

Création d'un Essuie-Glace Sur-Mesure pour le Véhicule VIP AMU

Projet 2ème année innovation industriel

2024/2025



Carl Guastapaglia
Léandre Mayerhoeffer

IUT Aix-en-Provence
Génie mécanique et productique

Table des matières

💡 Table interactive, cliquez sur les titres pour être redirigé vers le bon chapitre

1. Introduction.....	5
1.1 Présentation du projet.....	5
1.2 Objectif du projet.....	5
1.3 Contexte du projet.....	5
1.4 Problématique.....	6
1.5 Enjeux du projet.....	6
2. Analyse Fonctionnelle.....	7
2.1 Diagramme des milieux extérieurs.....	7
2.2 Arbre fonctionnel.....	7
2.3 Valorisation des fonctions principales.....	8
2.4 Diagramme Pareto.....	11
2.5 Analyse des fonctions.....	11
3. État de l'Art et Solutions Existantes.....	14
3.1 Evolution de l'essuie glace.....	14
3.2 Les brevets du moment.....	14
3.3 L'apport révolutionnaire de Robert Kearns.....	15
4. Planification.....	18
4.1 Répartition des tâches.....	18
4.2 Gantt.....	19
4.3 Outil utilisé pour notre organisation.....	19
5. Recherche des paramètres du système.....	20
5.1 Graphe des liaisons.....	20
5.2 Schéma cinématique.....	21
5.3 Squelette pilotant.....	21
5.4 loi entrée sortie.....	22
6. Dimensionnement des éléments.....	23
6.1 Pivot, transmission et moteur.....	23
6.2 Dimensionnement des barres.....	27
7. Modélisation du système.....	27
8. Fabrication.....	28
9. Test de conformité au cahier des charges.....	34
9.1 Résultat de la fabrication.....	34
9.2 Vérification des fonctions.....	35
10. Perspectives.....	35
11. Conclusion.....	36
11.1 Compétences développées et approfondies	36
11.2 Problèmes rencontrés et solutions apportées.....	36
11.3 Limites du prototype.....	37
11.4 Retour d'expérience.....	37

Annexe 1.....	38
Annexe 2.....	39
Annexe 3.....	40
Annexe 4.....	41
12. Bibliographie.....	43

Table des illustrations

FIGURE 1 - DIAGRAMME PIEUVRE	7
FIGURE 2 - DIAGRAMME PARETO	11
FIGURE 3 - FRISE CHRONOLOGIQUE ESSUIE-GLACE	14
FIGURE 4 - BREVET DE ROBERT W.KEARNS	16
FIGURE 5 - DIAGRAMME DE LA RÉPARTITION DES TÂCHES	18
FIGURE 6 - GANTT DU PROJET	19
FIGURE 7 - GRAPHE DES LIAISONS	20
FIGURE 8 - SCHÉMA CINÉMATIQUE	21
FIGURE 9 - SQUELETTE PILOTANT	22
FIGURE 10 - CADRANS POUR ETUDE CINÉMATIQUE	23
FIGURE 11 - PFS 1	24
FIGURE 12 - BARRE 2 PFS 1	24
FIGURE 13 - BARRE 1 PFS 1	25
FIGURE 14 - EVOLUTION DE LA FORCE A LA BIELLE	26
FIGURE 15 - CAO ECHELLE 1:1	28
FIGURE 16 - PFS 2	29
FIGURE 17 - BARRE 1 PFS 2	30
FIGURE 18 - BARRE 2 PFS 2	30
FIGURE 19 - BARRE PFS 3	31
FIGURE 20 - COUPLE MAXI DU MOTEUR	31
FIGURE 21 - FORCE DE FROTTEMENT D'UNE LAME	32
FIGURE 22 - EFFORT MAXI PIVOT AVEC FROTTEMENT	32
FIGURE 23 - LOGICIEL GRANTA EDUPACK 2022	33
FIGURE 24 - CAO ÉCHELLE 1:4	33
FIGURE 25 - PHOTO DU PROTOTYPE 1	34
FIGURE 26 - PHOTO DU PROTOTYPE 2	34
FIGURE 27 - PERSPECTIVES	36

1. Introduction

1.1 Présentation du projet

Les systèmes d'essuyage sont essentiels pour garantir la visibilité du conducteur, notamment en conditions météorologiques difficiles. Avec l'évolution constante des véhicules, ces mécanismes doivent répondre à des exigences croissantes : efficacité, compacité, intégration esthétique et consommation optimisée.

Dans le cadre de notre formation en BUT Génie Mécanique et Productique, parcours Innovation Industrielle, il nous a été confié le développement d'un prototype fonctionnel d'essuie-glace mécanique. Ce prototype s'appuie sur les dimensions du pare-brise d'un projet de GMP 3ème année, le VIP AMU (1300 mm × 575 mm). Il est important de préciser que le VIP AMU sert uniquement de référence dimensionnelle ; notre travail se concentre exclusivement sur le système d'essuyage.

1.2 Objectif du projet

L'objectif principal du projet est de concevoir un système d'essuie-glace mécanique fonctionnel et représentatif, malgré une échelle réduite. Le mécanisme doit rester simple à assembler, démontable, fiable, et techniquement cohérent avec les contraintes réelles du monde industriel.

Ainsi, les objectifs précis sont les suivants :

- Concevoir un mécanisme d'essuie-glace mécanique quatre barres ;
- Intégrer un système démontable, compact et facilement assemblable ;
- Reproduire un mouvement de balayage fluide et réaliste ;
- Utiliser des procédés de fabrication accessibles tels que le fraisage, le tournage ou le cisailage de tôle ;
- Répondre aux exigences définies dans le cahier des charges fonctionnel.

1.3 Contexte du projet

Afin de cadrer notre conception dans un environnement réaliste, nous avons pris comme base de travail le pare-brise du véhicule VIP AMU, un véhicule électrique léger développé dans le cadre d'un projet pédagogique. Il s'agit d'un véhicule biplace, conçu à partir de matériaux souples et intégrant un système de recharge par pédalage.

Le choix de ce support a pour unique vocation de définir des dimensions de référence et ne conditionne en rien les contraintes mécaniques ou structurelles liées au mécanisme développé.

1.4 Problématique

Comment concevoir et réaliser un prototype fonctionnel d'essuie-glace mécanique pour le véhicule VIP AMU ?

1.5 Enjeux du projet

Au-delà de l'aspect technique, ce projet s'inscrit dans une logique de conception rigoureuse, avec plusieurs enjeux à prendre en compte :

- Fonctionnalité et sécurité : assurer une restitution fluide du mouvement, garantissant une bonne représentation du fonctionnement réel
- Accessibilité des procédés : privilégier des solutions compatibles avec les moyens disponibles (impression 3D, CAO, usinage)
- Montabilité et démontabilité : permettre l'assemblage et le remplacement facile des pièces (balais, bras, liaisons) ;
- Rationalisation des ressources : optimiser le nombre de pièces et les coûts de fabrication
- Conception réaliste : simuler au mieux les contraintes mécaniques et dimensionnelles d'un système réel.

2. Analyse Fonctionnelle

2.1 Diagramme des milieux extérieurs

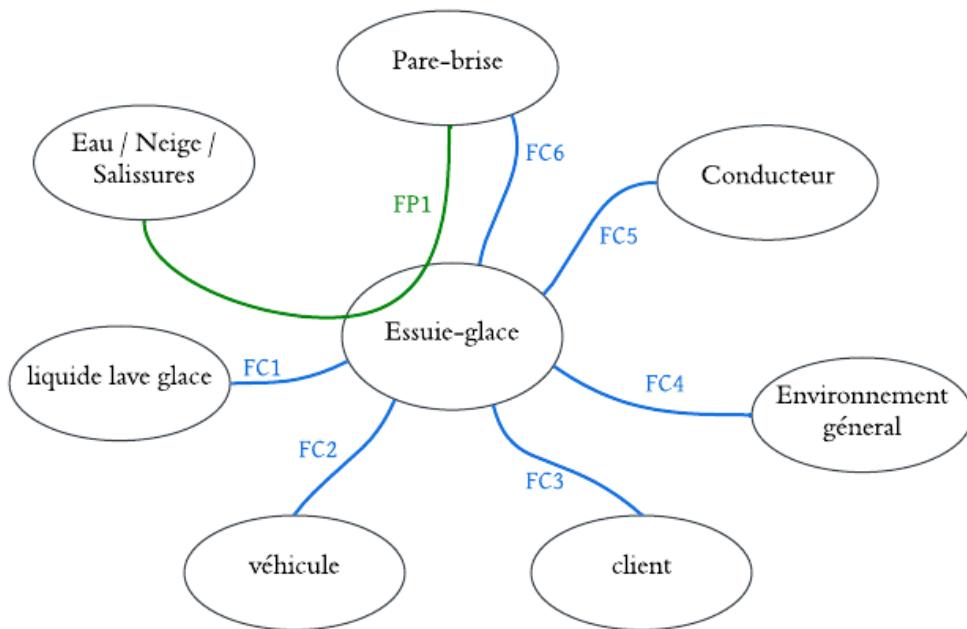


FIGURE 1 - DIAGRAMME PIEUVRE

2.2 Arbre fonctionnel

FP1:Nettoyer et essuyer le pare brise lors d'intempérie de neige ou de salissures	FP11:Balayer le pare brise
	FP12:Essuyer le pare brise
	FP13:Nettoyer le pare brise
	FP14:Dégager les salissure
FC1:balayer et résister au liquide lave-glace	
FC2:Être compact pour intégrer le véhicule	FC21:Être compact
	FC22:Être adaptable à d'autres véhicules
FC3:être durable et abordable	FC31:Utiliser au maximum les standards d'entreprise (matériaux, procédés, fournisseurs,...)

	FC32:Avoir un prix accessible
	FC33:ne pas être énergivore
FC4 : Résister à l'environnement d'utilisation	FC41:Résister à la corrosion
	FC42:Résister aux variations de température
	FC43:Ne pas polluer l'environnement pendant l'utilisation ou lors de la destruction
FC5 : Être ergonomique	FC51:Ne pas perturber le champ de vision à l'arrêt
	FC52:Ne pas perturber le champ de vision en fonctionnement
	FC53:Être peu bruyant en fonctionnement
	FC54:ne pas être dangereux (coupure ...)
FC6 : Résister aux frottements	

2.3 Valorisation des fonctions principales

Fonction	%Appréciation
FP1:Nettoyer et essuyer le pare brise lors d'intempérie de neige ou de salissures	45%
FC1:balayer et résister au liquide lave-glace	10%
FC2:Être compact pour intégrer le véhicule	10%
FC3:être durable et abordable	5%
FC4 : Résister à l'environnement d'utilisation	15%
FC5 : Être ergonomique	10%
FC6 : Résister aux frottements	5%

Tableau de la valorisation des fonctions et sous fonctions		
Sous-fonction	%Appréciation	Ventilation
FP1:Nettoyer et essuyer le pare brise lors d'intempérie de neige ou de salissures (45%)		

Tableau de la valorisation des fonctions et sous fonctions		
Sous-fonction	%Appréciation	Ventilation
FP11:Balayer le pare brise	30%	13.5%
FP12:Essuyer le pare brise	30%	13.5%
FP13:Nettoyer le pare brise	20%	9%
FP14:Dégager les salissure	20%	9%
FC1:balayer et résister au liquide lave-glace (10%)		
FC2:Être compact pour intégrer le véhicule (10%)		
FC21:Être compact	70%	7%
FC22:Être adaptable à d'autres véhicules	30%	3%
FC3:être durable et abordable (5%)		
FC31:Utiliser au maximum les standards d'entreprise (matériaux, procédés, fournisseurs,...)	40%	2%
FC32:Avoir un prix accessible	40%	2%
FC33:ne pas être énergivore	20%	1%
FC4 : Résister à l'environnement d'utilisation (15%)		
FC41:Résister à la corrosion	60%	9%
FC42:Résister aux variations de température	30%	4.5%
FC43:Ne pas polluer l'environnement pendant l'utilisation ou lors de la destruction	10%	1.5%
FC5 : Être ergonomique (10%)		
FC51:Ne pas perturber le champ de vision à l'arrêt	20%	2%
FC52:Ne pas perturber le champ de vision en fonctionnement	20%	2%
FC53:Être peu bruyant en	20%	2%

