne, mais cette solution a l'inconvénient de ne pas être démontable.
- La colonne de direction doit cependant être circulaire afin d'être prise en main facilement par l'utilisateur malgré la section importante imposée par la modélisation.

f. Pièce n°9 : Le guidon

Le guidon fait partie des éléments les plus simples de la trottinette. En conséquent, nous choisissons de modéliser un guidon relativement simple, assemblable via un tourillon, qui sera placé au centre de l'élément en question.

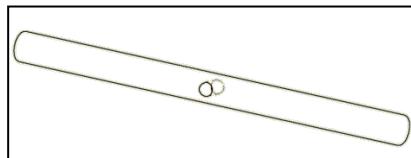


Figure 27 : Guidon

La seule contrainte sera d'avoir un diamètre de guidon adéquat pour accueillir les poignées en mousse utilisées pour le confort de l'utilisateur.

g. Pièce n°12 : Ame

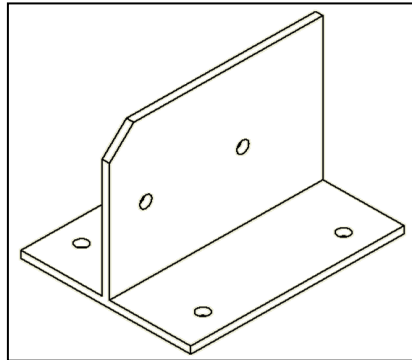


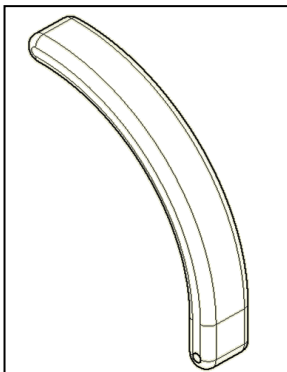
Figure 28 : Ame métallique

Cette âme métallique est la seule pièce métallique de notre projet, développée par notre groupe. Elle a pour fonction de solidifier l'assemblage entre la plateforme et le lien, car celui-ci recevra de nombreuses contraintes de traction (bien acceptée par les métaux alors que le bois préférera la compression).

Cette âme en « T » doit être placée, à la fois sous les âmes de la plateforme et dans la fine rainure réalisée dans la partie basse du lien.

Etant données les faibles sections des âmes de la plateforme et du lien, des perçages de diamètre 5 mm sont préconisés.

h. Pièce n°13 : Frein



Le frein est un élément indispensable à la trottinette, contrairement à la colonne télescopique ou au fait d'avoir une trottinette pliable. En effet, le frein est un élément sécuritaire car il aide l'utilisateur à maîtriser la trottinette en cas de prise de vitesse volontaire ou non.

La modélisation est basée sur la forme des freins existants sur la trottinette modèle : un quart d'arc de cercle, doté d'un perçage permettant son placement autour d'un axe.

Le freinage sera uniquement assuré par le frottement du bois sur la gomme de la roue. La viabilité de cette solution est difficilement modélisable. Nous préférons observer directement son comportement lors d'utilisations réelles.

i. Descriptifs des assemblages entre les pièces

La description des assemblages est fournie en annexes, dans la rubrique concernant la modélisation de la trottinette.

ASSEMBLAGE		DESCRIPTION
Poignée en mousse	Guidon	Le maintien en position de cet assemblage est uniquement dû aux frottements.
Guidon	Colonne de direction	Utilisation d'un tourillon de diamètre 10mm – éventuellement collé.
Colonne de direction	Fourche	Tige filetée de diamètre 6mm, écrou et rondelle. Collage à la résine époxy entre les 2 éléments.
Fourche	Tube de direction	Mise en place de cages de roulement à billes, visées sur la fourche et maintenues par un écrou de serrage.
Tube de direction	Lien	2 vis de diamètre 5mm et boulons, accompagnés de rondelles.
Lien	Plateforme	Utilisation de 4 vis de diamètre 5mm, avec préperçage et fraisage de l'âme métallique pour le passage des têtes de vis.
Plateforme	Frein	Utilisation de l'axe fourni par Décathlon.

