

PROJET DE BA2

GROUPE 16 GM

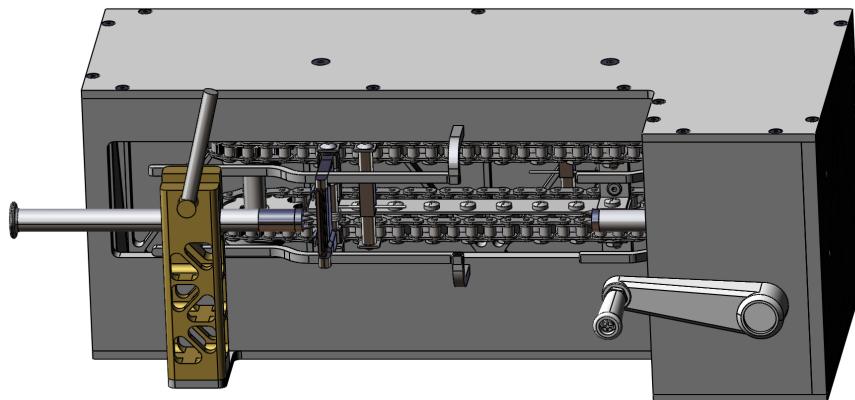
## Epluche Carotte

*Auteurs :*

Nevò MIRZAI HAMADANI  
Alexandro MAJOCCHI  
Michele POLI  
Manfredi TAMBELLA

*SCIPER :*

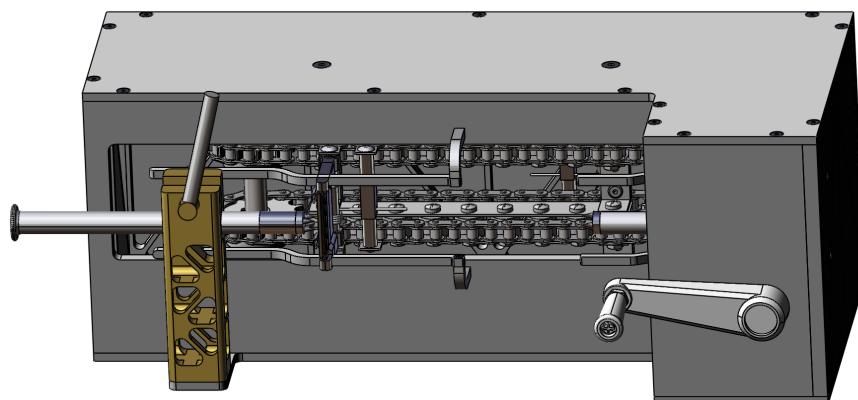
328344  
346190  
342543  
344462



ÉCOLE POLYTECHNIQUE FEDERALE DE LAUSANNE

Rendu le 5.6.2022

<i>Auteurs :</i>	<i>SCIPER :</i>
Nevò MIRZAI HAMADANI	328344
Alexandro MAJOCCHI	346190
Michele POLI	342543
Manfredi TAMBELLA	344462



ÉCOLE POLYTECHNIQUE FEDERALE DE LAUSANNE

Rendu le 5.6.2022



## 1 Introduction

Le rapport suivant décrit la conception d'un épluche carottes domestique dont l'objectif principal est de rendre les carottes prêtes à la consommation de manière efficace et sûre. En se référant aux indications du cahier des charges, le mécanisme doit permettre d'éplucher les carottes sur toute leur longueur en s'adaptant aux éventuelles irrégularités de surface. Le mouvement d'entraînement doit être effectué par une seule personne et perpendiculairement à l'axe longitudinal de la carotte. Il est également important de respecter la limite de poids maximale de 8kg de la machine afin d'obtenir un mécanisme pratique dans l'environnement de la cuisine qui puisse en même temps garantir la sécurité de l'utilisateur. Les déchets produits doivent être collectés dans un récipient, séparé de la structure de la machine.

Vous trouverez ci-dessous la procédure pour la conception et le design de la machine ainsi que les spécifications techniques des mécanismes.

## 2 Cahier des Charges

### 2.1 Cahier des charges reçu



**CONSTRUCTION MÉCANIQUE II - ME-102/107 – BA2**

Sections Génie Mécanique & Microtechnique

Projet de Construction Mécanique - 2022

Février 2022 - B. Lacour / S. Soubieille

#### « Epluche-Carottes »

Le projet de construction mécanique consiste en la réalisation de l'étude et de la conception mécanique d'un éplucheur de carottes à usage domestique.

L'objectif principal de la machine est d'enlever la peau de carottes et de les rendre prêtes à la consommation.

La conception de l'éplucheur de carottes manuel doit répondre au cahier des charges suivant :

- Mécanisme capable d'éplucher des carottes sur toute leur longueur.
- Les carottes ont été préalablement triées, lavées et égouttées, et leurs extrémités dont les fanes ont été coupées.
- Les carottes sont calibrées de la manière suivante avant épulchage :
  - Longueur de la carotte (hors fanes et extrémités) : comprise entre 100 et 200mm.
  - Diamètre minimum de la carotte = 20mm.
  - Diamètre maximum de la carotte = 45mm.
- L'épluche-carottes doit être capable de s'adapter raisonnablement aux irrégularités topologiques de la carotte, i.e. déviations continues de 2mm au plus sur le diamètre.
- La mise en œuvre du mécanisme se fait par une seule personne.
- La seule source d'énergie pour l'actionnement de la machine est une main de l'utilisateur., la deuxième pouvant être utilisée pour stabiliser le mécanisme.
- L'interface mécanique d'actionnement (type, forme, etc.) et sa nature sont laissées libres.
- La direction du mouvement d'actionnement devra cependant être perpendiculaire à l'axe longitudinal de la carotte.
- La lame d'épluchage à utiliser est fournie en annexe (modèle 3D CATIA). Aucune modification ne doit être apportée sur la géométrie de cette pièce.
- La machine doit être stable, robuste, résister à son environnement et ne pas se bloquer.
- La masse totale de la machine prête à l'emploi est de 8kg maximum (hors carotte).
- L'encombrement de la machine devra être raisonnable afin de pouvoir l'utiliser sur un plan de travail de cuisine, de pouvoir la déplacer et la stocker facilement.
- La sécurité de l'opérateur et de son entourage doit être assurée en tout temps.
- Les éléments en contact avec les carottes doivent pouvoir être facilement démontés et nettoyés.
- Les déchets doivent être évacués dans un récipient ne faisant pas partie de la machine, dont la forme et la taille sont laissées libres mais doivent être justifiées.
- Toutes les pièces sur plan doivent pouvoir être fabriquées par usinage 3-axes.
- Les matériaux autorisés pour les pièces sur plan sont ceux utilisés en usinage : acier, acier inoxydable, alliages d'aluminium, laiton, matières plastiques (polyamide, polyéthylène, polycarbonate, PTFE, POM, etc.).
- Le diamètre minimal des éléments d'assemblage (vis, axes, etc) est de 4mm et à justifier.
- Le diamètre nominal des gouilles et vis sans tête peut descendre jusqu'à 2mm.

Tout élément du cahier des charges non imposé est libre d'être choisi mais le bon sens est indispensable.

Le rapport en format pdf incluant les mises en plan et le modèle 3D de l'assemblage (format step) doivent être impérativement remis par email ou lien (type googledrive) avant le :

**Vendredi 03 juin 2022 à 10h**

## 2.2 Discussion

En analysant le cahier de charge, il est possible de diviser le projet dans les points principaux suivants :

Établir le mouvement relatif entre la lame et la carotte en choisissant lequel des deux se déplace par rapport à l'autre.

Obtenir une coupe optimale et complète de la surface en concevant un support pour la lame qui puisse s'adapter aux irrégularités.

Définir un mécanisme d'entraînement manuel.

Pouvoir retirer facilement la carotte de l'appareil et récupérer les déchets.

### 2.3 Tableau des spécifications

Voici le tableau des spécifications de notre éplucheur de carottes :

<b>Chaier des charges</b>	<b>Spécifications</b>
Carotte	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Longueur [mm] : entre 100 et 200</li> <li>— Diamètre minimal [mm] : 20</li> <li>— Diamètre maximal [mm] : 45</li> <li>— Irrégularité de surface [mm] : diamètre <math>\pm 2</math></li> </ul>
Source d'énergie manuelle	<p>Manivelle :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— 1 tour/seconde</li> <li>— Force à appliquer de 8.56N</li> </ul>
Poids maximum 8kg	Poids : 6.48kg
Dimensions de la machine	51.67x19.7x32.91 [cm]
La machine doit être durable et ne doit pas se bloquer	Matériaux utilisée : métaux et polymères
Sécurité	Mécanisme interne de la lame
Éléments de contact de la carotte amovibles et lavables	Système de support-lame semi-détachable
Déchets collectés dans un conteneur	Récipient inséré sous la carotte
Diamètre minimum des éléments d'assemblage 4mm	Visserie : 4[mm]
Découpage des pelures	Mécanisme : Deux lames avec supports reliées à un convoyeur
Rotation de la carotte	Mécanisme : carotte positionnée sur un support rotatif
Synchronisation du mouvement de la lame	Un tour de la lame correspond à une rotation partielle de la carotte
Mécanisme sans verrouillage	Épluchage optimal de la carotte
Facilité d'utilisation	Le mécanisme d'entraînement manuel (manivelle) nécessite une force de 8.56N

## 3 Description et Analyse des Options

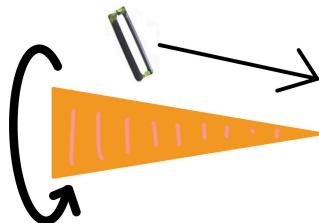
Afin de réaliser l'épluchage de la carotte, nous avons envisagé plusieurs mécanismes. Tous ces mécanismes sont constitués de systèmes assez similaires, et nous avons réuni les avantages de chacun d'entre eux pour obtenir le meilleur résultat final possible.

### 3.1 Mécanisme d'épluchage

Dans cette section, nous expliquons les différentes idées que nous avons eues pendant notre projet à propos de l'épluchage de la carotte.

#### 3.1.1 Premier mécanisme

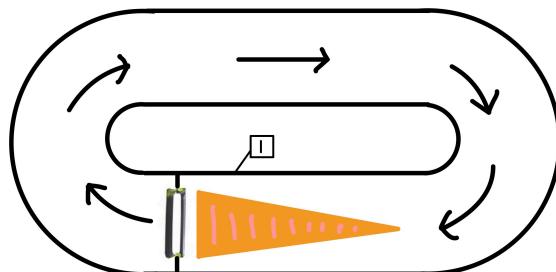
Le premier mécanisme auquel nous avons pensé était de faire tourner la carotte autour de son axe principal, celui qui suit la longueur, et de pousser la lame sur la carotte pendant ce temps pour l'éplucher. En testant cette option dans la pratique, nous avons constaté que la force que la lame devait appliquer sur la carotte était très élevée et que l'épluchage était difficile à initier et maintenir, donc pas optimal.