Tableau de la valorisation des fonctions et sous fonctions		
Sous-fonction	%Appréciation	Ventilation
fonctionnement		
FC54:ne pas être dangereux (coupure ...)	40%	4%
FC6 : Résister aux frottements (5%)		

Résumé:

%	Fonction	% cumul.
13,5%	FP11	13,5%
13,5%	FP12	27%
10%	FC1	37%
9%	FP13	46%
9%	FP14	55%
9%	FC41	64%
7%	FC21	71%
5%	FC6	76%
4,5%	FC42	80,5%
4%	FC54	84,5%
3%	FC22	87,5%
2%	FC31	89,5%
2%	FC32	91,5%
2%	FC51	93,5%
2%	FC52	95,5%
2%	FC53	97,5%
1,5%	FC43	99%
1%	FC33	100%

2.4 Diagramme Pareto

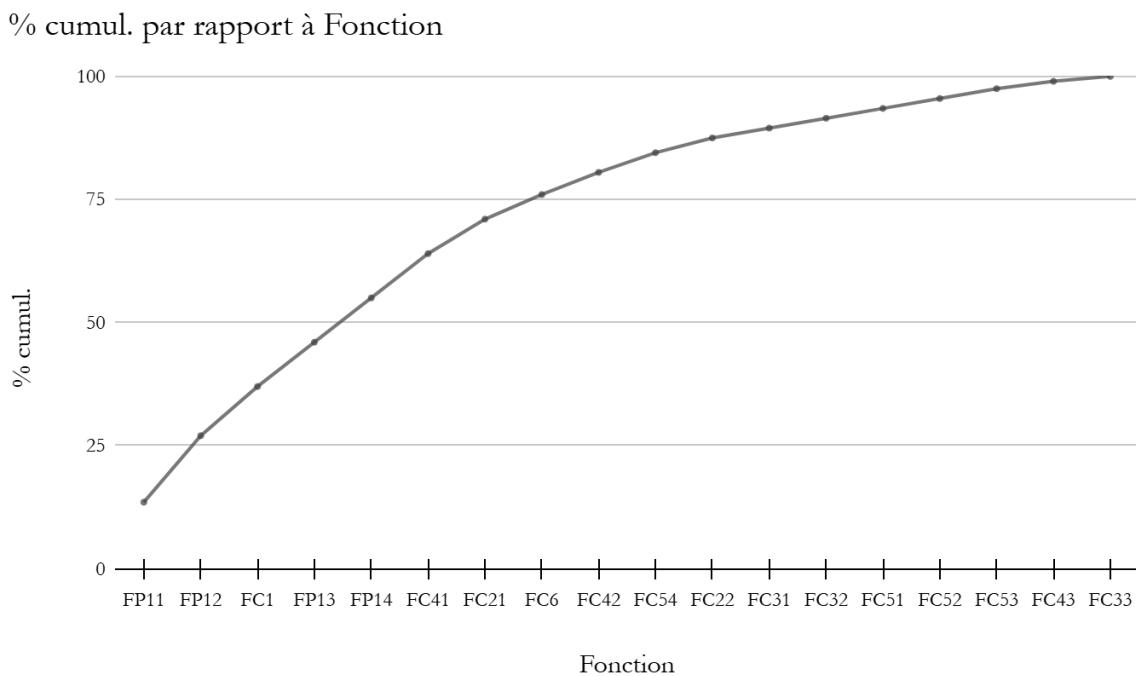


FIGURE 2 - DIAGRAMME PARETO

2.5 Analyse des fonctions

Fonctions				
fonction	critère	Niveau	Flexibilité	Contrôle
FP1:Nettoyer et essuyer le pare brise lors d'intempérie de neige ou de salissures				
FP11:Balayer le pare brise	Quantité d'eau retirée	70% de l'eau	+/- 5%	Test
	Surface balayée	70%	+/- 5%	Mesure
FP12:Essuyer le pare brise	Propreté du pare-brise	70% de surface propre	+/- 5%	Visuel
	Efficacité de déneigement	70% mini	0	test
FP13:Nettoyer le pare brise	Efficacité sur boue et terre	98% mini	0	Test
	Efficacité sur insectes	100%	0	Observation

Fonctions				
fonction	critère	Niveau	Flexibilité	Contrôle
FP14:Dégager les salissure	Écoulement de fluides	-	0	Observation
	Traces d'insectes	Minimum	0	Observation
FC1:balayer et résister au liquide lave-glace				
FC1:balayer et résister au liquide lave-glace	Surface couverte	70% du pare-brise	+/- 5%	Test
	Résistance aux liquides	Hydrophobe	0	test chimiques
FC2:Être compact pour intégrer le véhicule				
FC21:Être compact	Dimensions max.	Adaptées au véhicule	+/- 5%	Mesure
FC22:Être adaptable à d'autres véhicules	Compatibilité	Standardisée	+/- 5%	Test
FC3:être durable et abordable				
FC31:Utiliser au maximum les standards d'entreprise (matériaux, procédés, fournisseurs,...)	Matériaux standards	Acier, plastique ABS	Fixe	Documentation
FC32:Avoir un prix accessible	Coût de fabrication	< 100€	+/- 10%	Analyse coût
FC33:ne pas être énergivore	Consommation électrique	< 10W	+/- 5%	Test électrique
FC4 : Résister à l'environnement d'utilisation				
FC41:Résister à la corrosion	Durabilité des matériaux	Acier inoxydable	Fixe	test
FC42:Résister aux variations de température	Température de fonctionnement	-20°C à +60°C	+/- 5°C	Test climatiques
FC43:Ne pas polluer l'environnement pendant l'utilisation ou lors de la destruction	Recyclabilité	80% recyclable	+/- 5%	Etudes environnementales

Fonctions				
fonction	critère	Niveau	Flexibilité	Contrôle
FC5 : Être ergonomique				
FC51:Ne pas perturber le champ de vision à l'arrêt	Position repos	Hors champ de vision	Fixe	tests utilisateurs
FC52:Ne pas perturber le champ de vision en fonctionnement	Présence de reflets	Flou minimal	+/- 5%	Test optique
FC53:Être peu bruyant en fonctionnement	Niveau sonore	< 40 dB	+/- 5dB	Mesure acoustique
FC54:ne pas être dangereux (coupe ...)	Bords arrondis	Pas d'angle coupant	Fixe	Inspection
FC6 : Résister aux frottements				
FC6 : Résister aux frottements	Durée de vie des balais	> 500 000 cycles	+/- 5%	Test d'usure
	Matériaux résistants	Lame durable	Fixe	Test mécanique

3. État de l'Art et Solutions Existantes

3.1 Evolution de l'essuie glace

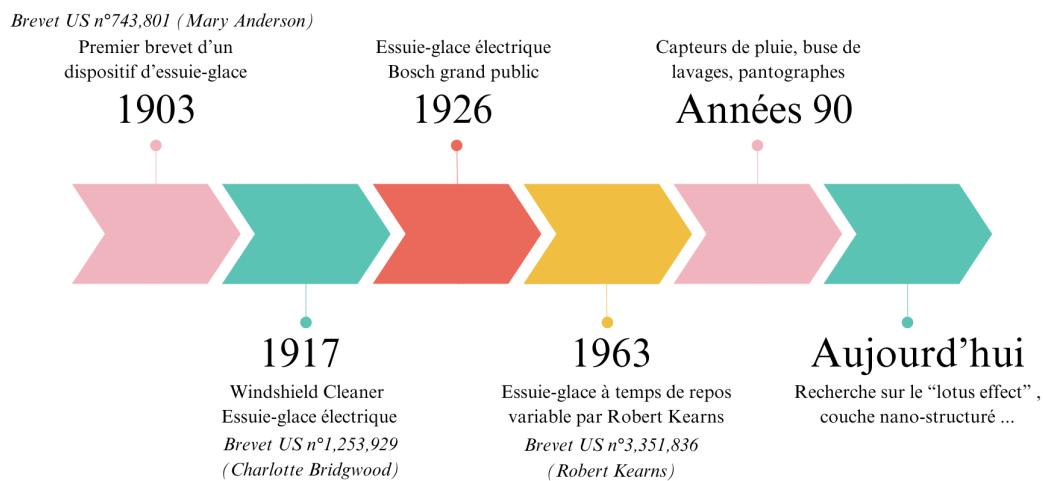


FIGURE 3 - FRISE CHRONOLOGIQUE ESSUIE-GLACE

Brevet de Mary Anderson (Annexe 4), [4]

Brevet de Charlotte Bridgwood (Annexe 5), [3]

3.2 Les brevets du moment

Au cours des dernières années, le domaine des revêtements hydrophobes appliqués aux vitrages automobiles, et plus particulièrement aux pare-brises, a connu une dynamique d'innovation marquée par le dépôt de plusieurs brevets. Ces avancées technologiques visent à améliorer la visibilité du conducteur en conditions pluvieuses, tout en tendant à limiter le recours aux dispositifs mécaniques d'essuyage.

De grands groupes industriels tels que PPG Industries, Saint-Gobain ou encore AGC Automotive se sont distingués par le dépôt de brevets portant sur des revêtements transparents, à la fois résistants à l'abrasion et dotés d'un pouvoir hydrophobe pérenne. Ces solutions techniques permettent une évacuation efficace des gouttelettes d'eau, y compris après plusieurs milliers de cycles d'essuyage, participant ainsi à l'augmentation de la longévité du traitement appliqué.

Les formulations les plus récentes s'appuient généralement sur une architecture multicouche. Cette dernière associe une couche d'accroche fréquemment constituée d'oxydes métalliques à une couche fonctionnelle intégrant des nanoparticules hydrophobes. Ces éléments confèrent au revêtement un angle de contact élevé, atteignant parfois plus de 150°, traduisant ainsi un effet déperlant significatif.

L'application industrielle de ces couches s'effectue via des procédés compatibles avec une production en série, parmi lesquels on retrouve le CVD (Chemical Vapor Deposition), le sol-gel ou encore la pulvérisation plasma.

Une problématique régulièrement soulevée dans la littérature technique est celle du coefficient de frottement entre le balai d'essuie-glace et la surface traitée. En effet, un coefficient trop faible peut induire des vibrations ou bruits parasites lors du passage du balai. Pour y remédier, certaines solutions industrielles proposent l'intégration d'une couche intermédiaire, destinée à ajuster l'adhérence sans altérer les propriétés hydrophobes du revêtement final.

Bien que majoritairement développés pour répondre aux exigences du secteur automobile, ces revêtements trouvent également des débouchés dans d'autres domaines techniques, tels que les vitrages architecturaux, les panneaux photovoltaïques ou encore les dispositifs optiques. Dans tous les cas, les enjeux convergent : préserver la transparence des surfaces, réduire les fréquences de nettoyage et renforcer la durabilité des systèmes exposés aux conditions extérieures.

3.3 L'apport révolutionnaire de Robert Kearns

L'un des tournants majeurs dans l'évolution des essuie-glaces a été l'invention du système à temps de repos variable par Robert Kearns. Cet ingénieur américain, dans les années 1960, a radicalement transformé l'industrie automobile en proposant une innovation directement inspirée du clignement naturel des paupières humaines.

Kearns s'est rendu compte que les essuie-glaces de l'époque fonctionnaient de manière continue, même lorsque la pluie était légère, ce qui entraînait une usure prématuée des balais et un inconfort pour le conducteur. Il a alors imaginé un système d'intermittence programmable, permettant aux essuie-glaces de fonctionner par cycles, avec des pauses entre chaque balayage. Cette approche reproduisait le comportement des paupières, qui ne clignent pas en permanence mais s'adaptent à l'environnement.