3. FABRICATION

3.1 Gammes de fabrication

Lors de la fabrication de la trottinette, nous gardions à l'esprit que les étapes doivent être adaptables à des processus d'industrialisation. C'est pourquoi, pour chaque pièce que nous avons fabriquée, nous avons rédigé une gamme de fabrication. Ces gammes nous donnent un listing des étapes à suivre ainsi que leur temps de réglage et le temps de fabrication. On obtient alors le temps nécessaire pour chaque pièce.

<i>Temps (minute)s</i>	Temps pièce	Temps série 20 pcs	Temps série 1000 pcs
Guidon	28.5	19.95	19.51
Colonne de direction	65	24.15	22.04
Tube de direction	27	9.9	9.02
Lien	30	10.53	9.52
Plateforme CP	23	12.55	12
Ame de la plateforme	23	8.275	7.52
Frein	16.5	10.8	10.5
Ferrure	17.5	6.1	5.51
TOTAL	230.5	102.255	95.62

Tableau 17: Temps de fabrication des pièces

Le temps pièce prend en compte le temps de fabrication et le temps de réglage pour une pièce alors que le temps série ne prend en compte le temps de réglage qu'une seule fois pour toute sa série. Nombres de nos pièces nécessitent un temps de collage, en effet les plateaux de bois massif que l'on nous a fournis était d'épaisseur brut de 27 mm. Dans une optique d'industrialisation, il faudrait chercher à s'approvisionner avec une section plus épaisse qui permettrait d'éviter de coller certaines pièces.

Pour ce qui est des temps d'assemblage, on peut les estimer en moyenne à trois minutes de manutention avec le collage et le serrage compris. On dénombre au totale 7 assemblages sur notre trottinette, il faut alors compter vingt et une minutes pour l'assemblage. On peut tout autant rajouter une étape de ponçage et de traitement de surface. Pour notre prototype de trottinette, nous avons passé environ 30 min de ponçage afin d'avoir un état de surface convenable et supprimer les coulures de colles.

Ainsi, il faut au minimum compter 4h45 pour fabriquer une seule trottinette en tenant compte des temps de réglage et environ 2h pour une série d'au minimum 20 pièces.

3.2 Etude de prix

Pour déterminer un coût de revient de notre trottinette, nous avons définis le prix de fabrication comprenant le prix de la matière première et le prix d'utilisation des machines et le prix de main d'œuvres puis celui de l'assemblage, du ponçage, du vernissage et les prix des différentes pièces nécessitant une sous-traitance.

Les pièces issues de la sous-traitance sont les pièces que nous n'avons pas pu fabriquer au sein de l'école.

Nous avons arbitrairement fixé des prix pour les données suivantes :

- La matière première, le bois de hêtre et les autres essences en plus petites quantités : **150 €/m³**.
- L'utilisation de la déligneuse, raboteuse, tour numérique, tronçonneuse, perceuse et de la toupie : **0.15€/min**.
- La main d'œuvre payé au SMIC horaire de 13.174€/h comprenant les charges patronales, soit **0.219€/min**.

	pièces	t série 20 (min)	prix MP	prix usinage	prix MO
FABRICATION (MP & MO)	guidon	19,95	0,03 €	2,99 €	4,38 €
	colonne	24,15	0,23 €	3,62 €	5,30 €
	tube	9,9	0,11 €	1,49 €	2,17 €
	lien	10,525	0,15 €	1,58 €	2,31 €
	plateforme CP	12,55	0,01 €	1,88 €	2,76 €
	Plateforme Ame	8,275	0,06 €	1,24 €	1,82 €
	frein	10,8	0,01 €	1,62 €	2,37 €
	ferrure	6,1	1,00 €	0,92 €	1,34 €
			1,60 €	15,34 €	22,45 €
					39,39 €
ASSEMBLAGE		21 minutes MP : colle			4,61 € 2 €
PONCAGE		10 minutes			2,20 €
VERNISSAGE		15 minutes MP			3,29 € 3,00 €
SOUS TRAITANCE	Poignée mousse		2	0,50 €	1,00 €
	Roue		2	1,00 €	2,00 €
	Fourche avant		1	5,00 €	5,00 €
	Quincaillerie		1	2,00 €	2,00 €
TOTAL					64,49 €

Tableau 18 : Coût des différentes étapes de fabrication des pièces

On obtient alors un coût de revient de 64,49€. Comparé à celles que l'on peut actuellement trouvé sur le marché, celle de Décathlon® est vendue à 59,95€. En analysant où se trouvent les principales dépenses, on aperçoit rapidement qu'il s'agit de la main d'œuvre. En effet son prix est de 49,49€ par trottinette, cela représente 80% du prix de revient.