Avantages	Inconvénients
Concept simple, besoin de seulement une coupe et vitesse d'épluchage	Beaucoup de force/vitesse nécessaire pour l'épluchage, difficulté à initier et maintenir la coupe.

### 3.1.2 Deuxième mécanisme

Le deuxième mécanisme consiste à éplucher parallèlement à la longueur de la carotte. Cet épluchage s'effectuait au moyen d'une lame attachée à deux chaînes [1] se déplaçant sur des rails droits. Une fois la longueur de la carotte couverte, la lame faisait un demi-tour et remontait la longueur de la carotte à un niveau supérieur, sans la toucher, pour revenir à sa position de départ.



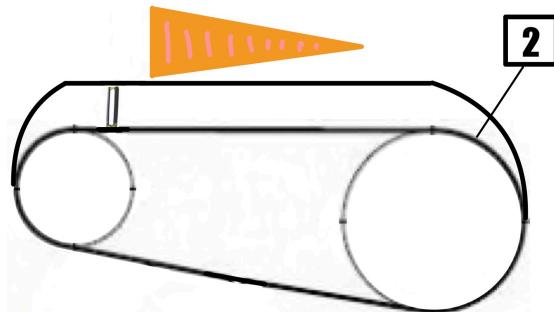
Avantages	Inconvénients
Conceptualisation facile du mécanisme et faible force à appliquer sur la carotte pour la peler	Difficulté à gérer la synchronisation des deux chaînes à long terme et problème sur la fixation de la lame à la chaîne en raison du virage serré

Ce mécanisme pourrait bien fonctionner, s'il n'y avait pas les innombrables problèmes liés à ce virage serré. Nous allons donc garder comme idée celle d'une chaîne portant une lame pour couper la carotte en faisant quelques modifications.

### 3.1.3 Troisième mécanisme

Le troisième mécanisme, est pratiquement identique au deuxième. La seule différence est qu'au lieu de faire un virage serré, les lames

tournent autour d'un pignon [2]. En plus il est fixé directement sur la chaîne, ce qui élimine l'utilisation de rails.



Avantages	Inconvénients
Calculs faciles pour prévoir une synchronisation. Trajectoire simple empruntée par la lame et épluchage facile	La somme des éléments rend la structure en partie complexe.

### 3.1.4 Conclusion

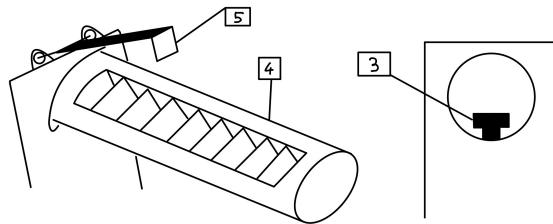
Pour finir, nous avons décidé d'utiliser le troisième mécanisme, afin d'avoir une épluchage sûr et facile de la carotte.

## 3.2 Mécanismes de blocage et rotation de la carotte

Pour bloquer et faire tourner la carotte, nous devions penser à un mécanisme compact et rigide avec un risque minimal de blocage. Toutes nos propositions de serrage sont très similaires, et comprennent une série de fourches dans lesquelles la carotte sera bloqué. Dans tout les cas les deux fourches ont un mouvement rotatif, mais une seule a un mouvement de translation. Également il est important que les pointes des fourches soient toujours propres, pour assurer un bon ajustement de la carotte. Sinon, il faudra les démonter et les nettoyer.

### 3.2.1 Blocage unidirectionnel

Notre première idée était de créer une piste [3] sur laquelle un tube [4] pourrait se bouger. Ce tube possède des dents, grâce auxquelles il peut être verrouillé lorsqu'il est associé à une langue de blocage [5].

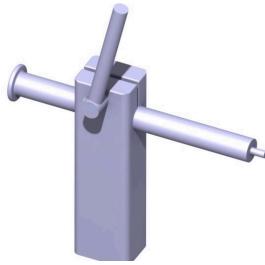


Avantages	Inconvénients
Excellent performance et simplicité d'utilisation, très intuitif	La piste dans lequel le tube doit se déplacer n'est pas facilement utilisable

### 3.2.2 Blocage par serrage

Le second mécanisme, très similaire au premier, est toujours constitué d'un tube, qui passe dans un trou. Ce trou peut être serré à l'aide d'un levier. En serrant le trou, une pression est appliquée sur le tube, qui ce bloque.

Avantages	Inconvénients
Facilité de conceptualisation et de réalisation des pièces	Difficulté à calculer le degré de serrage du tube afin d'assurer un serrage optimal tout en ne déformant pas excessivement les pièces concernées



### 3.2.3 Conclusion

Comme mécanisme final, en procédant par exclusion en raison de l'impossibilité de réalisation du premier mécanisme, nous avons choisi le deuxième.

## 3.3 Mécanismes de transmission

Pour relier la paire d'engrenages coniques [8] et [9] où s'effectue la réduction, et l'arbre qui fait tourner les pignons, nous avons dû réfléchir à une méthode de transmission efficace et pratique. Nous présentons ci-dessous les deux options auxquelles nous avons pensé

### 3.3.1 Transmission par engrenage

La transmission par train d'engrenages est plus simple à mettre en œuvre et entretenir, mais vu le nombre relativement élevé d'engrenages, la fluidité et facilité d'utilisation risquent d'être compromises. Les engrenages pourront être amovibles afin de les nettoyer et remplacer si nécessaire.

Avantages	Inconvénients
Facilité de mise en place, facilité de nettoyage et d'entretien, durabilité et fiabilité, faible perte de puissance	Utilisation moins fluide, poids, besoin d'entretien (lubrifier les engrenages)

### 3.3.2 Transmission par courroie

Nous avons pensé à un système de transmission par courroie afin de garantir une fluidité et une facilité de rotation. Cependant, une chaîne reste relativement bruyante et difficile à entretenir et nous avons des pertes de puissance plus élevées.

Avantages	Inconvénients
Flexibilité sur les entraxes et le placement des engrenages, fluidité et facilité d'utilisation	Mise en place difficile (mise sous tension), difficulté d'entretien, perte de puissance modérée

### 3.3.3 Conclusion

En conclusion, nous avons décidé d'utiliser le deuxième mécanisme, car si nous avions utilisé un jeu d'engrenages, le poids de la machine serait devenu trop élevé. Le positionnement des poulies pour le support de la couronne est beaucoup plus facile qu'avec un jeu d'engrenages. De plus, après une analyse du mécanisme dans son ensemble, nous avons réalisé qu'il y avait le risque que la lame touche les engrenages. Les courroies sont donc la meilleure solution.

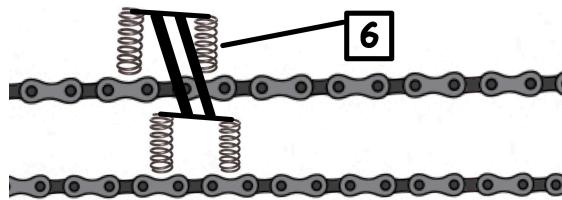
## 3.4 Fixation de la lame

Comme la chaîne n'est pas toujours droite, nous avons dû réfléchir à une méthode de fixation de la lame qui en tienne compte. Nous avons choisi une chaîne avec un support spécial, ensuite, nous avons dû choisir le type de ressort qui permettrait une bonne fonctionnalité et un épluchage optimal. Voici les options auxquelles nous avons pensé.

### 3.4.1 Ressort de pression

La première attaque concerne quatre ressorts de compression [6], deux fixés de chaque côté de la lame sur quatre maillons différents,

deux par chaîne. Cela permet de visualiser facilement et de simplifier les pièces à assembler. Le seul problème concerne l'adhérence avec la carotte lorsqu'elle commence à couper. Comme la carotte n'a pas une taille fixe, il y a un risque que la lame ne fasse pas son travail correctement, créant aussi un risque de blocage. En outre, lors de la rotation du pignon, le support serait étiré et, étant fixé dans la direction parallèle au noyau, il y aurait un risque de rupture.



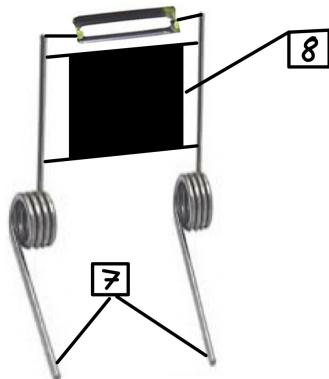
Avantages	Inconvénients
Fixation facile, résistance, force imprimée orthogonalement a la carotte	Problème au moment du contact avec la carotte, allongement excessif du support lors du passage sur le pignon

Ce mécanisme serait facile à construire, mais l'absence de rampe pour permettre une bonne adhésion a la carotte en fait un système précaire.

### 3.4.2 Ressorts de torsion

L'utilisation de deux ressorts de torsion [7] intégrés au support de la lame donne au mécanisme un seul degré de liberté. En effet, la lame est fixée dans une structure qui est reliée aux deux ressorts de torsion. De cette façon, la lame est seulement libre de tourner autour

de l'axe joignant les centres des diamètres des ressorts. En plus de rendre optimale la coupe de la carotte, cette structure de support a l'avantage de rester en position pendant toute la course, ce qui minimise le risque de tournage de la chaîne et réduit de moitié le nombre de ressorts nécessaires à son fonctionnement. La présence d'une fine rampe [8] entre les deux bras ajoute de la fluidité au contact initial entre la lame et la carotte, ce qui pourrait être une autre cause de blocage ou même de rupture de la structure de support de la lame.



Avantages	Inconvénients
Meilleure adhérence à la surface du noyau et meilleure adaptation aux irrégularités, un degré de liberté de la lame, le bon fonctionnement du support le long du parcours de la chaîne	Encombrement du support, inconvénient à le retirer pour le lavage de la lame

### 3.4.3 Conclusion

Entre ces deux options, nous avons à nouveau procédé par exclusion. Le premier mécanisme comportant plus d'inconvénients que d'avantages, le second semblait plus pratique et fonctionnel.

## 4 Analyse du Mécanisme choisi

Avant de commencer à concevoir les pièces mécaniques en détail, nous avons dû déterminer expérimentalement la force que la lame devait exercer pour éplucher la carotte et le nombre de coupes nécessaires pour couvrir sa surface extérieure. À l'aide d'une balance, nous avons conclu qu'une force de 8.5N et 12 coupes étaient plus que suffisantes pour achever l'opération de pelage.