Son invention a rapidement suscité l'intérêt des constructeurs automobiles, mais elle a également donné lieu à une bataille judiciaire longue et complexe. Après avoir proposé son brevet aux grandes marques, Kearns a constaté que sa technologie était utilisée sans son autorisation par plusieurs fabricants, notamment Ford et Chrysler. Il a mené un combat juridique de plusieurs décennies pour faire reconnaître ses droits, obtenant finalement gain de cause dans les années 1990. Son innovation est aujourd'hui intégrée dans tous les véhicules modernes, sous la forme du réglage intermittent et automatique des essuie-glaces.

Cette invention a marqué un tournant dans la conception des essuie-glaces, ouvrant la voie aux technologies actuelles qui s'appuient sur des capteurs de pluie et des systèmes électroniques avancés pour optimiser leur fonctionnement.

Nov. 7, 1967

R. W. KEARNS

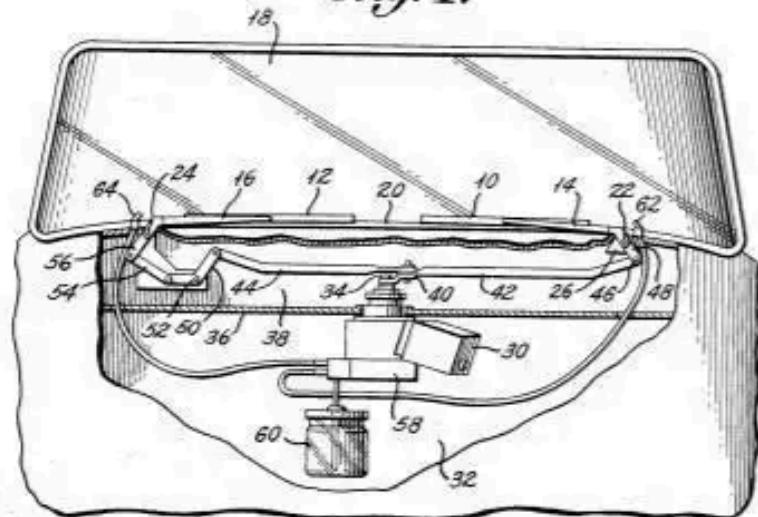
3,351,836

WINDSHIELD WIPER SYSTEM WITH INTERMITTENT OPERATION

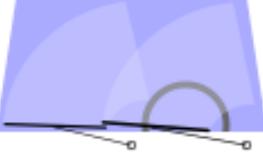
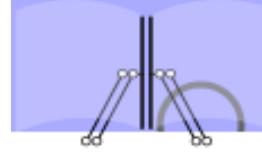
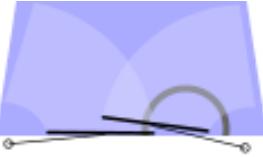
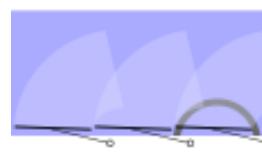
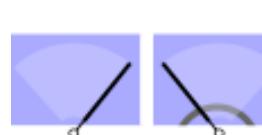
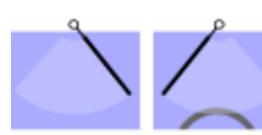
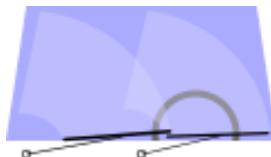
Filed Dec. 1, 1964

3 Sheets-Sheet 1

Fig. 1.



3.4 Les différents types de géométrie

	Essuie-glace en fonctionnement simultané et parallèle, conception standard.		Essuie-glace monobras en parallélogramme, aussi appelé à pantographe.
	Essuie-glace à disposition centrée-symétrique ou antagoniste (essuyage opposé).		Essuie-glace à trois balais.
	Essuie-glace antagoniste inversé (placé au repos dans l'habillage de chaque pilier du pare-brise).		Essuie-glace indépendant (en dessous).
	Essuie-glace monobalaï ou monobras.		Essuie-glace indépendant (au dessus).
		Essuie-glace en fonctionnement simultané et parallèle.	

3.5 Les acteurs majeurs du secteur

Nom	Logo	Description
Valeo		Équipementier français très présent dans l'automobile, propose une large gamme d'essuie-glace (du balai traditionnel aux modèles plats et hybrides), ainsi que des systèmes complets (moteurs, bras, mécanismes).
Robert Bosch GmbH		Groupe allemand proposant la gamme d'essuie-glace « Bosch », réputée pour sa qualité et son innovation (par exemple, les lames plates Aerotwin). Bosch fournit également les systèmes de motorisation et de commandes électroniques associés.

Denso Corporation		Entreprise japonaise leader dans de nombreux composants automobiles. Denso conçoit et fabrique des essuie-glace pour les constructeurs asiatiques et internationaux, avec un fort accent sur la fiabilité et l'intégration OEM (Original Equipment Manufacturer).
Trico Group		Société américaine spécialisée dans les balais et systèmes d'essuie-glace depuis plus d'un siècle. Leurs marques (Trico, Anco, etc.) sont bien implantées en première et seconde monte (OEM et rechange).
Mitsuba Corporation		Fabricant japonais de moteurs et systèmes d'essuie-glace (y compris les bras et la liaison bielle-manivelle). Très présent auprès des constructeurs asiatiques (Honda, Toyota, Nissan, etc.), Mitsuba est aussi sous-traitant pour d'autres marques internationales.

4. Planification

4.1 Répartition des tâches

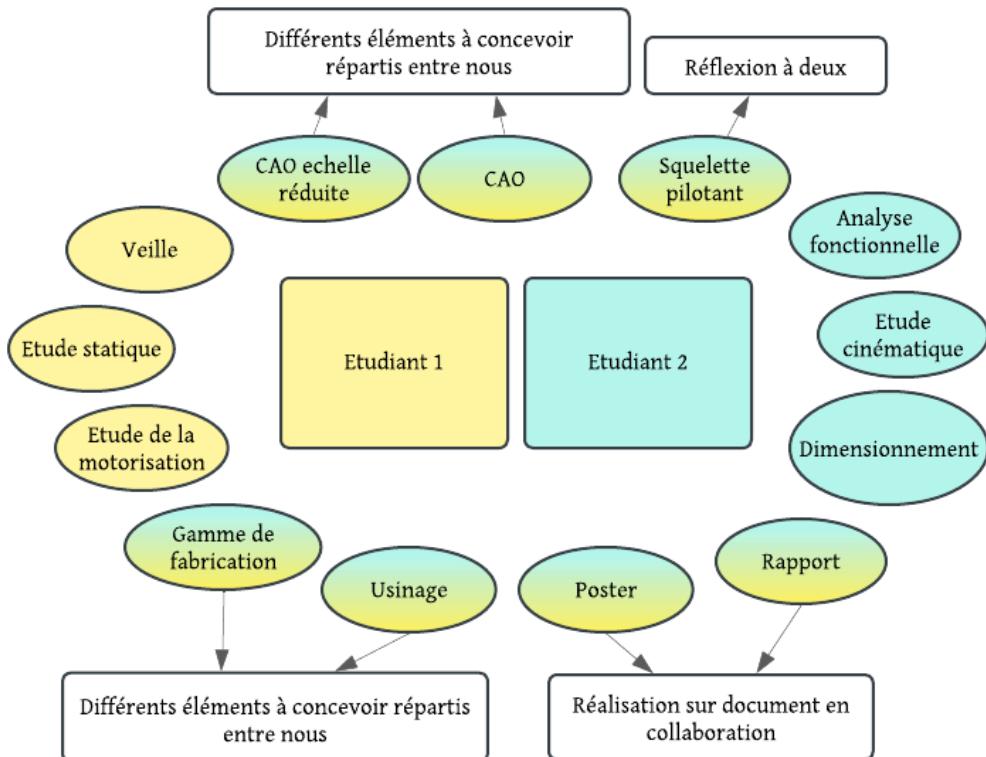


FIGURE 5 - DIAGRAMME DE LA RÉPARTITION DES TÂCHES

4.2 Gantt

La planification d'un projet technique est essentielle pour structurer le travail, définir les étapes clés et assurer une progression efficace jusqu'à la réalisation finale. Le projet de conception et de fabrication de l'essuie-glace du **VIP AMU** s'étend sur plusieurs mois et suit une démarche méthodique organisée en plusieurs phases.

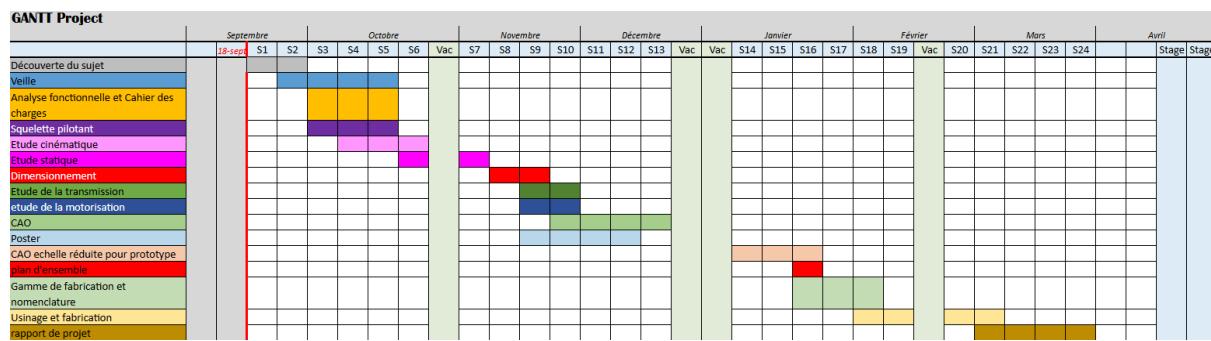


FIGURE 6 - GANTT DU PROJET

4.3 Outil utilisé pour notre organisation

Outil	Description
excel collaboratif	Afin d'analyser le gantt du projet
good notes (tablette) collaboration	Afin de voir l'avancement du projet des different membre du groupe
Répertoire TEMP	Afin de classer les fichier de CAO en collaboration afin de pouvoir chacun apporter des modifications
3D experience cloud	Afin de pouvoir faire des analyses et de les retrouver sur le cloud

5. Recherche des paramètres du système

5.1 Graphe des liaisons

Afin de réaliser notre schéma cinématique, nous devons établir le graphe des liaisons de l'essuie-glace.

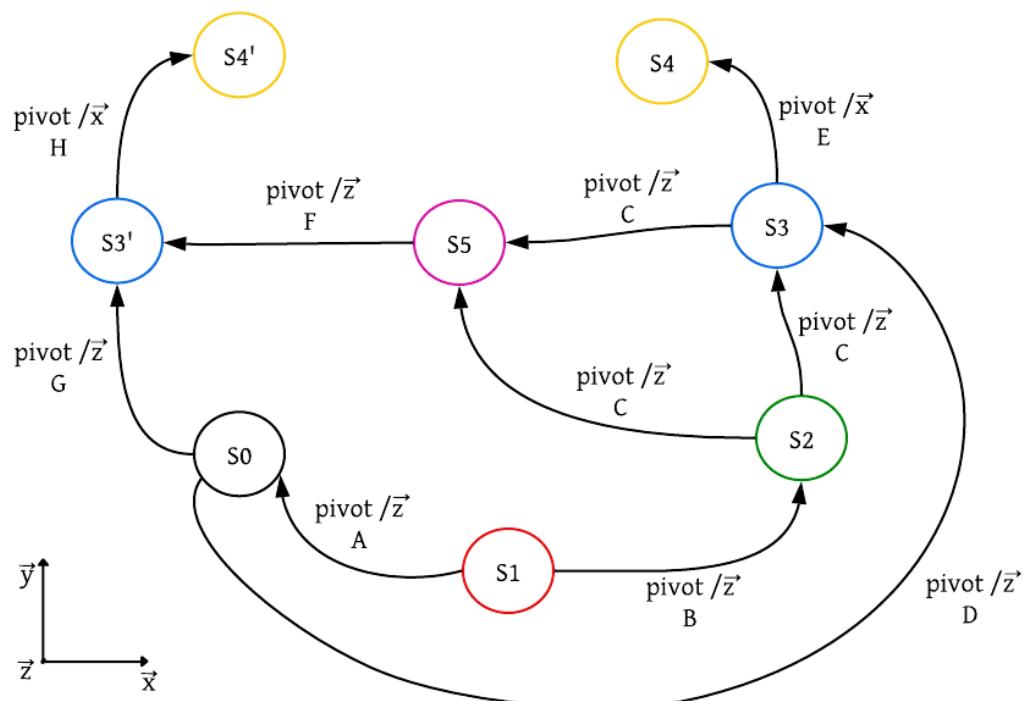


FIGURE 7 - GRAPHE DES LIAISONS

5.2 Schéma cinématique

Sur ce schéma cinématique, on remarque que nos pivots sont autour de l'axe Z, à l'exception des pivots situés sur l'axe X aux points H et E. Ces pivots nous permettent de lever les bras d'essuie-glace afin de pouvoir changer les balais et, en même temps, d'ajuster la pression exercée sur le pare-brise.