Il est alors nécessaire de suivre les méthodes d'améliorations du coût de revient, cela passe donc par une diminution de la main d'œuvre et donc par une automatisation de la chaîne de production. Ce changement revient à limiter l'intervention humaine, par exemple pour l'acheminement des pièces entre chaque machines mais aussi tout simplement pour l'usage des pièces.

Il n'existe à l'heure actuelle pas de trottinette en bois comparable sur le marché, c'est pourquoi il est difficile de savoir si ce prix de revient convient ou non.

3.3 Le prototype réalisé

Voici, ci-dessous, quelques photographies de la trottinette au cours de sa fabrication.



Figure 29: Tube de direction et fourche



Figure 30 : Montage d'usinage pour le collage de la fourche et de la colonne



Figure 31 : Assemblage du lien au tube de direction via des tourillons et de la colle



Figure 32: Montage d'usinage pour le ceintrage du frein



Figure 33 : Assemblage final entre la fourche, le tube de direction et la colonne de direction



Figure 34 : Assemblage entre le haut de la colonne de direction et le guidon



Figure 35 : Mise en place de l'âme métallique entre la plateforme et le lien



Figure 36: Trottinette réalisée

4. ESSAIS ET VALIDATION DU PROTOTYPE

Si l'on souhaite suivre un processus d'industrialisation de notre produit, il est indispensable pour être mis en vente qu'il soit conforme aux normes et puisse ainsi obtenir le marquage CE. La norme NF EN 14619 concerne la trottinette et comme nous l'avons définie précédemment, nous nous sommes intéressés uniquement aux essais de charge statique.

4.1 Les essais mécaniques

4.1.1 Essai n°1 : Effort surfacique sur la plateforme

Ce premier essai consiste à appliquer une charge de 200kg sur une surface de 100 mm par 100 mm au centre du repose-pied. Nous souhaitions dans un premier temps faire le test sur une machine disponible dans les salles dédiées aux essais mécaniques, cependant la machine correspondante étant en panne, nous avons décidé de réaliser la vérification de cet essai grâce à nos camarades. Armés d'un pèse personne, nous avons choisis un couple de personnes atteignant ensemble le cap des 200 kg.



Figure 38 : Trottinette avec un repère de 100 * 100 mm

Après avoir disposé un carré de 100 mm par 100 mm sur le repose-pied, nous avons demandé à nos deux camarades bien portant de monter simultanément sur le support de la plateforme sans s'aider du guidon. Comme vous pouvez le voir sur la photo ci-dessous, la trottinette a supporté le poids demandé par la norme. L'essai n°1 est validé.



Figure 37 : Deux personnes d'un poids environ égal 200kg, sur la trottinette

4.1.2 Essai n°2 : Premier effort ponctuel perpendiculaire à la colonne de direction

Lors du pré-dimensionnement, nous avons rapidement vu que les tests les plus difficiles à passer seraient l'effort en bout de la colonne de direction. Ce test consiste à fixer la trottinette verticalement par la roue avant et à y imposer une masse de 50 kg en bout de la colonne de direction.

A l'aide du CRITT et de leur matériel, nous avons utilisé un poids de 50 kg.



Figure 41 : Poids de 50kg utilisé



Figure 40 : Blocage de la trottinette

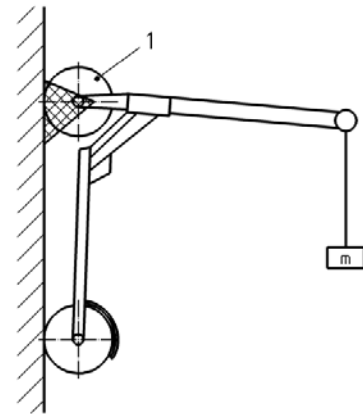


Figure 39 : Modélisation du test à réaliser pour l'essai n°2

Une fois la trottinette solidement fixée au bâti du portique d'essai du CRITT, nous avons posé la masse en bout de la colonne de manière lente et régulière. Il n'y a pas eu de rupture de matière, donc la trottinette valide l'essai n°2.