### 4.1 Explication et fonctionnement du mécanisme

Il s'agit dans cette partie d'expliquer le fonctionnement des pièces principales, et de détailler les réflexions générales ayant menée au choix finaux des pièces. Voici un rappel du mécanisme principal :

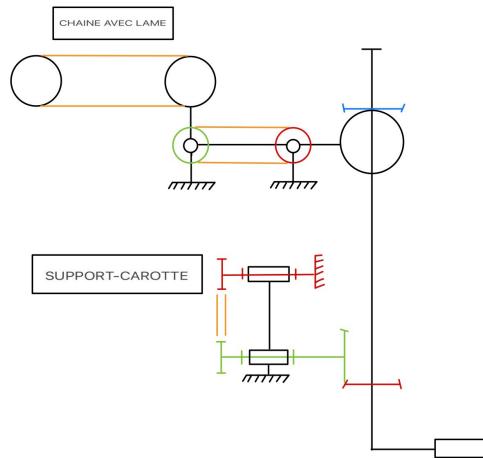


FIGURE 1 – Schéma cinématique

Lorsque la manivelle est activée, la lame commence à se déplacer parallèlement à la carotte pour la peler. Une fois que la lame a parcouru la longueur de la carotte, celle-ci est tournée de  $30^\circ$  et le processus recommence.

#### 4.1.1 Incorporation de la carotte

Pour l'incorporation de la carotte, nous avons pensé à une paire de fourches, par lesquelles elle serait bloqué. Ces deux-là sont identiques en forme et dimensions, de sorte qu'elles peuvent être interchangeables, et que même si l'utilisateur devait placer la carotte à l'envers, il n'y aurait aucun problème.

La première de ces fourches peut avoir un mouvement de rotation autour de l'axe horizontal comme sera expliqué dans le sous-chapitre suivant. Ceci afin de permettre la rotation de la carotte. En revanche, il est bloqué pour tout autre type de mouvement.

La deuxième fourche est montée sur un arbre qui peut se déplacer avant et en arrière. Ce mouvement s'effectue à l'intérieur d'un support perforé. Le trou est conçu de manière à ce que l'arbre puisse bouger dans des conditions où il y a du jeu. Mais une force de friction lui est appliquée lorsqu'il est serré au moyen d'un levier. Grâce à ce mouvement, la carotte est bloquée, et tout mouvement de translation par rapport aux fourches est empêché. Ce levier rétrécit le diamètre du trou. De plus, entre l'arbre et la fourche, nous avons inséré un roulement à bille, grâce auquel la fourche peut tourner sur elle-même, permettant la rotation de la carotte.

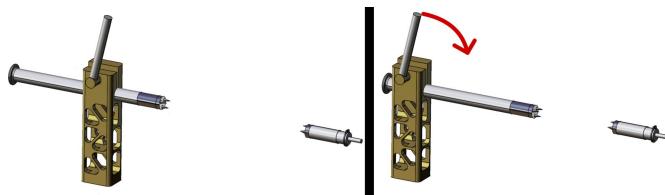


FIGURE 2 – Fourches bloquant la carotte

#### 4.1.2 Rotation de la carotte

La manivelle, numérotée [38] sur les schémas et sur la liste des pièces (page 28), sur laquelle une force externe sera appliquée, est attachée directement, via un arbre rotatif [46], à un engrenage conique [7]. Celui-ci ne comportera qu'une seule dent et sera relié à un engrenage conique avec les mêmes dimensions [6], qui comportera toutefois 12 dents. De cette manière, lorsque la manivelle aura effectué un tour complet, la carotte aura tourné de  $30^\circ$ .

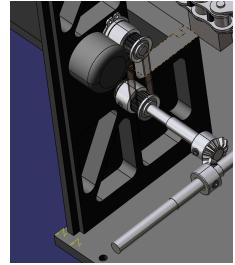


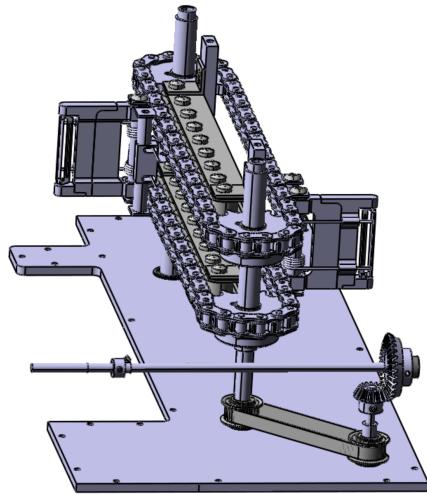
FIGURE 3 – Schéma de rotation de la carotte

#### 4.1.3 Épluchage de la carotte

Une fois la manivelle activée, l'arbre d'entraînement [46] met en mouvement une deuxième engrenage conique [8]. Ce dernier transmet une réduction à l'engrenage conique suivant [9]. La poulie [11], qui est reliée à l'engrenage conique [9], actionne le courroie [3], qui transmet un moment à deux pignons [5]. En raison du moment exercé, les chaînes [2] reliées aux deux lames (positionnées sur les côtés opposés des chaînes) sont mises en mouvement, coupant la carotte parallèlement à son côté long

#### 4.1.4 Fixation de la lame

La lame, une fois montée sur le support, est attachée aux maillons appropriés de la chaîne [2]. De cette façon, la lame n'a qu'un seul degré de liberté, qui est garanti par les ressorts de torsion autour de la tige porte-lame. De plus, la partie amovible de la rampe à lames fonctionne grâce à la force de gravité et à la tolérance d'indécision que nous mettons entre l'arbre de la pièce amovible et le trou de la rampe à lames attaché à la chaîne. Puisque notre rampe ne subit aucune force autre que la gravité dans cet axe, la pièce amovible reste



attachée au reste de la rampe jusqu'à ce qu'une force soit exercée pour retirer notre pièce.

## 4.2 Physique du mécanisme

Maintenant nous discutons de la partie physique et des calculs qui ont conduit à nos choix finaux, des dimensions et des matériaux des différentes parties.

### 4.2.1 Puissance et équations horaires

Pour pouvoir décrire notre système analytiquement, il faut tout d'abord calculer les puissances de notre mécanisme. Il s'agit donc dans cette partie de détailler les calculs ayant menés aux dimensions finales.

**Manivelle et puissance fournie au système :** Voici la procédure utilisée pour choisir la taille de la manivelle et en déduire la force maximale à appliquer par l'utilisateur.

Expérimentalement, la force que la lame doit exercer sur la carotte ( $F_{lame}$ ) est de 11.5N : 8N perpendiculairement et 8.5N axialement.

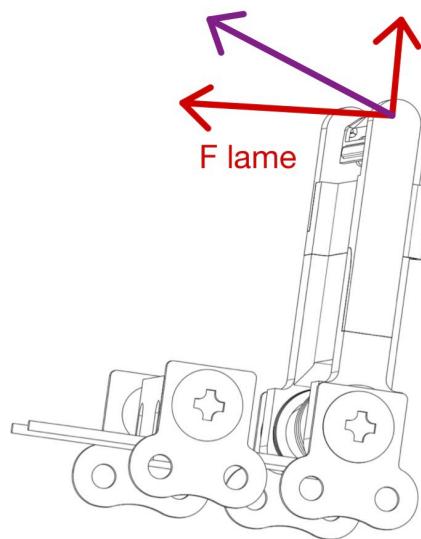


FIGURE 4 – Forces appliquées au support de la lame

En tenant compte de la vitesse de la lame ( $v = 0.4 \frac{m}{s}$ ), sa puissance ( $P_{lame}$ ) devient 4.67W :

$$P_{lame} = \frac{T}{\Delta t} = 11.67 \cdot 0.4 = 4.67[W]$$

où T est le travail effectué par la lame sur la carotte.

Maintenant, en tenant compte des rendements instantanés ( $\eta$ ) de chaque engrenage qui relie la lame à la manivelle, il est possible de tracer la puissance d'entrée ( $P_{maniv}$ ) nécessaire pour permettre une coupe optimale de la carotte.

Voici les rendements donnés au cours :

Engrenage	$\eta$
Chaîne[1]	0.97
Pignons[5]	0.98
Poulies[11]	0.98
Courroie[3]	0.95
Conique[8]	0.98

Le parcours lame-manivelle est le suivant : chaîne[1]  $\Rightarrow$  pignons[5]  $\Rightarrow$  poulies[11]  $\Rightarrow$  courroie[3]  $\Rightarrow$  engrenage conique[8]  $\Rightarrow$  tige[46]  $\Rightarrow$  manivelle[38].

En utilisant la formule qui relie  $\eta$  et les puissances en sortie ( $P_s$ ) et en entrée ( $P_e$ ) :

$$\eta = \frac{P_s}{P_e}$$

on peut tout d'abord calculer la puissance que la chaîne doit recevoir en entrée pour fournir une  $P_{lame}$  adéquate :

$$P_{e1} = \frac{4.67}{0.97} = 4.81[W]$$

Ensuite, la puissance en entrée des pignons est :

$$P_{e2} = \frac{4.81}{0.98} = 4.91[W]$$

La puissance en entrée des poulies devient :

$$P_{e3} = \frac{4.91}{0.98} = 5.01[W]$$

Pour la courroie :

$$P_{e4} = \frac{5.01}{0.95} = 5.27[W]$$

Et enfin celle du conique :

$$P_{e5} = \frac{5.27}{0.98} = 5.38[W]$$

Grâce à l'utilisation de roulements à bille en contact avec l'engrenage conique, nous pouvons supposer que la puissance transférée de la manivelle à l'engrenage conique est sans perte et donc :

$$P_{maniv} = 5.38[W]$$

En choisissant une manivelle avec une vitesse angulaire ( $\omega$ ) de  $2\frac{\pi}{s}$  et un rayon ( $r$ ) de 10cm, la force nécessaire à appliquer par l'utilisateur devient :

$$F_{maniv} = \frac{P_{maniv}}{r \cdot 2\pi} = \frac{5.38}{0.1 \cdot 2\pi} = 8.56[N]$$

qui correspond à un poids à appliquer de  $0.87kg$ .