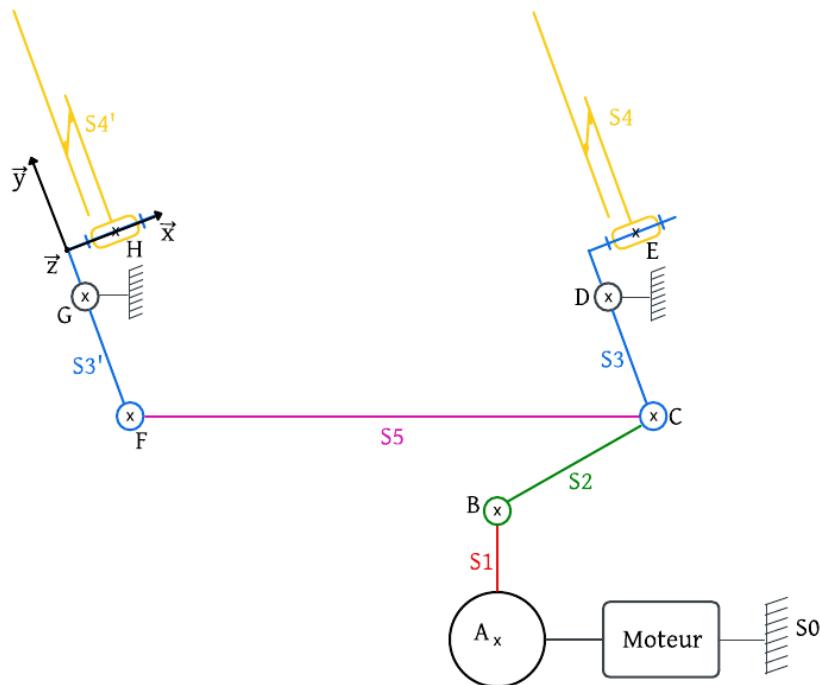


FIGURE 8 - SCHÉMA CINÉMATIQUE

5.3 Squelette pilotant

Une fois le système clarifié grâce au graphe des liaisons et au schéma cinématique, nous devons déterminer les paramètres du mécanisme.

En fonction des contraintes liées au pare-brise du VIP AMU, nous disposons d'une dimension générale pour l'essuie-glace. Ainsi, à partir de la largeur de la plaque, nous pouvons déterminer la longueur de la bielle rose-beige, ainsi que celle des bras et des balais situés au-dessus du pivot du bâti. En tenant compte des marges de sécurité, nous obtenons les premiers paramètres dimensionnels.

Nous parvenons à définir tous les paramètres, à l'exception de la bielle orange et de la bielle verte. En effet, le rapport de longueur entre ces deux bielles influence directement l'amplitude du balayage. Pour affiner ces dimensions, nous avons modélisé le système sur **CATIA V5** afin de simuler son fonctionnement. En faisant varier le rapport entre la bielle orange et la bielle verte, nous avons réussi

à déterminer les longueurs optimales permettant un fonctionnement efficace de l'essuie-glace, avec une surface de balayage supérieure à 70 % (conformément à la fonction FP1).

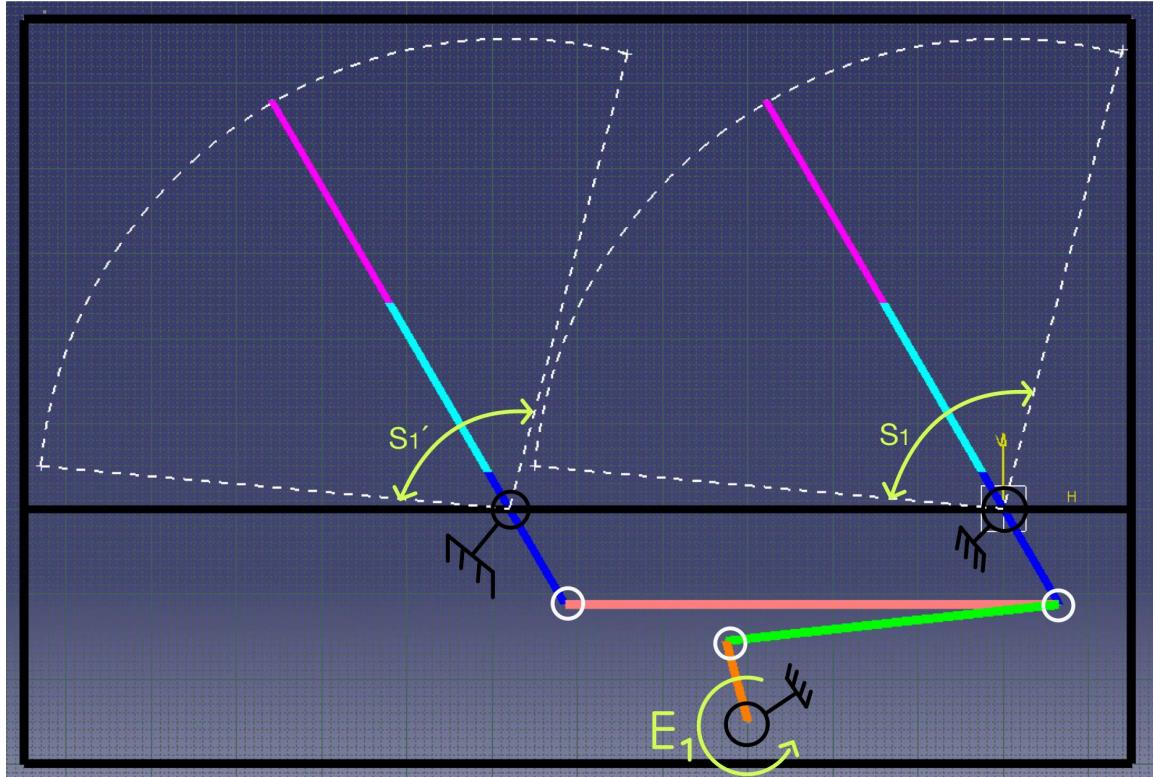


FIGURE 9 - SQUELETTE PILOTANT

5.4 loi entrée sortie

Afin de vérifier notre étude sur le squelette pilotant, nous établissons la loi de sortie du système afin d'obtenir une vérification à double facteur.

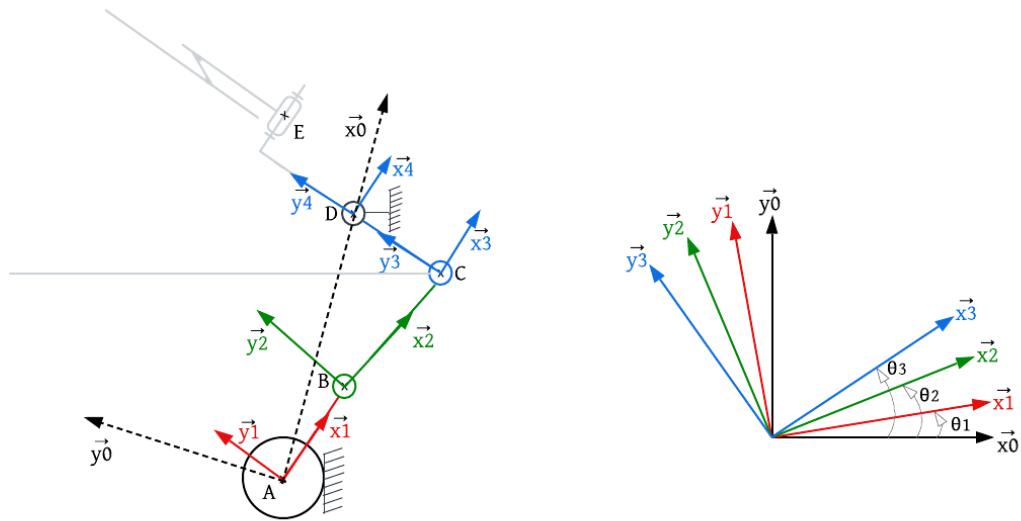


FIGURE 10 - CADRANS POUR ETUDE CINÉMATIQUE

$$AB^2 + AB(-2\lambda \cos(\theta_1) + 2CD \cos(\theta_3) \cos(\theta_1) + 2\sin(\theta_1)CD \sin(\theta_3)) + AD^2 - 2\lambda CD \cos(\theta_3) + CD^2 - BC^2 = 0$$

Ainsi, nous déterminons les meilleurs paramètres pour notre système. Grâce à cela, nous obtenons les longueurs de chaque élément du mécanisme.

6. Dimensionnement des éléments

Nous réalisons un PFS afin de connaître la force exercée sur la bielle orange, dans le but de dimensionner le moteur et les pivots.

6.1 Pivot, transmission et moteur

On cherche ici à réaliser un PFS dans le but de déterminer la force en fonction de l'angle de la bielle au moteur, afin d'identifier la force maximale exercée sur la bielle et ainsi dimensionner les pivots.

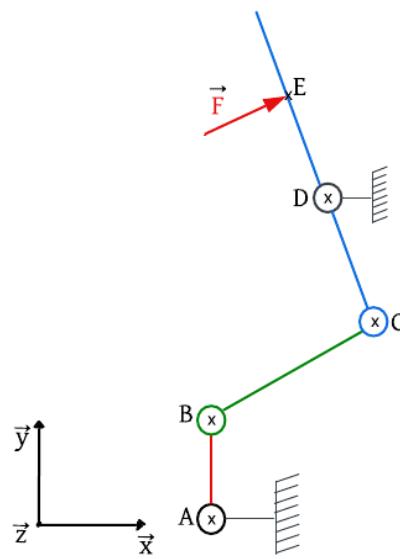


FIGURE 11 - PFS 1

Application :

$$\{\tau_C\} = \begin{Bmatrix} F_{1/2} \cos(\alpha) & 0 \\ F_{1/2} \sin(\alpha) & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_C$$

$$\{\tau_B\} = \begin{Bmatrix} F_{3/2} \cos(\alpha) & 0 \\ F_{3/2} \sin(\alpha) & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_{B \text{ ou } C}$$

The diagram shows a beam structure. A coordinate system is defined with the \vec{x} -axis pointing right, the \vec{y} -axis pointing up, and the \vec{z} -axis pointing out of the page. The beam consists of two segments: segment BC (green) and segment CB (green). Segment BC is pinned at point C (marked with a green circle and 'x') and is fixed at point B (marked with a green circle and 'x'). Segment CB is pinned at point B and is fixed at point C. A force vector $\vec{F}_{1/2}$ is applied at point C, and a force vector $\vec{F}_{3/2}$ is applied at point B. The angle between the beam segments and the horizontal is labeled α .