4.1.3 Essai n°3 : Second effort ponctuel perpendiculaire à la colonne de direction

Cet essai est très proche du précédent, la seule différence ici est que l'on fixe la trottinette par la roue arrière et non par la roue avant.

Nous avons fait preuve des mêmes précautions pour amener la masse sur la colonne, cependant la trottinette n'a pas supporté la totalité de la masse et nous avons assisté à l'apparition de fissure au niveau de notre assemblage.

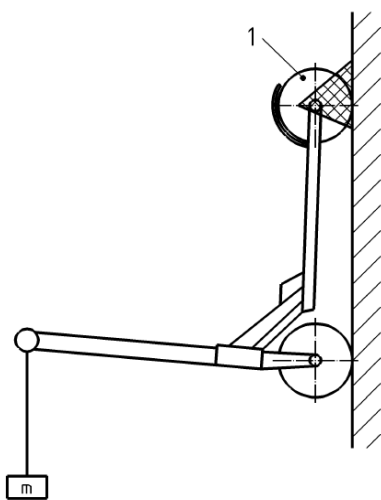


Figure 42 : Modélisation du test à réaliser pour l'essai n°3

L'essai n°3 n'est donc pas validé. Nous expliquons ce résultat par le fait que lors de notre pré-dimensionnement, le modèle entendait que la section en bas de la colonne était une section pleine. Alors qu'en réalité, l'assemblage nécessitait un perçage de 28,5 mm de diamètre.

De plus, l'atelier ne disposant pas du diamètre correspondant, nous avons percés à 27,5 mm. Nous avons par la suite dû poncer pour permettre le passage de la fourche. Et c'est au niveau des ponçages, ne pouvant être fait de manière régulière, que les fissures ont pris leur départ.



Figure 43 : Fissure apparue lors du troisième essai

Pour palier ce problème, nous proposons d'augmenter la section en bas de colonne et d'atteindre ainsi 60 mm de diamètre. Quant au perçage, il est nécessaire d'utiliser une mèche du bon diamètre.

4.2 La validation

Malgré les modélisations virtuelles réalisées, les essais nous ont prouvé que les sections choisies ne sont pas satisfaisantes.

5. CONCLUSION

C'est en voyant passer les élèves dans la halle entre les bureaux du BDE et le foyer avec une trottinette qu'est naît l'idée de chercher à créer une trottinette en bois. Pourquoi ne pas adapter ce sympathique moyen de déplacement au matériau bois ?

Se pencher sur la conception et la réalisation d'une trottinette en bois avec toutes les contraintes que cela impliquent est un projet plus qu'intéressant, son originalité nous a permis de sortir du cadre des projets classiques.

La trottinette en bois est un produit que l'on trouve uniquement sous la forme de jouet, son utilisation en tant que moyen de déplacement par une classe de consommateurs plus âgés est inexistante. Réaliser un pré-dimensionnement nous a permis de définir les grandes lignes de notre projet.

Nous avons ainsi choisi les essences de bois et leurs sections en fonction de leurs classes mécaniques, mais nous avons également fait des choix quant aux pièces que nous devons garder en acier. La suite du projet a résidé dans la conception précise de notre trottinette à l'aide du logiciel Inventor, il s'agissait alors de définir la forme finale, les assemblages, c'est-à-dire d'obtenir des dessins côtés indispensables pour pouvoir passer à la phase de fabrication.

Par le biais de ce même logiciel, nous avons pu aussi observer et retrouver de manière plus précise, par la méthode des éléments finis, les contraintes internes de notre trottinette. Grâce une conception claire, nous avons réussi à éviter les problèmes durant la fabrication, et en moins de cinq jours, il nous a été possible de réaliser un premier prototype. Au cours de la fabrication, nous avons répertorié les temps de réglage machine et d'usinage de chacun des éléments de notre trottinette lors des différentes phases d'usinage. Lorsque la fabrication a été terminée, nous avons pu déterminer le pourcentage de bois dans la trottinette. Il s'élève à 50 % en masse et à 72% en volume, on peut alors dire que notre objectif d'atteindre les 70% de bois dans la trottinette est atteint.