Voici un tableau récapitulatif des puissances disponibles des engrenages analysés :

Engrenage	Puissance disponible[W]
Chaîne[1]	4.81
Pignons[5]	4.91
Poulies[11]	5.01
Courroie[3]	5.27
Conique[8]	5.38

**Vitesses angulaires :** Comme nous l'avons montré dans le chapitre précédent, nous savons que la vitesse angulaire de la manivelle est de :

$$\omega_{manivelle} = 2\pi[\frac{rad}{s}]$$

Grâce à cette donnée, nous pourrons voir par la suite que l'engrenage conique [8] (le plus grand) aura la même vitesse angulaire. Grâce au rapport de réduction, nous pouvons calculer la vitesse angulaire de l'engrenage suivant :

$$\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} \quad \omega_2 = \frac{30 \cdot 2\pi}{15} = 4\pi[\frac{rad}{s}]$$

Toujours avec un rapport de 1 dans la courroie, on note que la vitesse angulaire des pignons sera également de  $4\pi \frac{rad}{s}$ . En ce qui concerne l'engrenage conique à une dent, il n'y a pas de réduction. Il aura donc la même vitesse angulaire de la manivelle de  $2\pi \frac{rad}{s}$  lorsque la dent entrera en action. Mais le reste du temps, les engrenages seront arrêtés par le frottement imposé par la rondelle [30]. La vitesse angulaire sera donc nulle.

Voici un tableau récapitulatif des vitesses angulaires des différents composants :

Engrenage	Vitesse angulaire
Manivelle	$2\pi$
Engrenage conique [8]	$2\pi$
Engrenage conique [9]	$4\pi$
Poulies [10]	$4\pi$
Pignons [5]	$4\pi$
Engrenage conique [7]	$2\pi$
Engrenage conique [6]	0 ou $2\pi$

#### 4.2.2 Analyse de la synchronisation

Nos machines comportent deux mouvements distincts : le mouvement de translation de la lame et le mouvement de rotation de la carotte. Il est donc essentiel que ces derniers aient un mouvement synchronisé pour s'assurer que la carotte est coupée de la bonne façon. Comme nous avons déduit de notre expérience que 12 est le nombre optimal de coupes pour l'épluchage, nous avons décidé qu'avec un tour de manivelle, la carotte ferait  $\frac{1}{12}$  d'un tour complet. Puisque chaque fois que la manivelle effectue un tour, la carotte est tournée, une lame doit pendant ce temps parcourir la longueur de la carotte. Étant donné que la chaîne est une pièce que nous sommes obligés d'acheter auprès d'un fournisseur, nous avons examiné les différentes options disponibles et avons constaté qu'une chaîne *Roller Chain, Single Strand* était la meilleure option. Nous avons ensuite construit des supports qui devaient être reliés à la chaîne, pour soutenir la lame.

Grâce à la formule suivante, nous avons pu calculer le ratio de réduction nécessaire.

$$i = \frac{l + 2r + r\pi}{2r\pi} = \frac{231.83 + 62.45 + 31.225\pi}{62.45\pi} = 2$$

Où i indique le nombre de tours que doit faire le pignon et le rapport de réduction, l la longueur minimale entre les 2 pignons et r le rayon du pignon. Avec cette information, nous avons utilisé des engrenages coniques pour faire la connexion entre la manivelle et les pignons qui avaient ce rapport.



FIGURE 5 –  
Attachement du  
porte-lame

#### 4.2.3 Analyse des risques de coincement

En ce qui concerne les risques de blocages, nous avons identifié deux «points critiques» du mécanisme, où il pourrait potentiellement

ment y avoir blocage. Il s'agit dans cette partie d'expliquer les mesures prises pour assurer le bon fonctionnement du mécanisme.

Puisque le rapport entre les tours que le pignon doit faire et ceux que la manivelle doit faire n'est pas exactement 2 mais avec un écart de  $4,43 \cdot 10^{-5}$ , il nous avons laissé 1 centimètre entre la position de la carotte et l'endroit où la lame commence à être en position de coupe. Cela implique que l'utilisation de la machine est optimale pour plus de  $10^8$  tours, après quoi la machine devra être démontée et ajustée. Nous avons décidé de mettre des guides parce que nous avions besoin que notre lame ne touche pas les engrenages internes et notre support et nous avions aussi besoin que si la lame avait tourné à vide nous n'aurions pas la lame touchant notre tube porteur. Nous avons donc fait en sorte que la lame ne puisse pas toucher notre tube porteur sans perturber la coupe si la carotte a le diamètre minimum. De plus, nos guides rendent notre éplucheur de carottes plus sûr en empêchant le consommateur d'y introduire sa main pendant que la machine est en marche et en laissant un espace pour permettre de retirer facilement la partie amovible de la structure de la lame.

Comme autre point problématique, nous avons identifié celui où la lame rencontre la carotte. Depuis que la carotte n'a pas un diamètre fixe, nous avons dû trouver un moyen d'adapter la lame à la carotte. Comme solution, nous avons imaginé une rampe, fixée au mécanisme à ressort de la lame, qui permet une adaptation optimale à la carotte.

#### 4.2.4 Calcul de rendement

Afin d'évaluer les pertes énergétiques générées par le mécanisme de transmission de notre épluche-carottes, nous avons procédé à des calculs de rendement.

En nous basant sur les informations données pendant le cours, nous avons fixé le rendement entre une paire d'engrenages à 98%, celui des

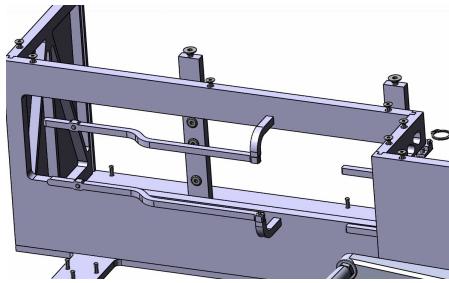


FIGURE 6 – Guides

roulements à bille à 99.85%, celui du roulement à contact oblique à 99.80%, celui des chaînes à 97%, et celui des courroies à 95%. Avec ces informations, les résultats sont les suivants :

Élément	Rendement[W]
Puissance d'entrée (manivelle)	5.38
Arbre manivelle [48]	5.36
Arbre [51]	5.24
Arbre [52]	4.96
Arbre [53]	4.80

**Poulies et courroies :** Comme mentionné au chapitre 4.1.2, l'attaque de la carotte sera reliée à l'engrenage conique par une dent. Nous devions donc trouver un moyen de transmettre ce mouvement à l'attache de la carotte qui se trouve plus haut dans la machine. Nous avons décidé d'utiliser une courroie pour transmettre un moment à la carotte, afin de pouvoir réduire le diamètre des poulies et éviter que la lame a touché la carotte.

Comme l'attache de la carotte (celle qui se trouve à côté de la manivelle) a un jeu défini comme une "ancre mobile sous une légère pression", nous avons pu déduire que les forces requises pour cette partie du mécanisme étaient minimes. En suivant les indications de Misumi en introduisant le nombre de dents des poulies et de la courroie et la vitesse de fonctionnement de la courroie [4] on obtient que

l'entraxe est de 39.62mm.



FIGURE 7 – Développement produit par Misumi

Pour vérifier que ce chiffre est correct, nous calculons l'entraxe maximum et minimum des deux poulies.

$$d_{min} = \frac{1}{2}(D_{poulie} + D_{poulie}) + D_{poulie} = \frac{1}{2}(14 + 14) + 14 = 28mm$$

$$D_{max} = 3(D_{poulie} + D_{poulie}) = 3(14 + 14) = 84mm$$

Nous notons que la distance est correcte.

En répétant ce processus, nous avons pu trouver les distances entre les différents arbres également reliés à la courroie [3] et à la chaîne, qui ont des valeurs de 103.63mm et 294.3mm respectivement.

Nous avons ensuite analysé si les différentes poulies et courroies avaient résisté aux forces appliquées. En utilisant les formules vues en classe, nous avons calculé la contrainte maximale que les différentes dents doivent supporter. Dans le cas de la poulie [11] (la plus éloignée), nous avons :

$$\frac{T - F_c}{t - F_c} = e^{\frac{f\theta}{\sin \frac{\beta}{2}}} \quad \sigma_{max} = \frac{M_f}{\frac{c}{2}} = 5.47 \cdot \frac{F}{km^2}$$

En entrant les valeurs la hauteur des dents  $h=0.64\text{mm}$ ,  $\frac{\beta}{2} = 62^\circ$  la force appliquée à la partie tendue  $T=36.24\text{N}$ , la longueur opérationnelle de la courroie  $b=3.7\text{mm}$ , et le module  $m=0.65$ , le coefficient de frottement  $f=0.5$ , nous arrivons au résultat :

$$k = \frac{b}{m} = \frac{3.7}{0.45} = 8.4$$

$$\sigma_{max} = 5.47 \cdot \frac{8}{8.4 \cdot 0.65^2} = 12.33\text{MPa} \quad t = 6.09\text{N}$$

Nous voyons que la valeur de  $\sigma_{max}$  est inférieure à la moitié de la valeur  $R_e$  du duralumin (450Mpa). Là encore, en tenant compte du facteur de sécurité 2, on constate que tous les matériaux sélectionnés se comportent bien sous les contraintes et que les courroies ont une tension inférieure à leur point de rupture. Nous avons répété les mêmes calculs pour les autres pignons et nous avons constaté que les contraintes sont inférieures à celles de celui exposé. Pour calculer la tension de la chaîne, il suffit d'utiliser les formules suivantes :  $T = 2.5F$  et  $t = 1.5F$ , où  $F$  est la force appliquée par le pignon. Comme les tensions résultantes et les contraintes appliquées aux pignons sont inférieures à celles déjà calculées, nous pouvons affirmer que notre système tiendra correctement.

#### 4.2.5 Dimensionnement des axes

Dans cette section, nous discutons du critère selon lequel nous avons choisi les dimensions des arbres, des vis et des clavettes utilisés pour la fixation des engrenages.

**Arbres :** Pour les arbres, nous avons pu calculer le moment de torsion et le cisaillement qui leur sont appliqués.

En ce qui concerne le cisaillement, l'arbre qui subit les forces les plus importantes est l'arbre [52] (celui qui se trouve entre la courroie et les chaînes). La force de cisaillement la plus importante se produit à

l'endroit où la courroie est fixée à l'arbre qui a un diamètre de 15mm. En utilisant la formule suivante :

$$\tau_{max} \leq \frac{Re}{2}$$

où Re est la résistance élastique et 2 est le facteur de sécurité, on peut calculer  $\tau$  sachant que la tension du fil mou et la tension du fil dur ont respectivement les valeurs maximales de  $F=8N$

$$\tau_{max} = \frac{T+t}{D^2\pi} = \frac{36.24 + 6.09}{0.010^2\pi} = 0.096 MPa$$

En regardant les résistances élastiques des matériaux, nous comprenons qu'avec l'utilisation de l'aluminium, la structure tient correctement.