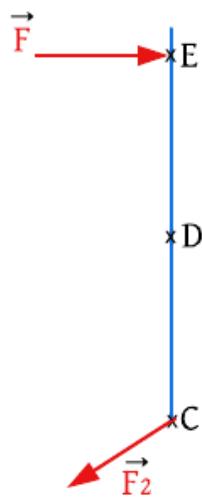
FIGURE 12 - BARRE 2 PFS 1

$$F_{3/2} \cos(\alpha) + F_{1/2} \cos(\alpha) = 0 \quad F_{3/2} = -F_{1/2}$$

$$\Rightarrow \quad \|\overrightarrow{F_{3/2}}\| = \|\overrightarrow{F_{1/2}}\| = \|\overrightarrow{F_2}\|$$

$$\{\tau_B\} = \begin{Bmatrix} F_2 \cos(\alpha) & 0 \\ F_2 \sin(\alpha) & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_B$$

$$\{\tau_C\} = \begin{Bmatrix} -F_2 \cos(\alpha) & 0 \\ -F_2 \sin(\alpha) & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_C$$



$$\{\tau_E\} = \begin{Bmatrix} F & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & -F \cdot ED \end{Bmatrix}_D$$

$$\{\tau_C\} = \begin{Bmatrix} -F_2 \cos(\alpha) & 0 \\ F_2 \sin(\alpha) & 0 \\ 0 & F_2 \cos(\alpha) \cdot CD \end{Bmatrix}_D$$

FIGURE 13 - BARRE 1 PFS 1

$$F + F_2 \cos(\alpha) = 0 \Leftrightarrow F_2 \cos(\alpha) = -F \Leftrightarrow F_2 = \frac{-F}{\cos(\alpha)}$$

$$F_2 \cos(\alpha) \cdot CD = F \cdot ED \Leftrightarrow F_2 = \frac{-F \cdot ED}{\cos(\alpha) \cdot CD}$$

Nous savons que l'angle alpha varie entre 20 et 50 °, ainsi nous pouvons tracer l'évolution de la force en fonction de l'angle alpha

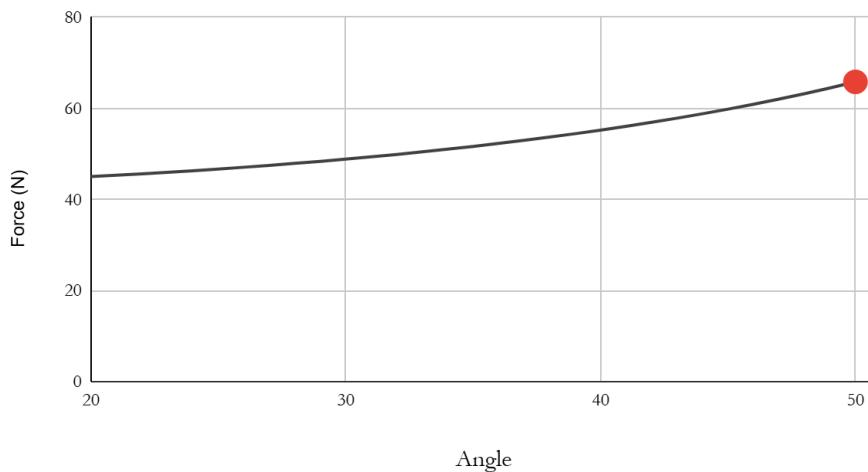


FIGURE 14 - EVOLUTION DE LA FORCE A LA BIELLE

On observe grâce à ce graphique que l'effort sur le bras varie entre 45 N et 66 N en fonction de la position du mécanisme

On retient $F_{\text{Maxi}} = 65 \text{ N}$

Calcul de C_{maxi} :

$$C_{\text{maxi}} = C_{\text{sortie}} = F_{\text{maxi}} \cdot r$$

$$C_{\text{maxi}} = C_{\text{sortie}} \cdot \omega = 6.5 \text{ N/m}$$

Calcul de P_{moteur} :

$$P_{\text{moteur}} = P_{\text{sortie}} = C_{\text{sortie}} \cdot \omega = 20,5 \text{ W}$$

Pour dimensionner les pivot :

$$d > \sqrt{\frac{32 \times T}{3\pi \times R_e}} = 1.60 \text{ mm}$$

Avec

$k_s = 2$

$R_e = 175 \text{ MPa}$

$T = 65 \text{ N}$

6.2 Dimensionnement des barres

Afin de dimensionner nos barres (largeur et hauteur), nous allons dimensionner la bielle orange à l'endroit où la contrainte est maximale.

Nous faisons varier les valeurs de b et h dans la formule afin de trouver une contrainte maximale suffisamment faible, inférieure à la contrainte admissible pour de l'acier.

Pour déterminer M_{fz} max, nous simulons la poutre dans RDM Le Mans .Après plusieurs essais, nous validons les dimensions suivantes : $h = 7,5$ mm et $b = 15$ mm, ce qui donne une contrainte maximale de 35 MPa.

7. Modélisation du système

Liaisons et Fixations

- Les bras seront assemblés par des pivots. Afin d'optimiser cette liaison, nous élargissons la surface supérieure des pivots. Cela permet de créer un appui plan sur la barre et ainsi de garantir un meilleur guidage en rotation.
- Pour les pivots au niveau du bâti, un appui plan large est réalisé afin d'assurer la stabilité structurelle de l'ensemble du mécanisme.

Fixation des Balais

- Les balais d'essuie-glace sont des éléments standardisés
- Pour répondre aux exigences du cahier des charges, et afin d'assurer à la fois un bon maintien en pression et une facilité de démontage en cas de remplacement des balais, nous ajoutons un ressort extérieur entre la liaison pivot sur l'axe X

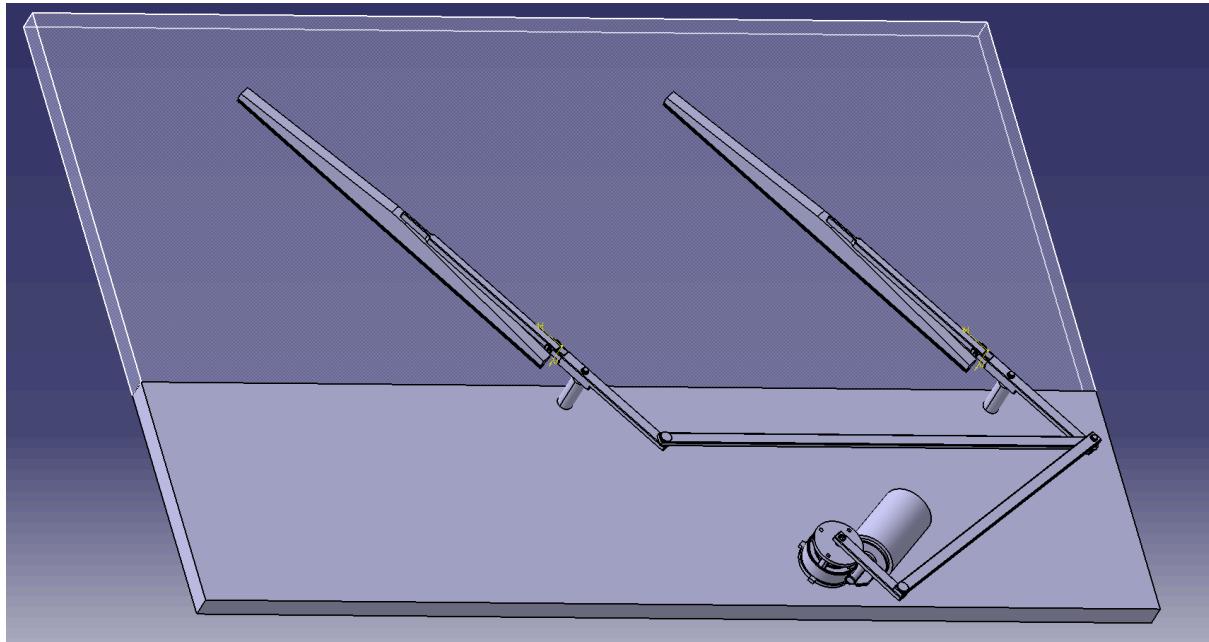


FIGURE 15 - CAO ECHELLE 1:1

8. Fabrication

Pour garantir un prototype transportable, nous réalisons le système à l'échelle 1:4.

Cette réduction implique que les balais d'essuie-glace ne peuvent pas être achetés en tant qu'éléments standards. Ainsi, nous avons modélisé une nouvelle CAO des balais, qui seront ensuite imprimés en 3D. De la même manière, le bras supportant le balai a été repensé avec une encoche spécifique afin de faciliter son assemblage.

Concernant le ressort, il n'existe pas en taille adaptée à notre échelle réduite. Pour pallier cette contrainte, nous concevons un cache spécifique qui viendra se glisser sur la liaison, permettant ainsi de maintenir le balai en pression sur le bâti.

Matériaux et Processus de Fabrication

- Bâti : Une planche en bois vernis représente le pare-brise.
- Bielle moteur : Réaliser dans l'industrie en plastique moulé, représenté dans notre cas en impression 3D.
- Bras support du balai : Usinage par fraisage.
- Pivots du bâti : Usinés en tournage.
- Bras de liaison : Réalisés en tôle découpée et percée.

- Goupilles des pivots : Réaliser dans l'industrie en tournage, représenté dans notre cas en impression 3D.
- Moteur à courant continu 12V ainsi que son alimentation : Acheter.
- Circlips : Acheter.
- Lame des balais : Glissée directement dans les balais imprimés en 3D.

Nous devons réaliser un nouveau PFS afin d'adapter notre essuie-glace à l'échelle 1:4, dans le but de redimensionner le moteur qui sera utilisé.

PFS n°2

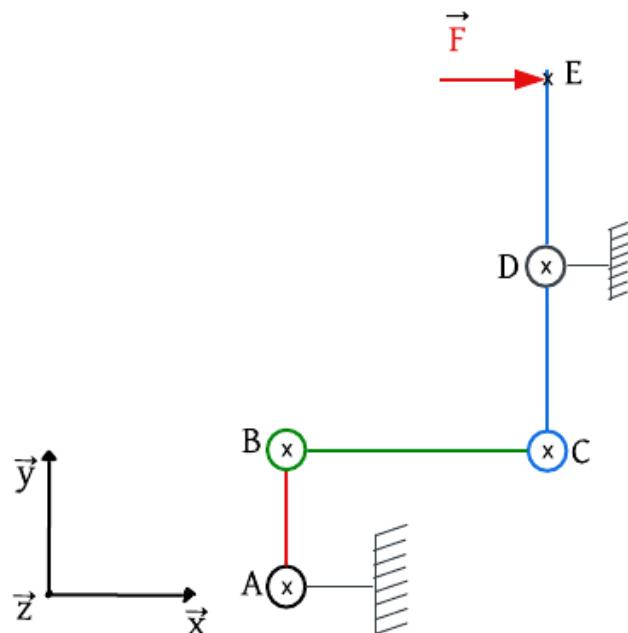
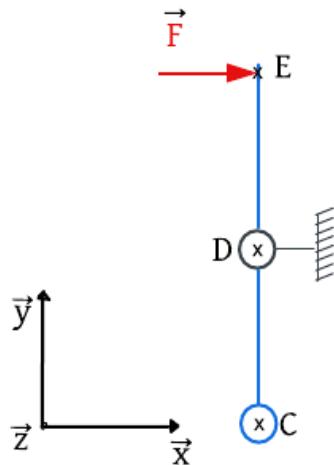


FIGURE 16 - PFS 2

On isole la barre 1 (bleu)



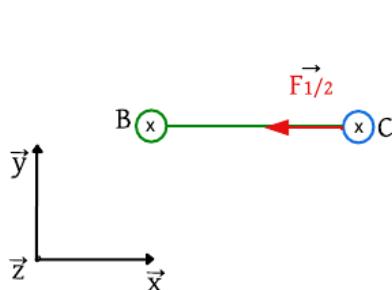
$$\{\mathcal{T}_F\} = \begin{Bmatrix} F & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_E = \begin{Bmatrix} F & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & -F \cdot ED \end{Bmatrix}_D$$

$$\{\mathcal{T}_F\} = \begin{Bmatrix} \frac{-F \cdot ED}{DC} & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_C$$

$$\vec{F}_{1/2} = \frac{-F \cdot ED}{DC} \cdot \vec{x} \rightarrow 0$$

FIGURE 17 - BARRE 1 PFS 2

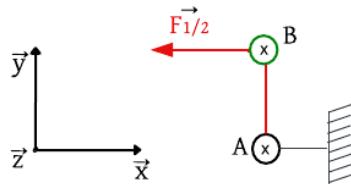
On isole la barre 2 (verte)



$$\{\mathcal{T}F_{1/2}\} = \begin{Bmatrix} -F_{1/2} & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{Bmatrix}_B$$

FIGURE 18 - BARRE 2 PFS 2

On isole la barre .3 (rouge)



$$\{\mathcal{T}F_{1/2}\} = \begin{Bmatrix} -F_{1/2} & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & F_{1/2} \cdot BA \end{Bmatrix}_A$$

FIGURE 19 - BARRE PFS 3

Application numérique :

Le moment au point E est égale à : $\frac{5 \times 0.0625}{0.05} \times 0.025 \simeq 0.157 \text{ N.m}^{-1}$

$$P_{\text{moteur mini}} = \frac{40}{60} \times 2\pi \times 0.157 \simeq 0.658 \text{ W}$$

Nous utiliserons donc ces valeurs pour choisir un moteur adapté, car ce dimensionnement est réalisé dans la pire configuration possible.