Le tout n'étant pas de faire des tours sur notre trottinette dans la halle mais de la faire vérifier aux normes. Cependant, la trottinette a été moins à l'aise lors du troisième essai et ses 50 kg en bout de colonne. La colonne n'a pas résisté aux contraintes et des fissures sont apparues vers l'assemblage. Il faudrait voir maintenant à améliorer certaines caractéristiques de la trottinette, comme par exemple la rendre pliable, faire une fourche en bois...

Le bilan pour nous deux est très positif : pouvoir se plonger dans la conception et la réalisation d'un projet comme celui-ci avec les moyens dont nous disposons à l'école est une expérience très enrichissante et qui nous permet de quitter l'école avec une belle réalisation.

6. ANNEXES

6.1 Extraits de la norme NF EN 14619

6.2 Dessins d'ensemble et mises en plan de la trottinette

6.3 Gammes de fabrication des pièces

7. RESUME

Mots-clés : Trottinette, 70% de bois, NF EN 14619, dimensionnement, durabilité, industrialisation.

La trottinette est un moyen de transport ludique relativement présent de nos jours. Alternatif au vélo et à la marche à pied, cet outil autorise les déplacements quotidiens de courte distance et les activités sportives (« Freestyle »). Depuis peu, les étudiants de l'ENSTIB ont intégré la trottinette à leurs déplacements au sein de l'école. En lien avec ce constat, le projet consiste à concevoir et fabriquer une trottinette composée de bois à 70% et utilisable par les étudiants.

La conception d'une trottinette en bois consiste à étudier les modèles existants et établir un Cahier des Charges Fonctionnelles, dégagant les besoins et les contraintes liés au produit, dont le respect de la norme NF EN 14619 (Equipements de sports à roulettes). La modélisation et le dimensionnement de la trottinette en bois sont respectivement réalisés grâce aux logiciels Inventor et RDM6, conformément aux Eurocodes 5. La fabrication des pièces en bois est effectuée dans la halle de l'ENSTIB et est inspirée des contrats de phases établies. Le bois est fourni par M. Renaud sur les stocks actuels de l'école. Les composants annexes et nécessaires sont récupérés sur une trottinette standard achetée à Décathlon.

Le principal objectif de cette étude est de déterminer la viabilité d'une trottinette en bois. L'étude réalisée demande l'emploi d'un bois au minimum C30 ou D30 ; L'analyse du comportement de ce bois, via les essais induits par la norme NF EN 14619 et les dimensionnements sous RDM6, démontre la possibilité de la mise en œuvre du bois dans une trottinette, malgré les sections importantes. Une utilisation à long terme permettra de confirmer cette étude et la durabilité du produit.

L'objectif secondaire est d'imaginer l'industrialisation de la trottinette en bois à grande échelle, par la proposition d'un modèle simple et l'utilisation d'éléments standardisés.

ABSTRACT

Keywords: *Scooter, 70% of wood, NF EN 14619, design, durability, industrialisation.*

The scooter is a fun means of transport, which is relatively used nowadays. It is an alternative to cycling and walking. This tool is used for short commuting distances and for sporting activities, like “Freestyle”. Recently, the students of ENSTIB used the scooter to travel within their school. In connection with this assessment, the project is to design and manufacture a scooter 70% made of wood and make by students.

The design of the wooden scooter consist to study the existing models and to establish Functional Specifications. This document clears requirements and constraints related to the product, including compliance with the NF EN 14619 (sports equipment with casters). The modeling and the design of the wooden scooter are made respectively with the software Inventor and RDM6, in accordance with Eurocodes 5. Manufacturing of the wooden pieces is carried out in the hall of the ENSTIB and follows the established contracts of phases. The wood will be provided by Mr Renaud on the current stocks of the school. Additional components are required and recovered from a standard scooter purchased from Decathlon.

The main objective of this study is to determine the viability of a wooden scooter. The study requires the use of a wood at least C30 or D30. The analysis of the behavior of the wood, through testing, according to NF EN 1469 and dimensioning in RMD6, demonstrates the possibility of the use of timber in a scooter. A long-term use will allow confirming this study and the durability of the product.

The secondary objective is to imagine the industrialization scale up the wooden scooter by proposing a simple model and the use of standardized components.