En ce qui concerne le moment de torsion, c'est le même arbre qui est le plus à risque. On peut calculer le moment de torsion grâce à la formule vue pendant le cours :

$$\tau_{max} = \frac{M_t}{I_0}R = \frac{M_t}{\frac{D^4\pi}{32}}R = \frac{(36.24 - 6.09) \cdot \frac{0.02278}{2}}{\frac{0.010^4\pi}{32}} \cdot 0,005 = 1.74 MPa$$

où 36.24 et 6.09 sont les tensions maximales de la courroie. Ici encore, nous voyons que l'utilisation de l'aluminium est appropriée et rend notre structure stable.

Avec la même formule, nous avons calculé le moment de torsion pour l'arbre principal, obtenant le résultat suivant :

$$\tau_{max} = \frac{5.65 \cdot 0.1}{\frac{0.00635^4\pi}{32}} \cdot \frac{0.00635}{2} = 11.24 MPa$$

Avec ces données nous utiliserons de l'aluminium pour l'arbre principal.

Nous pouvons répéter les mêmes calculs pour tous les arbres mais nous obtiendrons toujours des contraintes plus faibles

**Goupille et clavettes :** Dans notre mécanisme, nous utilisons des clavettes pour transmettre les forces entre les différents engrenages et arbres là où les forces sont les plus grandes, et des vis de blocage pour serrer les autres engrenages là où les forces sont les plus faibles. De plus, dans l'engrenage conique [8], la force est transmise par une goupille élastique.

Les deux modèles de clavettes que nous avons sélectionnés chez MISUMI sont conformes à la norme DIN 6885-AB. Les tailles des arbres sont déterminées par l'alésage interne des engrenages, qui à leur tour déterminent les tailles des clavettes et des vis.

Vous trouverez ci-dessous un tableau avec les contraintes appliquées aux clavettes.

Clavette	Dimensions $B \cdot H \cdot L [mm^3]$	Contrainte imposée $[N/mm^2]$
Arbre [53]	5x5x20	0.589
Arbre [52]	5x5x20	0.607
Arbre [52]	4x4x12	0.365
Arbre [51]	4x4x12	0.380

Si l'on regarde les contraintes maximales que ces clavettes peuvent supporter grâce aux données fournies par Misumi :

Tipo	M	Materiale	Carico di rottura
KED KES KEG	EN 1.1191 Equiv.		600N/mm <sup>2</sup> o sup.
KEDS KESS KEGS	EN 1.4401 Equiv.		600N/mm <sup>2</sup> o sup.
KEDH KESH KEGH	EN 1.1191 Equiv. 25~30HRC		700N/mm <sup>2</sup> o sup.

nous voyons que les forces exercées sont bien en dessous.

De la même manière, en utilisant les formules de contrainte vues en classe et déjà utilisées dans les chapitres précédents, nous pouvons calculer la contrainte appliquée sur la goupille, qui est conforme à la norme JIS B0401-1, est  $\sigma_{max} = 245.45N$ . Comme cette goupille peut

résister à 10,8kN (indication fournie par Misumi), nous voyons que nous sommes bien en dessous de la contrainte maximale.

#### 4.2.6 Dimensionnement du mécanisme de transmission

Dans ce chapitre, nous allons analyser les dimensions et les contraintes appliquées aux différents composants mécaniques. Tout d'abord, nous voudrions souligner le fait que, puisque toutes les forces impliquées sont plutôt faibles, nous n'avons utilisé que des engrenages conique à dents droites.

**Engrenages coniques :** Dans cette section, nous allons examiner les différents aspects des engrenages coniques utilisés.

Comme nous l'avons déjà expliqué dans la section 4.2.1, la carotte aura un mouvement de rotation que nous pourrions définir comme saccadé. Nous avons donc créé un engrenage conique à une dent, attaché directement à l'arbre principal. La force exercée par cet engrenage, même s'il ne comporte qu'une seule dent, est minime, à peine nécessaire pour gagner le jeu ancre mobile sous une légère pression. Nous allons donc nous concentrer sur l'engrenage conique [8]. Dans cette partie de notre mécanisme, nous avons calculé que la vitesse de rotation sortant doit être deux fois plus élevée que la vitesse d'entrée, nous aurions donc besoin d'un rapport de réduction de 2. Pour des raisons de simplicité, nous avons cherché des engrenages de plus petite taille, et avons trouvé une paire d'engrenages de 30 et 15 dents respectivement sur McMaster.

Pour s'assurer que les dents de l'engrenage tiendront, nous avons calculé la contrainte exercée sur l'engrenage où les forces sont les plus grandes, c'est-à-dire celui qui a 30 dents. Le résultat, grâce aux données obtenues auprès du fournisseur, de  $\sigma_{max}$  est

$$\sigma_{max} = 5.47 \frac{T}{km^2} = 5.47 \frac{37.32}{5.33 \cdot 1.5^2} = 17.01 MPa$$

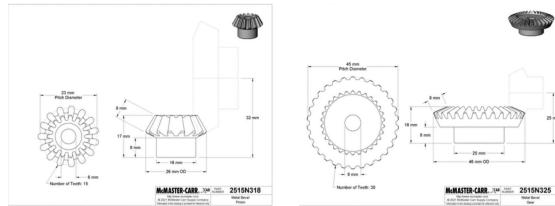


FIGURE 8 – Dimensions des engrenages conique [8] et [9]

Ici aussi, on constate que la moitié de la résistance élastique de l'acier dépasse la contrainte imposée. Pour le calcul des entraxes nous avons suivi la formule suivante :

$$D = \text{distance paroi-engrenage} + \text{entraxe donné par le fournisseur}$$

où un exemple d'entraxe donné par le fournisseur est disponible dans l'image ci-dessus. Nous avons obtenu les résultats suivants :

Engrenage	Paroi	Distance [mm]
Engrenage à 12 dents [6]	Paroi [5]	34.106
Engrenage à une dent [7]	Paroi [6]	70.000
Engrenage à 30 dents [8]	Base [68]	68.330
Engrenage à 15 dents [9]	Paroi [2]	25.137

**Roulement à bille :** Afin de garantir un rendement assez haut tout en gardant une précision des mouvements pour les roues dentées, nous avons décidé d'utiliser des roulements pour la rotation de nos arbres. Pour déterminer le meilleur roulement à bille à utiliser, nous

avons dû calculer les forces agissant sur les arbres. En ce qui concerne les forces radiales de la bille de roulement positionnée dans les parois verticales, celles-ci sont principalement dues à la masse de nos composants. Étant donné que la plupart des roulements peuvent supporter des forces supérieures à plusieurs milliers de Newtons, et que la force maximale sur un roulement dans notre mécanisme est relativement faible par rapport à ces limites, nous pouvons supposer que tous les roulements choisis supporteront les charges. En plus en ces points les forces axiales sont presque nulles, et donc négligeables. De plus, les vitesses angulaires dans notre mécanisme seront d'environ deux révolutions par seconde. Tous les roulements peuvent supporter plusieurs milliers de tours par minute donc la vitesse de rotation admissible n'est pas un critère de choix ici. Ainsi, pour le roulement à bille [13] [16], nous avons choisi d'utiliser le roulement à bille à une rangée avec un contact radial, afin de minimiser le coefficient de friction et de réduire les forces requises.

Quant aux autres roulements de billes, les forces radiales seront à peu près les mêmes. Cependant, comme ils sont positionnés parallèlement au sol, ils subiront une charge axiale due à la masse de notre mécanisme. On peut facilement déduire ces forces en utilisant la formule  $F_p = mg$ . Bien que ces forces ne dépassent pas 50N, nous avons décidé d'utiliser le roulement à bille à une rangée à contact oblique. Ceci afin d'éviter tout problème lors des procédures d'assemblage final.

Voici un schéma représentant la position des différents roulements de bille et leurs références.

Arbre	Position du roulement par rapport à l'arbre	Référence du roulement
Arbre manivelle	Paroi manivelle	696-H-ZZ
Arbre manivelle	Paroi du fond	696-H-ZZ
Arbre engrenage conique + poulie	Paroi inférieure	7901A5TYNSULP4
Arbre [53]	Paroi inférieure	7901A5TYNSULP4
Arbre [52]	Paroi inférieure	706A-H-20TYNSULP5
Arbre [52][53]	Paroi supérieure	7901A5TYNSULP4
Arbre [49]	Paroi 5	605-H-DD

#### 4.2.7 Forces appliquées au ressort de torsion

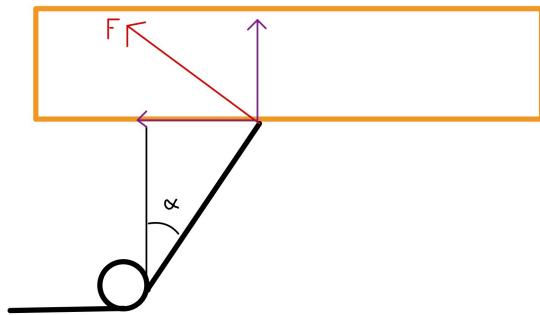


FIGURE 9 – Force appliquée par le ressort de torsion sur la carotte

Pour que notre système fonctionne, nous avons dû calculer la force exercée par la lame sur la carotte. Comme la force tangentielle est communiquée par l'utilisateur, nous avons dû calculer l'angle minimum que le ressort devait avoir pour communiquer une force normale appropriée. Expérimentalement, nous avons obtenu des résultats d'environ 0,8 kg. Par mesure de sécurité, nous avons considéré une force minimale de 8N. Nous pouvons donc exprimer les équations sui-

vantes :

$$F_l \sin \alpha = 8N \quad F_l l_l = 2F_r l_r \quad F_r = \frac{\frac{M_{max}}{l_r}}{\alpha_{max}} \cdot \alpha$$

Où "l" désigne la lame et "r" le ressort. Nous avons obtenu du fournisseur les données de  $M_{max} = 621\text{Nm}$  et  $\alpha_{max} = \frac{\pi}{2}$ . Avec ces données, nous déduisons que l'angle minimum que doit avoir le ressort pour effectuer une coupe correcte est de  $\alpha = 43^\circ$ , et la force tangentielle plus grande sera de 8.5N.

#### 4.2.8 Levier de serrage pour le support de noyau mobile

Le faisceau que nous avons choisi est de longueur  $L = 139\text{mm}$  en étain avec un module d'Young ( $E = 7.9 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ ) et un moment d'aire ( $I = 20480\text{mm}^4$ ).

En partant de la relation entre la force à appliquer perpendiculairement au faisceau ( $F$ ) et sa déformation ( $\omega_{(x)}$ ) :

$$\omega_{(x)} = \frac{F \cdot x^2}{6 \cdot E \cdot I} \cdot (3L - x)$$

où  $x$  est la distance à partir de la base du faisceau en mm et  $F$  la force à appliquer perpendiculairement au faisceau, il est possible de calculer  $F$  associée à la déformation nécessaire au serrage du support mobile de la carotte(1.5 mm) :

$$F = \frac{1.5 \cdot 6 \cdot (7.9 \cdot 10^4) \cdot 20480}{(3 \cdot 139 - 131) \cdot 131^2} = 2967[\text{N}]$$

Avec un filetage interne M6, le pas est de 1 mm.