Nous avons ensuite vérifié les calculs à l'aide d'une simulation réalisée sur 3D experience.

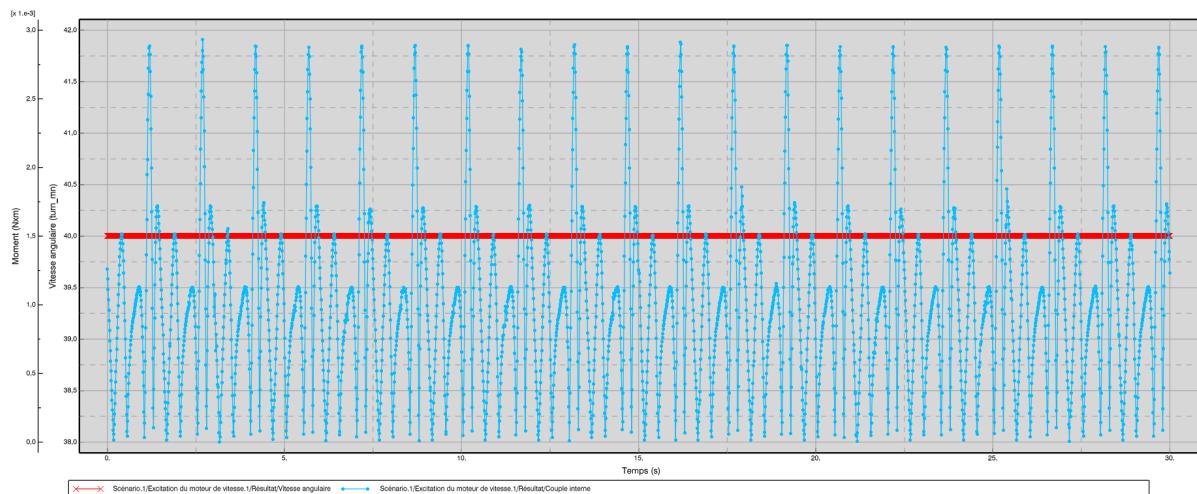


FIGURE 20 - COUPLE MAXI DU MOTEUR

Sur ce graphique, on observe que le couple maximal du moteur est de 0,003 N·m. Cette valeur est bien en dessous de celle calculée précédemment. Nous expliquons cette différence par une majoration de la force de frottement sur le pare-brise, ainsi que par le positionnement de la force et du mécanisme, qui augmente les efforts transmis lors du PFS.

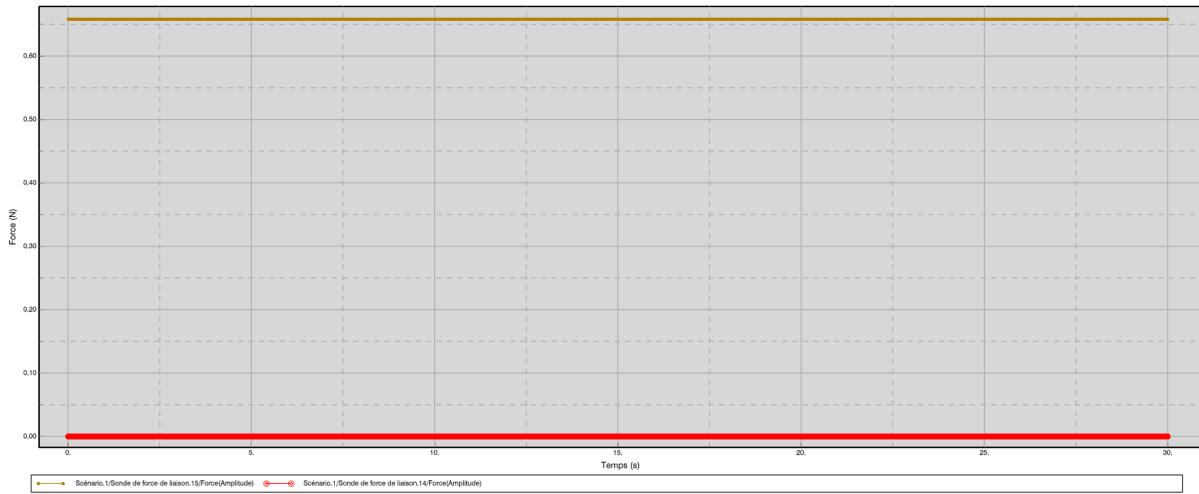


FIGURE 21 - FORCE DE FROTTEMENT D'UNE LAME

Sur ce graphique, nous observons que la force de frottement d'un balai contre le pare-brise est d'environ 0,66 N. Cette valeur est inférieure à celle utilisée lors de notre calcul de dimensionnement du moteur.

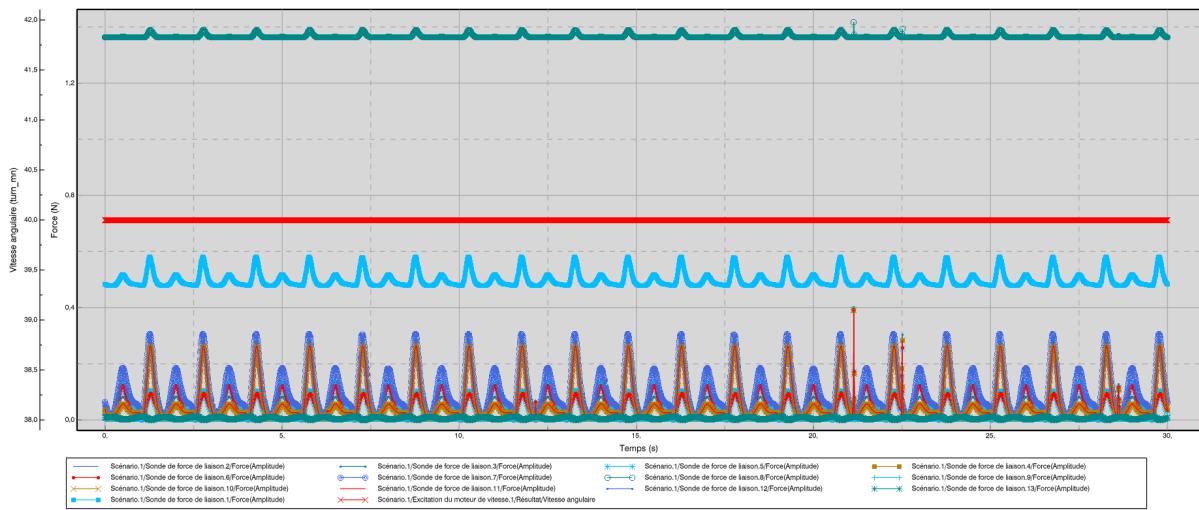


FIGURE 22 - EFFORT MAXI PIVOT AVEC FROTTEMENT

Sur ce graphique, on observe que l'effort maximal dans notre mécanisme est d'environ 1,4 N et se situe aux points D et G (se référer au schéma cinématique page 21), entre la barre bleue et le pivot bâti.

Nous avons donc utilisé cet effort pour dimensionner l'ensemble des pivots en cisaillement. Matériaux de la lame utilisation du logiciel Granta EduPack 2022 : A partir des résultats du tableau on peut dire que le matériau qu'on peut choisir pour la lame de l'essuie glace est : le caoutchouc naturel rubber (NR)

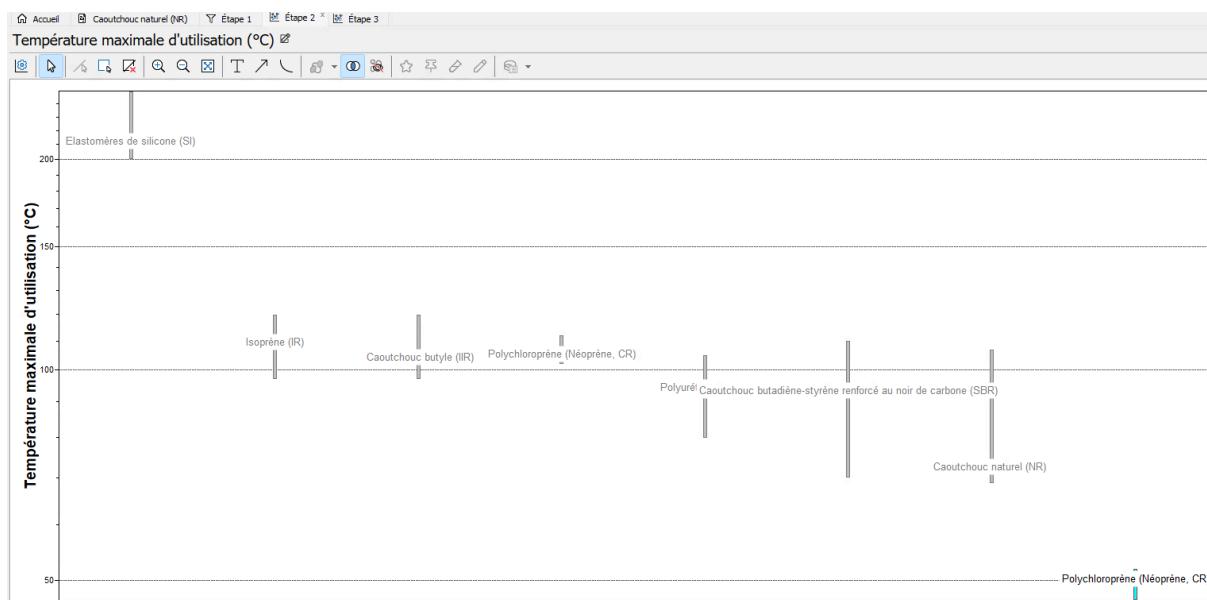


FIGURE 23 - LOGICIEL GRANTA EDUPACK 2022

Aperçu de la CAO

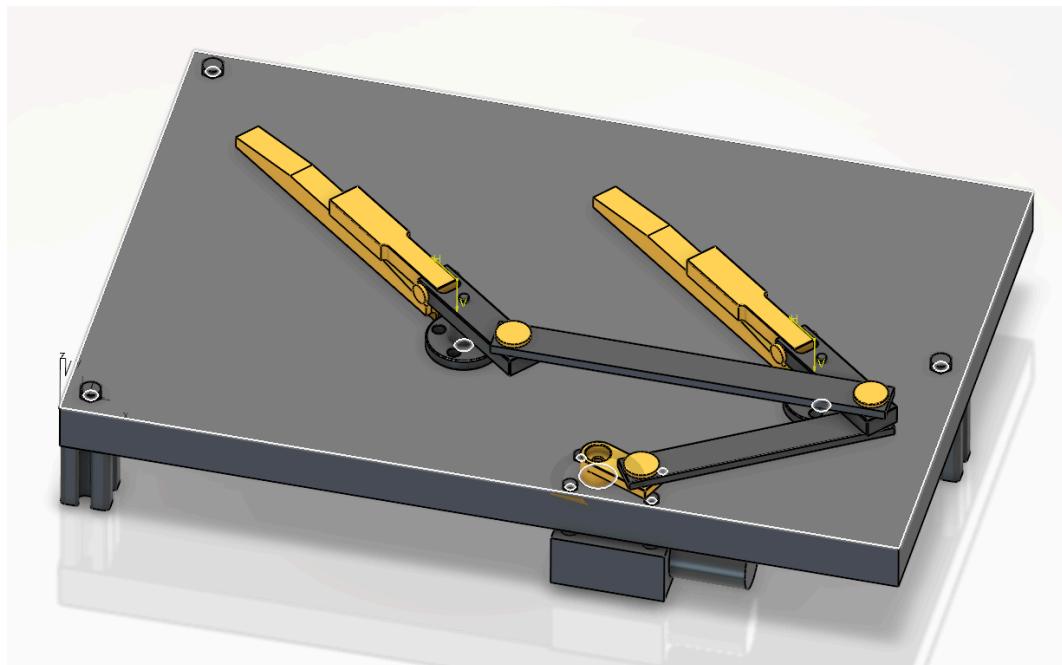


FIGURE 24 - CAO ÉCHELLE 1:4

9. Test de conformité au cahier des charges

9.1 Résultat de la fabrication



FIGURE 25 - PHOTO DU PROTOTYPE 1



FIGURE 26 - PHOTO DU PROTOTYPE 2

9.2 Vérification des fonctions

Tableau de validation des fonctions				
fonction	critère	Contrôlé ?	résultat	Validation
FC2:Être compact pour intégrer le véhicule				
FC21:Être compact	Dimensions max.	Oui	mesure : longueur hauteur épaisseur	
FC3:être durable et abordable				
FC31:Utiliser au maximum les standards d'entreprise (matériaux, procédés, fournisseurs,...)	Matériaux standards	Oui	Acier, plastique ABS	
FC32:Avoir un prix accessible	Coût de fabrication	Oui	< 100€	
FC4 : Résister à l'environnement d'utilisation				
FC43:Ne pas polluer l'environnement pendant l'utilisation ou lors de la destruction	Recyclabilité	Oui	80% recyclable	
FC5 : Être ergonomique				
FC54:ne pas être dangereux (coupure ...)	Bords arrondis	oui	Pas d'angle coupant	

Certaines fonctions n'ont pas pu être testées en raison d'un manque de temps pour la mise en place des dispositifs de test, ou en raison de problèmes liés à l'échelle de notre fabrication.

10. Perspectives

Parmi les perspectives d'amélioration à l'échelle 1:1, on peut envisager l'intégration de vérins télescopiques aux bras d'essuie-glace.

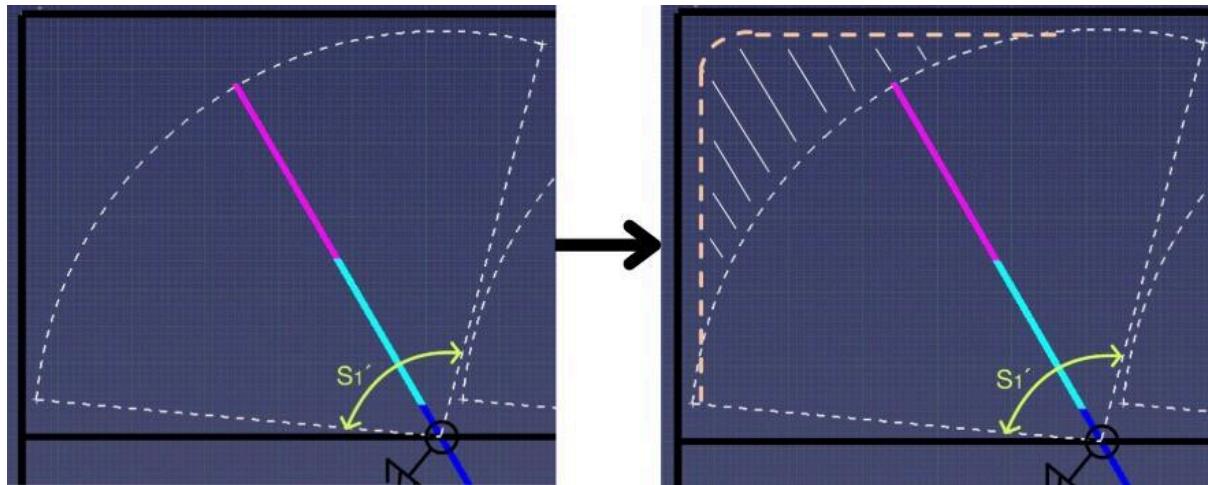


FIGURE 27 - PERSPECTIVES

Cela permettrait d'améliorer l'efficacité du nettoyage du pare-brise, notamment en :

- Allongeant les balais jusqu'aux bords du pare-brise.
- Réduisant les zones non couvertes par le nettoyage.

Une autre amélioration possible serait d'ajouter un système électrique permettant de contrôler manuellement la vitesse de balayage des essuie-glaces. Grâce à ce système, le conducteur pourrait adapter la vitesse des balais en fonction de l'intensité de la pluie, ce qui améliorerait la visibilité et le confort de conduite en cas de conditions météorologiques variables.

11. Conclusion

11.1 Compétences développées et approfondies :

- Utilisation de CATIA V5
- Utilisation de 3D experience au niveau de l'analyse des trajectoires
- Analyse fonctionnelle et détermination des fonctions importantes avec la valorisation des fonctions et PARETO
- Utilisation de CURA et ajustement pour l'impression 3D

11.2 Problèmes rencontrés et solutions apportées

- Lors de la conception à l'échelle 1 nous avions prévu d'acheter un ressort dans le commerce. Cependant lors du passage à l'échelle 1:4 nous n'avons pas trouvé de

ressort adapté.

- L'impression 3D des pivots ne permettait la réalisation de rainures adaptées aux circlips. En effet les supports étaient difficiles à enlever, ainsi les rainures étaient inutilisables. Nous avons donc remplacé les circlips par des goupilles.
- Lors du montage de notre prototype, nous nous sommes rendu compte que nous ne pouvions pas mettre les circlips en position sur nos pivot bâti usiné. Ce problème est dû à un manque de précision lors de l'usinage. Il nous aurait donc fallu rajouter du jeu afin de rendre le montage des circlips possible.
- L'usinage de la barre bleue s'est achevé avec le double perçage destiné à la liaison pivot. Ce perçage devait être réalisé par contre-perçage afin de garantir une bonne coaxialité. Cependant, en raison de la faible épaisseur des deux bras de la pièce, ceux-ci se sont déformés durant l'opération. Afin d'éviter cette déformation il aurait fallu faire ce perçage avant d'usiner entre les deux bras.

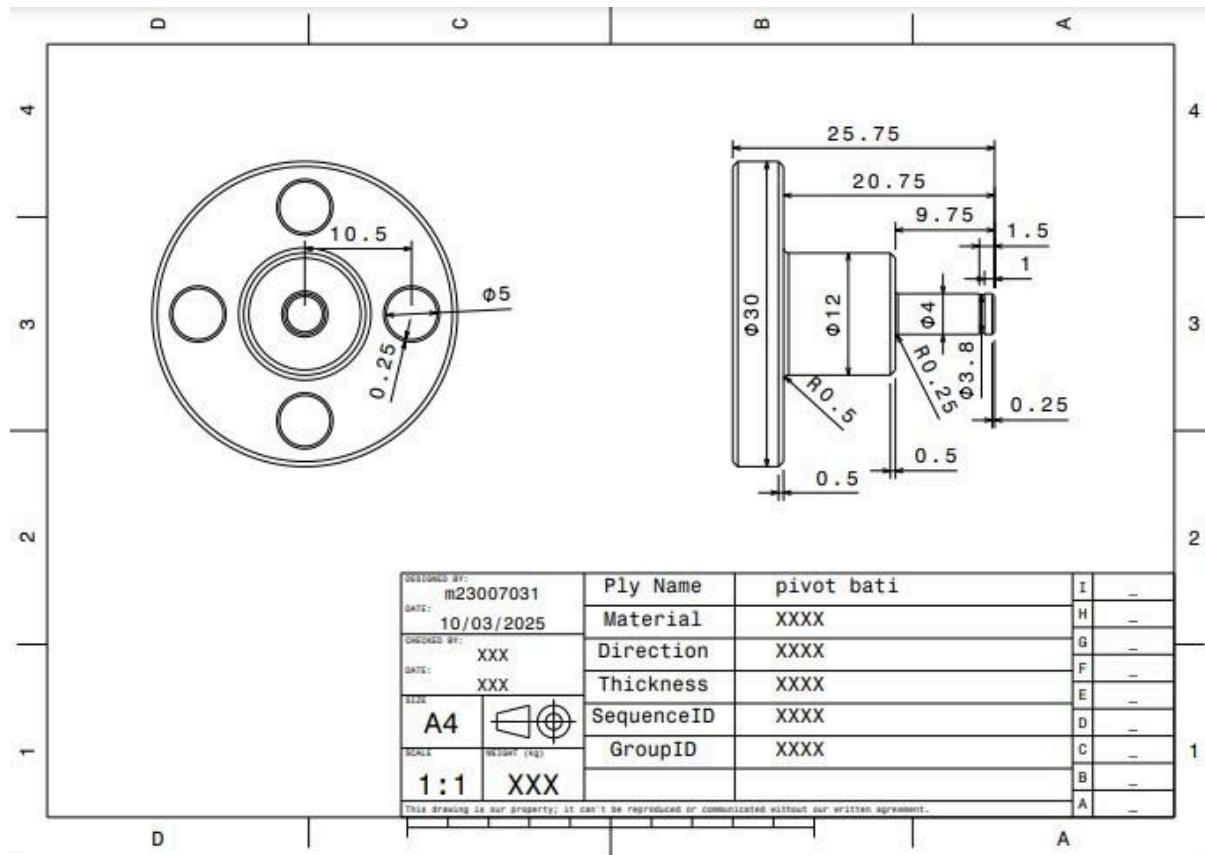
11.3 Limites du prototype

- Le prototype à l'échelle 1:4 ne permet pas de tester le système à pleine échelle avec de vraies conditions météo.