En divisant  $F$  par le nombre de filets, on obtient la force normale du levier nécessaire pour avancer de 1 mm :

$$\frac{2967}{6} = 495[\text{N}]$$

En tenant compte du rendement ( $\eta$ ) d'un filetage avec un angle  $\beta = 30^\circ$  (image 11), il est possible de calculer la force que l'utilisateur

doit exercer sur le levier à une distance  $d = 40mm$  (Image y) :

$$\eta = \frac{T_{sort}}{T_{ent}}$$

$$F_{lev} = \frac{495 \cdot 1}{0.89 \cdot 2(40)\pi} = 2.21[N]$$

Variation du rendement $\eta$ lorsque $f=0,05$ et $\alpha_n=20^\circ$									
$\beta$ (deg)	1	2	3	5	8	15	25	30	40
$\eta$	0,25	0,40	0,49	0,62	0,72	0,82	0,88	0,89	0,90

FIGURE 10 – Rendement de filetage en fonction de l'angle  $\beta$



FIGURE 11 – Force sur le levier

### 4.3 Justification du matériel utilisé

Dans cette partie, nous analyserons les différents matériaux utilisés pour les pièces que nous avons fabriquées, et nous justifierons nos choix.

#### 4.3.1 POM-C

Nous avons choisi d'utiliser le POM-C pour la structure de notre machine, les pignons et les guides car c'est un matériau qui est très souvent utilisé pour remplacer les métaux, comme l'acier, et nous avons pensé que c'était le choix idéal pour avoir une machine solide, légère, dure et résistante. De plus le POM-C se prête à l'usinage et est particulièrement recommandé pour la construction de pièces de précision, telles que notre rainure à l'extrémité de chaque mur. En outre, il possède de bonnes propriétés de résistance à l'usure. En outre, ce matériau peut être utilisé dans l'industrie alimentaire et peut résister au contact avec l'eau à une température de 80 degrés Celsius. Cela est dû au fait que le POM-C est physiologiquement inerte et qu'il résiste bien à une large gamme de produits chimiques, y compris de nombreux solvants. Et comme l'absorption d'eau est presque nulle, la précision dimensionnelle et la stabilité mécanique sont supérieures à celles des polyamides.

#### 4.3.2 Acier inoxydable

Ce matériau est utilisé dans nos machines pour les pointes des deux fourches, le support des pointes, le support de la lame, la connexion cylindrique et l'arbre [48]. Nous avons décidé d'utiliser l'acier inoxydable car c'est un matériau très durable et qui se prête également à l'usage mécanique. En outre, l'acier inoxydable a une plus grande résistance à l'oxydation et à la corrosion que l'acier normal, et comme certaines parties de nos machines devront être lavées, cette propriété pourrait s'avérer très utile. En effet, des études

bactériologiques ont démontré les avantages hygiéniques exceptionnels de l'acier inoxydable par rapport à d'autres types de surfaces, car la surface sans pores ne laisse aucune chance aux bactéries de survivre. De plus, il s'agit d'un matériau durable dont le remplacement est très improbable.

#### 4.3.3 Aluminium

L'aluminium est un alliage très léger dont le coût de production est très faible. C'est pourquoi nous avons décidé de l'utiliser pour la plupart des arbres, le tube porteur, le support manivelle et les "pièces à L".

#### 4.3.4 Laiton (CuZn37)

Nous utilisons un alliage du laiton en raison du procédé de déformation à froid. C'est également un matériau économique en raison du prix du zinc inférieur à celui du cuivre et il présente une bonne résistance à l'eau. C'est pourquoi nous avons décidé de l'utiliser pour le support

#### 4.3.5 Engrenages

Les engrenages, vis et d'autres pièces standardisées sont produites avec des alliages métalliques indiqués par les fournisseurs. Les calculs ont montré que les matériaux proposés par les fournisseurs sont très bons, car ils sont durables et ont une longue durée de vie.

## 5 Assemblage des pièces

### 5.1 Tolérances d'ajustement

Pour la plupart de nos pièces, nous avons choisi d'utiliser des tolérances générales appartenant à la norme ISO 2768-mK.

Nous avons incorporé une tolérance de serrage entre le support de carottes et les pics, permettant d'assurer un bon fonctionnement du mécanisme et d'éviter d'utiliser des vis supplémentaires. Nous avons choisi une tolérance g6, adapté à la mécanique générale, pour tous nos arbres qui traversent des roulements. Pour compléter ce choix, les logements des roulements associés à ces arbres ont une tolérance P7 qui permet d'assurer la résistance des roulements à une charge tournante sur la bague extérieure.

Pour les clavettes, on a choisi d'utiliser un clavetage léger afin de faciliter le démontage des éléments fixés. De plus, nous avons mis une tolérance d'incertitude pour retirer une partie de la rampe de la lame afin de la rendre amovible et lavable.

Pour d'autres pièces comme les circlips, nous avons suivi les directives données par l'extrait de normes en ayant en tête les dimensions des arbres sur lesquels ils sont montés. En général, le diamètre de la rainure est tolérance avec du h11 et la largeur de la rainure avec du H13.

Un endroit où nous avions besoin d'un jeu spécifique était entre l'arbre [48] et la paroi [43], où nous avions besoin d'un jeu défini comme "encore mobile sous une légère pression". Nous avons donc choisi les tolérances H7 et js6.

Le deuxième endroit où nous avions besoin d'un dégagement spécifique était entre le tube porteur[55] et le support [56]. En effet, lorsque le levier est ouvert, le tube doit pouvoir se déplacer. Nous avons alors choisi les tolérances H8 et h9. En outre, pour freiner le mouvement de la carotte, nous avons décidé d'insérer un morceau de caoutchouc en contact avec l'arbre [48], de sorte que celui-ci arrête son mouve-

ment et permet d'avoir seulement la rotation voulue. De plus, pour rendre la lame amovible, nous devions choisir un type de tolérance qui permette le retrait manuel mais aussi le maintien de la pièce. Nous avons donc choisi les tolérances H7 et k6.

## 5.2 État de surface

Dans le cas de notre épluche-carottes, nous n'avons pas nécessairement besoin d'un état de surface particulier pour nos pièces. Nous avons opté pour un état de surface Ra 3,2 car il correspond à celui utilisé généralement en mécanique et est suffisant pour garantir le bon fonctionnement de notre mécanisme.

## 6 Procédure d'assemblage

### 6.1 Liste des pièces

Ci-après, nous avons établi une liste des pièces de notre assemblage.

Quantité	Nom et numéro de pièce	Matériau	Désignation technique	Fournisseur	Image	Acheté/Usiné
120 Mailles	Chaîne de transport (1)	Acier	6261K193	McMaster		Acheté
8	Attaque (2)	Acier inoxydable	\	\		Usiné
1	Courroie dentée (3)	Caoutchouc	TBN138MX L037	Misumi		Acheté
1	Courroie dentée (4)	Caoutchouc	TBN55MX L019	Misumi		Acheté
4	Pignon (5)	POM-C	\	\		Usiné
1	Engrenage conique (6)	Acier au carbone 1117	6529K42	McMaster		Acheté et Usiné (Perforé)
1	Engrenage conique à une dent (7)	Acier au carbone 1117	6529K42	McMaster		Acheté et Usiné (Perfore et 1 dent)
1	Engrenage conique (8)	Acier au carbone 1045 à oxyde noir	2515N325	McMaster		Acheté et Usiné (Perforé)
1	Engrenage conique (9)	Acier au carbone 1045 à oxyde noir	2515N318	McMaster		Acheté et Usiné (Perforé)
2	Poulie dentée (10)	Duralumin	NTP16MXL 019-K-P5	Misumi		Acheté
2	Poulie dentée (11)	Duralumin	NTP36MXL 037-A-C10	Misumi		Acheté
2	Soutien (12)	Aluminium EN AW-Al Mg1	\	\		Usinée
3	Roulement à bille (13)	Acier inoxydable	685U-H	NSK		Acheté
3	Roulement à bille (14)	Acier inoxydable	7901A5TY NSULP4	NSK		Acheté
2	Roulement à bille (15)	Acier inoxydable	706A-H-20TYNSUL P5	NSK		Acheté
3	Roulement à bille (16)	Acier inoxydable	605-H-DD	NSK		Acheté

4	Vis (17)	Acier inoxydable	CSPLC79-SUS-M4-8	Sunco	Acheté
4	Vis (18)	Acier inoxydable	TRSS5-10	Misumi	Acheté
4	Palier lisse (19)	PTFE Plastic	2639T12	McMaster	Acheté
4	Circlip (20)	Acier inoxydable	NETWS8	Misumi	Acheté
3	Circlip (21)	Acier inoxydable	NETWS7	Misumi	Acheté
9	Circlip (22)	Acier	STWN15	Misumi	Acheté
4	Clavette (23)	Acier inoxydable	KESS5-20	Misumi	Acheté
2	Clavette (24)	Acier inoxydable	KESS4-12	Misumi	Acheté
36	Insert fileté (25)	Laiton	IE C 040 050 T066 L 0	Secam	Acheté
4	Vis de blocage (26)	Acier EN 1.7220 Equiv.	MSSF3-3	Misumi	Acheté
4	Vis de blocage (27)	Acier inoxydable	22760.0442	Halder	Acheté
1	Goupille (28)	Acier	SSPR4-25	Misumi	Acheté
2	Vis de réglage de la pointe (29)	Acier allié	92905A210	McMaster	Acheté
1	Rondelle (30)	Acier	98687A111	McMaster	Acheté
2	Vis (31)	Acier inoxydable	CSPLC79-SUS-M4-5	Sunco	Acheté
42	Vis (32)	Acier inoxydable	CSPLC79-SUS-M4-15	Sunco	Acheté
2	Pezzo lama 1 (33)	Acier inoxydable	\	\	Usiné
2	Rampe lame (34)	Acier inoxydable	\	\	Usiné
2	Pièce lame 2 (35)	Acier inoxydable	\	\	Usiné

2	Ressort à torsion rh (36)	Acier Music-Wire	9271K586	McMaster		Acheté
2	Ressort à torsion lh (37)	Acier Music-Wire	9271K652	McMaster		Acheté
1	Manivelle (38)	Fibre de verre	MT44291	Elesa		Acheté
1	Paroi 1 (39)	POM-C	\	\		Usiné
1	Paroi 2 (40)	POM-C	\	\		Usiné
1	Paroi 3 (41)	POM-C	\	\		Usiné
1	Paroi 4 (42)	POM-C	\	\		Usiné
1	Paroi 5 (43)	POM-C	\	\		Usiné
1	Paroi 6 (44)	POM-C	\	\		Usiné
1	Tampon butée (45)	Acier zingué et Caoutchouc	26112-02501755	Norelem		Acheté et Usiné (raccourcir la vis)
1	Arbre manivelle (46)	Aluminium EN AW-Al Mg1	\	\		Usiné
1	Arbre poulie basse (47)	Aluminium EN AW-Al Mg1	\	\		Usiné
1	Arbre poulie haute (48)	Acier X 10 Cr Ni S 18 10	\	\		Usiné
1	Arbre conique petit (49)	Aluminium EN AW-Al Mg1	\	\		Usiné
1	Arbre pignons de départ (50)	Aluminium EN AW-Al Mg1	\	\		Usiné
1	Arbre pignons finaux (51)	Aluminium EN AW-Al Mg1	\	\		Usiné

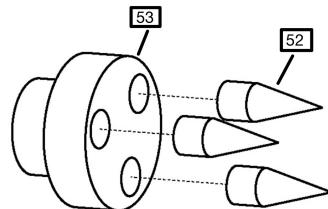
6	Pic (52)	Acier inoxydable	\	\		Usiné
2	Porte-carotte (53)	Acier inoxydable	\	\		Usiné
2	Transporteurs à rouleaux (54)	Acier JIS-SPHC-P	CRONEYB9	Misumi		Acheté
1	Tube porteur (55)	Aluminium EN AW-Al Mg1	\	\		Usiné
1	Support (56)	Cu Zn-37	\	\		Usiné
2	Lame (57)	Acier inoxydable	\	\		Donné
1	Connexion cylindrique (58)	Acier inoxydable	\	\		Usiné
1	Levier (59)	Aluminium EN AW-Al Mg1	\	\		Usiné
1	Support-levier (60)	Cu Zn-37	\	\		Usiné
2	Pièce L (61)	Aluminium EN AW-Al Mg1	\	\		Usiné
2	Guide 1 dessus (62)	POM-C	\	\		Usiné
1	Guide 2 dessus (63)	POM-C	\	\		Usiné
1	Guide 2 dessous (64)	POM-C	\	\		Usiné
1	Support manivelle (65)	Aluminium EN AW-Al Mg1	\	\		Usiné
3	Vis de serrage (66)	Acier SCM	SSHHSST3B-M4-3	Sunco		Acheté
1	Couvercle (67)	POM-C	\	\		Usiné
1	Base (68)	POM-C	\	\		Usiné
2	Arbre lame (69)	Acier inoxydable	\	\		Usiné
2	Pièce lame 3 (70)	Acier inoxydable	\	\		Usiné

## 6.2 Description de l'assemblage

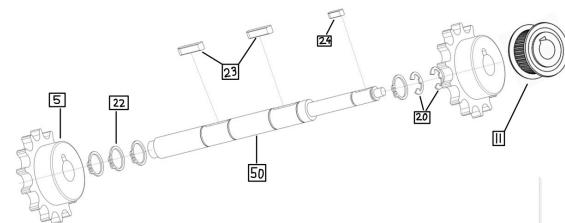
Pour assembler la machine, vous avez besoin d'un tournevis cruciforme, d'une clé à molette, d'une pince à circlips. Cependant, lorsqu'une serrure est nécessaire, vous pouvez aider délicatement à l'aide d'un marteau.

### 6.2.1 Préparation

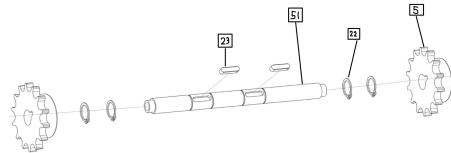
1. Pour commencer, placez les piques [52] à l'intérieur des trous du porte-carottes [53]. Répétez l'opération deux fois.



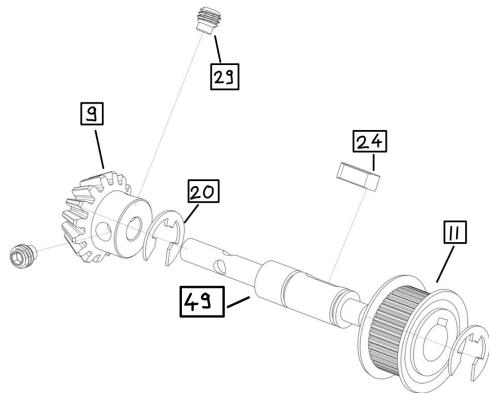
2. Préparez l'arbre [50] et insérez-y les clavettes [23] et [24], si nécessaire à l'aide d'un marteau. Insérez les pignons [5] en position. À l'aide d'une pince à circlips, positionner les circlips [22] de manière à ce que les pignons soient fixés. Insérez la poulie [11], et positionnez les circlips [20] de manière à fixer la poulie.



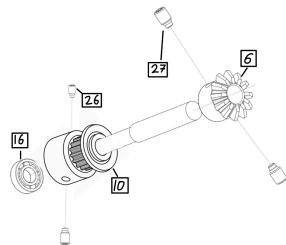
3. Préparez l'arbre [51] et insérez-y les clavettes [23], si nécessaire à l'aide d'un marteau. Insérez les pignons [5] en position. À l'aide d'une pince à circlips, positionner les circlips [22] de manière à ce que les pignons soient fixés.



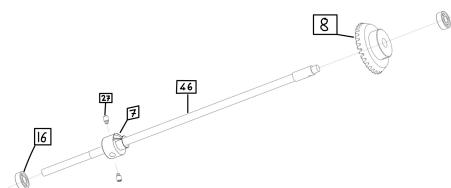
4. Assemblez l'arbre [49]. Positionnez les clavettes [24], en utilisant un marteau si nécessaire. Positionner ensuite la poulie [11] et la fixer avec 2 circlips [20]. Positionner l'engrenage conique [9] et, à l'aide d'une clé inbus, fixer l'engrenage conique avec les vis de serrage [29].



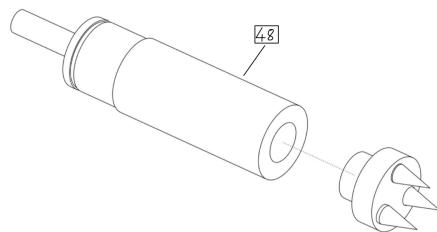
5. Pour assembler l'arbre [47], placer la poulie [10] à 1,5 cm du début de l'arbre et la fixer avec 2 vis de serrage [26]. Positionnez l'engrenage conique [6] de façon à ce que le sommet du cône soit à fleur de l'autre extrémité de l'arbre, et fixez-le avec 2 vis de serrage [27]. Insérer les roulement à bille [16].
6. Préparation de l'arbre [46]. Positionner l'engrenage conique [8] et le fixer à l'aide de la goupille [28], si nécessaire en utilisant un marteau. Positionner l'engrenage conique avec une dent [7] à une distance de 5.5 centimètres du bout de l'arbre, et le fixer à l'aide de 2 vis de serrage [27] à l'aide d'une clé inbus. Insérer



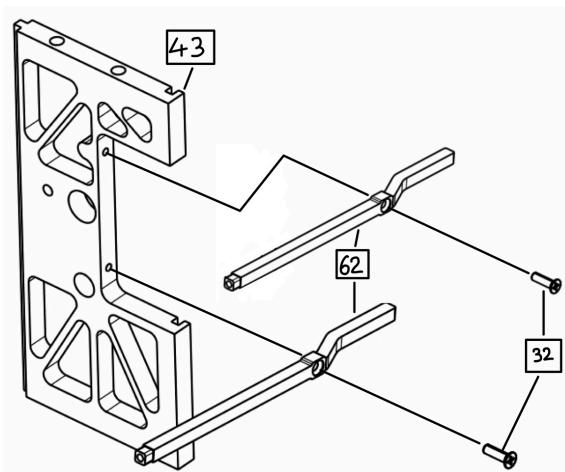
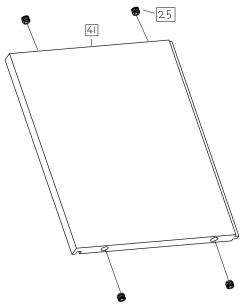
les roulement à bille [16].



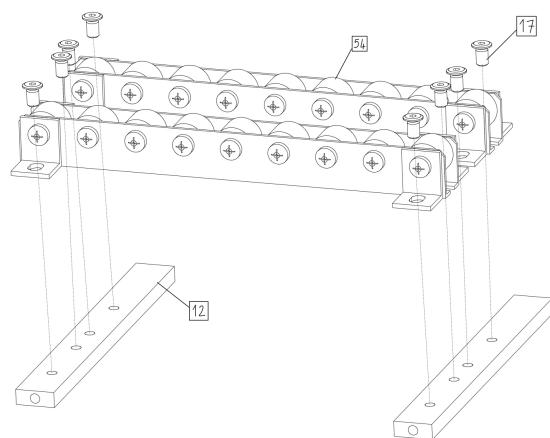
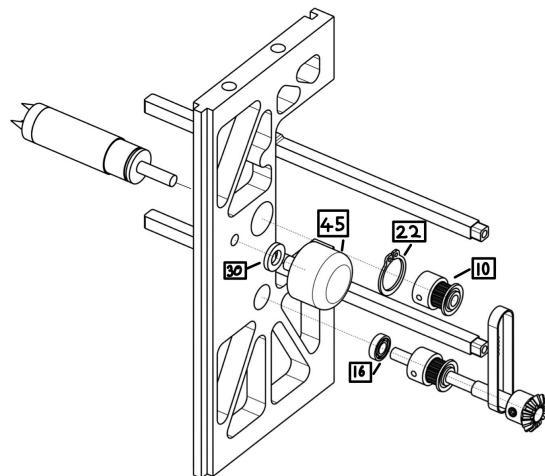
7. Prendre l'arbre [48] et y visserez la fourche composée du porte-carotte assemblé a priori.



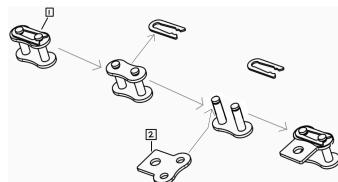
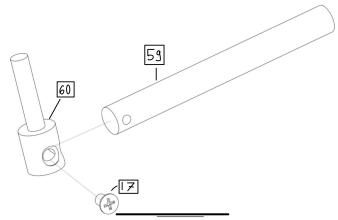
8. Insérez les inserts filetés [25] dans l'extrémité de la paroi 3 [41]. Répétez cette opération également pour les parois 1 [39], 2 [40], 4 [42], 5 [43] et 6 [44].
9. Fixer les guides 1 [62] dans la paroi 5 [43] avec les vis [32].