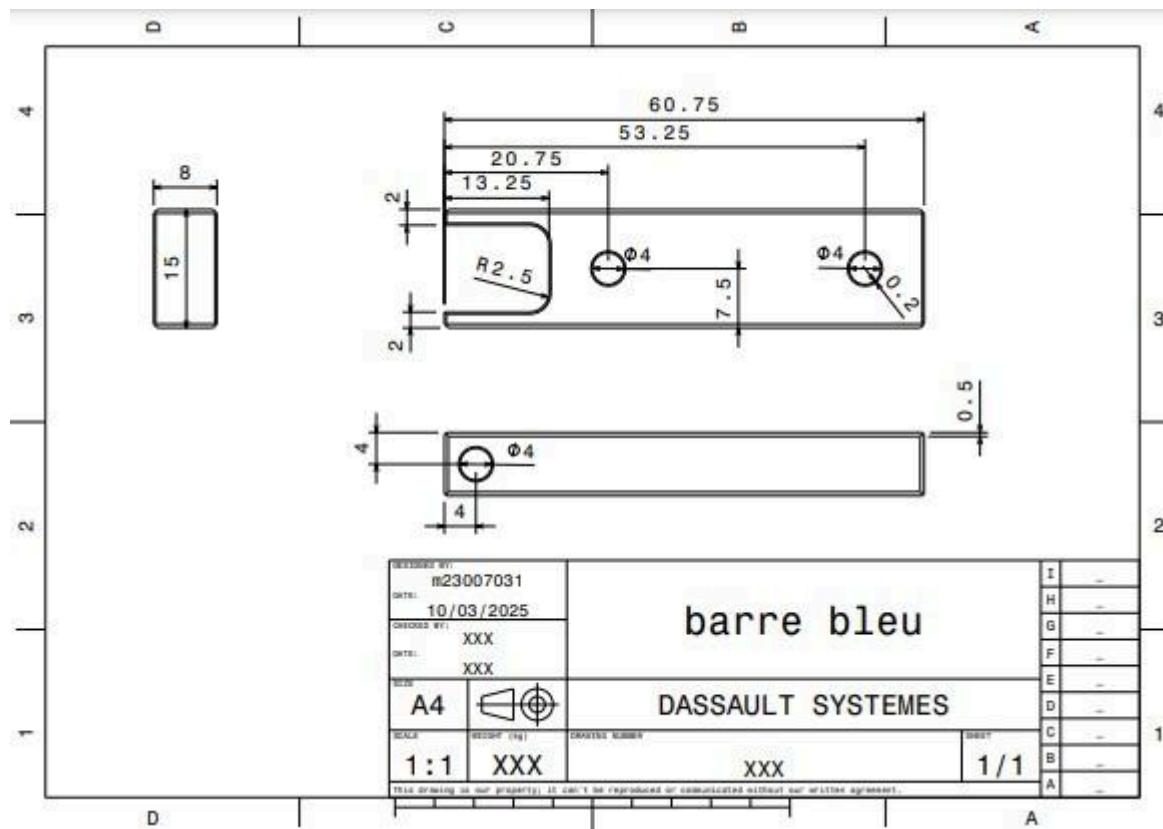
11.4 Retour d'expérience

- Mise en pratique concrète des notions vues en cours
- Développement de l'autonomie dans l'approche de conception.
- Apprentissage du travail en groupe avec un vrai planning et des deadlines.
- Projet très formateur, motivant, et valorisant dans une démarche quasi-industrielle.

Annexe 1



Annexe 2



Annexe 3

 Institut Universitaire de Technologie Aix-Marseille Université		NOMENCLATURE DES PHASES		BUREAU DES MÉTHODES
Etabli par:		ELEMENT : barre bleu		N°:
Le:		S/Ensemble:		Matière: acier
Programme:		Ensemble: essuie glace		Brut:
N° de phase	Désignation des opérations		Machine-outils	Observations
00	SCIAGE			
10	FRAISAGE		VERNIER	
20	FRAISAGE		VERNIER	
30	PERCAGE		perceuse sensitive	
40	FRAISAGE		VERNIER	
50	FRAISAGE		VERNIER	
60	PERCAGE		perceuse sensitive	

Annexe 4

No. 743,801.

PATENTED NOV. 10, 1903.

M. ANDERSON.
WINDOW CLEANING DEVICE.
APPLICATION FILED JUNE 18, 1903.

NO MODEL.

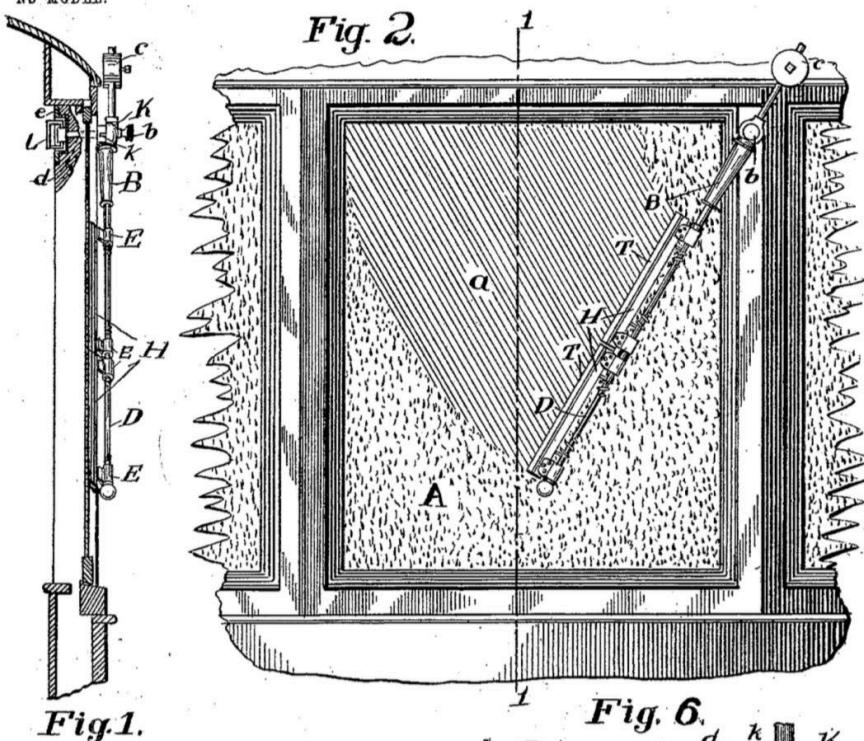
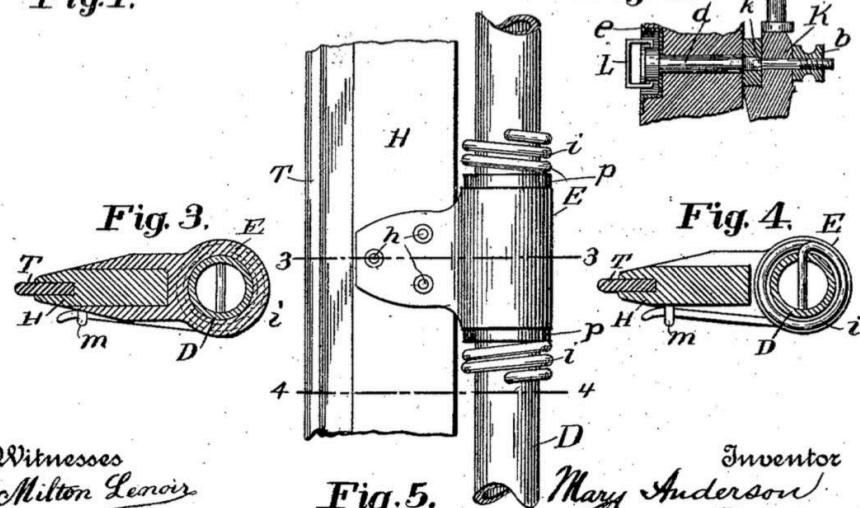


Fig. 1.

Fig. 6.



Witnesses
Milton Lenoir

Walter T. Estabrook

Inventor
Mary Anderson

By *Lawson O. N. H. D. & Co.*
Attorney.

Annexe 5

C. A. BRIDGWOLD,

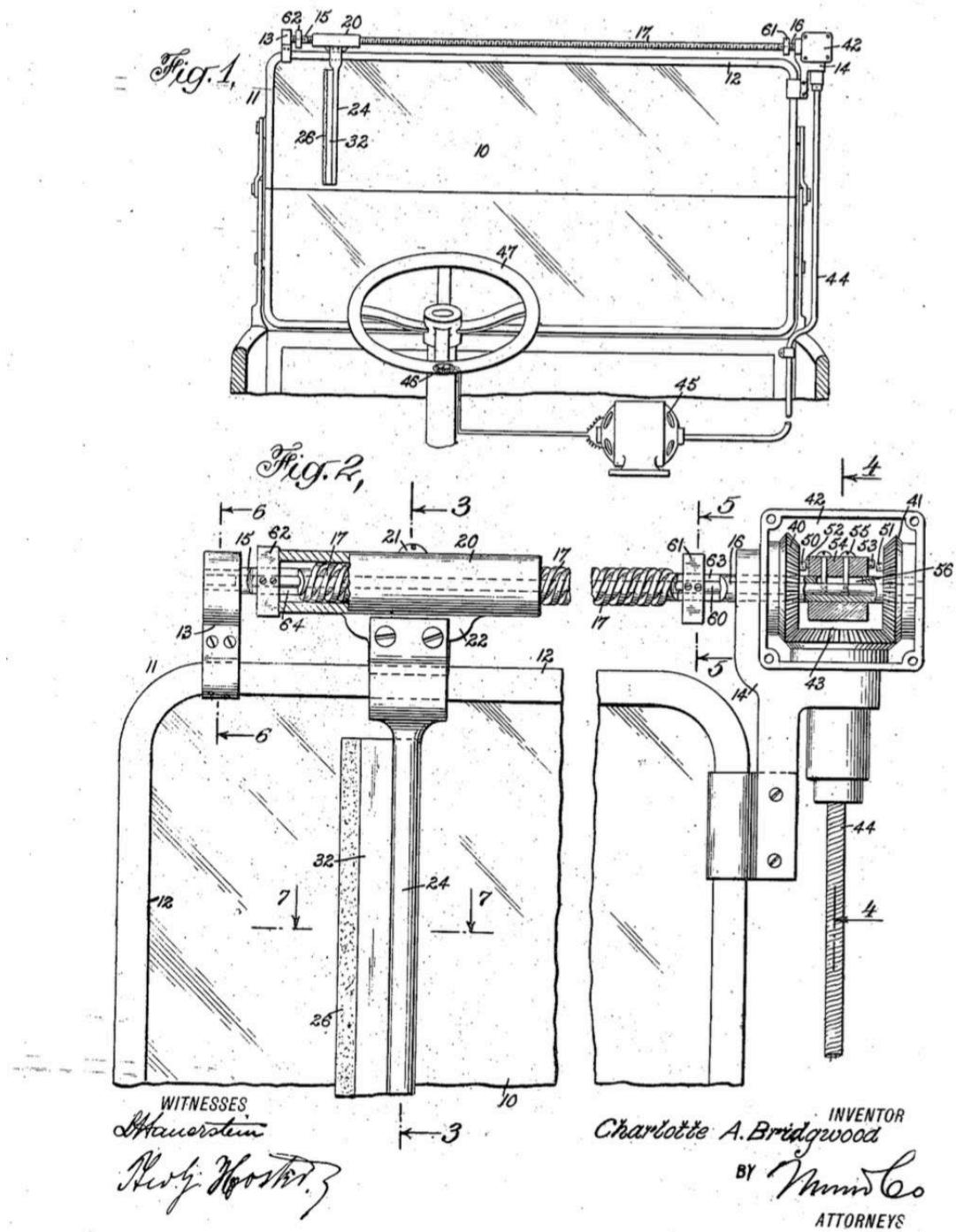
WIND SHIELD CLEANER

APPLICATION FILED APR. 12, 1917

1,253,929.

Patented Jan. 15, 1918.

2 SHEETS—SHEET 1.



Prototype essuie-glace

12. Bibliographie

[1] Kearns, R. W. (1964). *Windshield wiper system with intermittent operation*. United States Patent US3351836A.

[2] Bridgwood, C. A. (1917). *Electric storm windshield cleaner*. United States Patent US1253929A.

[3] Anderson, M. (1903). *Window cleaning device*. United States Patent US743801A. site internet

Logiciels :

Dassault Systèmes. *CATIA V5*. Logiciel de conception et d'ingénierie assistée par ordinateur.

Dassault Systèmes. *3DEXPERIENCE Platform*. Environnement collaboratif pour le développement produit.

Microsoft Corporation. *Microsoft Excel*. Logiciel de tableur.

Lucid Software Inc.. *Lucidchart*. Logiciel de création de diagrammes et de schémas.

Overleaf. *Overleaf*. Éditeur LaTeX collaboratif en ligne.

Google. *Google Docs*. Traitement de texte collaboratif en ligne.

Granta Design. *Granta EduPack 2022*. Logiciel de sélection de matériaux pour l'ingénierie.

Université du Mans. *RDM Le Mans*. Logiciel d'analyse de résistance des matériaux.

Ultimaker. *Ultimaker Cura*. Logiciel de tranchage pour impression 3D