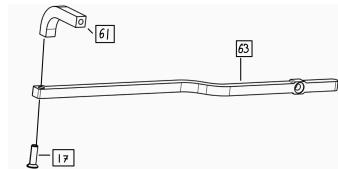
10. Positionnez la paroi 5 [43] et insérez l'arbre [48], comme indiqué sur l'image. Ensuite, toujours en se référant à l'image, positionner le circlip [21] et la poulie [10], et fixer cette dernière avec deux vis de serrage [26]. Dans le deuxième trou, insérer la rondelle [30] puis visser le tampon butée [45]. Insérez l'arbre [47] dans le trou restant.
11. Assembler 2 transporteurs à rouleaux [54] avec 2 tiges [12] et les fixer à l'aide de 8 vis [17].



12. Pour construire le levier qui bloque la carotte, prenez le support de levier [60] et reliez-le au levier [59], et fixez-les avec une vis [17], toujours à l'aide d'un tournevis.
13. Pour construire la chaîne finale, prenez la chaîne [1] et enlevez deux maillons consécutif aux deux extrémités, et remplacez-les par des attaches [2].



- Prenez la première pièce L [61] et fixez-la à la guide 2 dessus avec une vis. Faites de même avec la deuxième pièce L et la guide 2 dessous. En suite fixez les pièces L à la paroi [42]

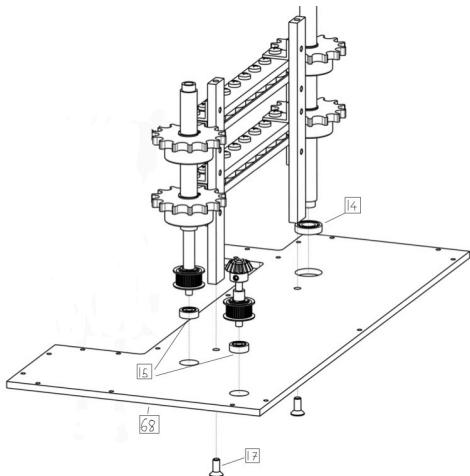


### 6.2.2 Assemblage

- Insérer les 3 roulements à bille [14] dans le tuyau porteur insérer [55] aussi la connexion cylindrique [58]. Vissez ensuite la fourche construite lors de la première étape. Placez-la ensuite dans le support [56].
- Insérez les différents roulements à billes [14] [15] dans la base [68], en suivant soigneusement les instructions des images. Positionner la base [68] et insérer l'ensemble construit dans la partie 8 de la préparation et le fixer avec 2 vis [17]. Prenez l'arbre [49] et insérez-le dans le trou indiqué. Et faites de même pour les

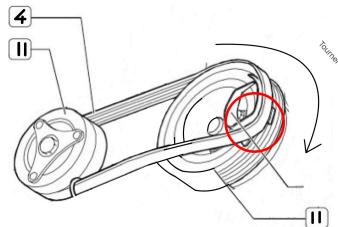


arbres [50] et [51]. Insérez également l'ensemble construit dans la partie 11 de la préparation et fixez-le avec les vis [17].



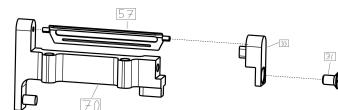
3. Placez la courroie [4] autour de la poulie [10] de l'arbre [49] et faites-la passer sur la poulie [10] de l'arbre [48] aussi loin que possible.
  4. Prenez la courroie [4] et mettez-la autour de la poulie [11] de l'arbre [52], et placez-la sur l'autre poulie [11] aussi loin que possible. Faites ensuite tourner la poulie [11] pour faire rentrer la courroie [4], jusqu'à ce qu'elle soit dans sa position finale. Faites la même chose deux fois de plus pour fixer les chaînes [1]. Insérer une chaîne [1] autour du pignon [5] plus bas que l'arbre [52] et la placer aussi loin que possible autour du pignon [5] plus bas que l'arbre [53]. Faites tourner les différents arbres jusqu'à ce que la chaîne [1] soit dans la bonne position. Suivez

ces dernières étapes pour installer la deuxième chaîne.

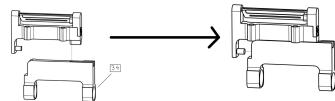


**Assemblage de la lame :**

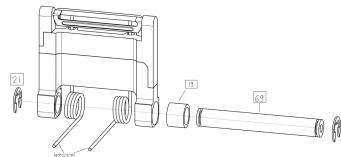
- (a) Prendre la pièce de lame 3 [70] et y insérer la lame [57]. fixer la lame avec la pièce de lame 1 [33] au moyen d'une vis [31].



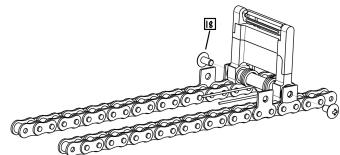
- (b) Positionner l'ensemble nouvellement construit dans la rampe de lames [34]. Pour ce faire, l'insérer d'abord verticalement, puis le déplacer horizontalement comme dans l'image.



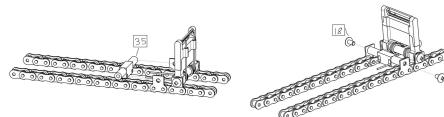
- (c) Insérez l'ensemble, avec les ressorts de torsion [36] [37], dans l'arbre porte-lames avec les palier lisses [71] (un déjà inséré), et fixez-le avec 2 circlips [21].



- (d) Fixez le tout à la chaîne avec 2 vis [18].

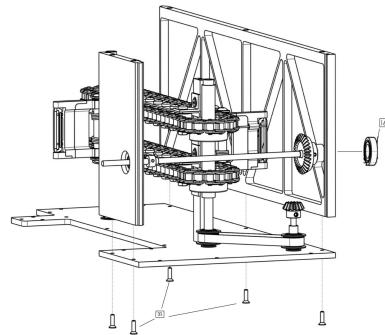


- (e) Glisser la pièce de lame 2 dans les ressorts de torsion et la fixer avec 2 vis.

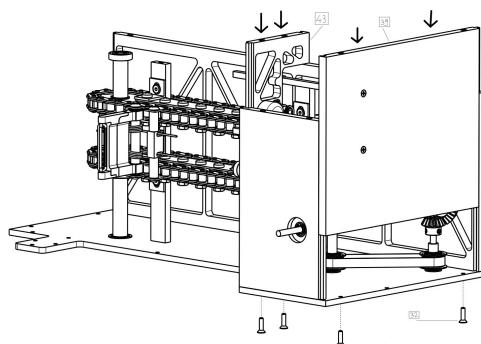


- (f) Répétez l'opération pour la deuxième lame.

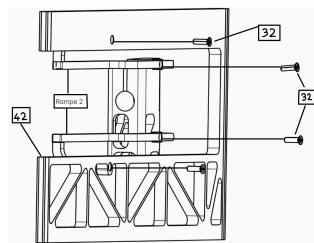
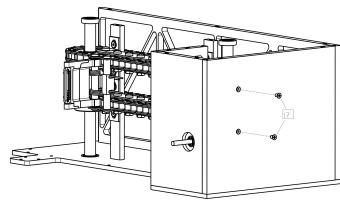
5. Insérer l'arbre [46] dans le roulement à bille dans la paroi [41]. Insérer le roulement à bille [16] jusqu'à la partie ayant le plus petit diamètre et après faites passer l'extrémité libre de l'arbre à travers la paroi [44].



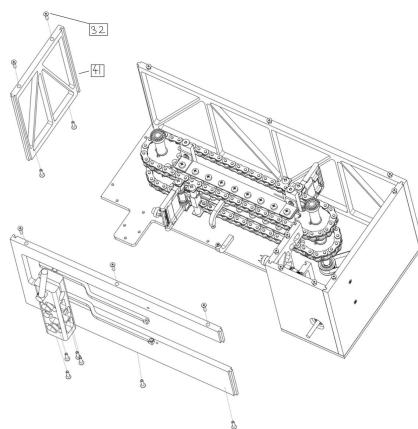
6. Faites tourner l'arbre jusqu'à ce que la dent de l'engrenage conique [7] soit tournée vers l'intérieur de la machine. Déplacez les chaînes de manière à ce que les lames se trouvent aux extrémités des poulies. Insérez l'ensemble construit à l'étape 10 de la préparation avec la paroi 1 [39].



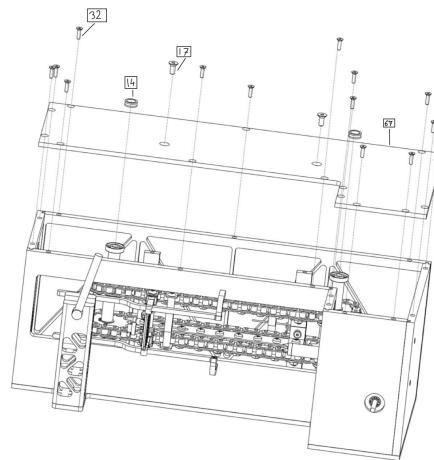
7. Fixer les rails 1 à la paroi 1.
8. Fixer ensuite les rampes 2 sur le support [56] grâce aux vis [32] et à la paroi 4 [42] grâce aux vis [32].



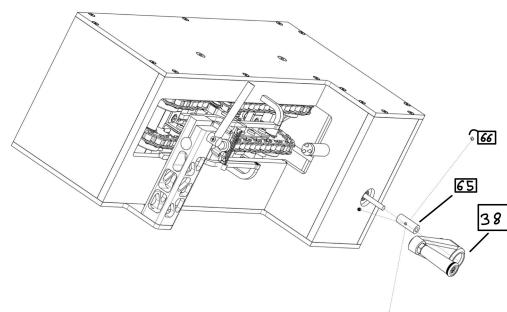
9. Placez l'ensemble nouvellement construit et la paroi 3 [41] à la base et fixez le tout avec des vis [32].



10. Positionnez le couvercle [67] comme indiqué sur la figure, en faisant correspondre tous les trous et en le fixant avec des vis.



11. Insérez le support de la manivelle [65] et fixez-le avec les vis [66]. Insérez la manivelle [38].



## 7 Mode d'emploi

### 7.1 Introduction

Le mode d'emploi contient toutes les instructions nécessaires à l'utilisation de l'épluche-carottes dans les conditions qui garantissent son fonctionnement optimal, ainsi que la procédure d'entretien qui assure une durée de vie correcte. Veuillez à respecter les étapes et les manipulations indiquées afin de profiter de cet appareil tel qu'il a été conçu.

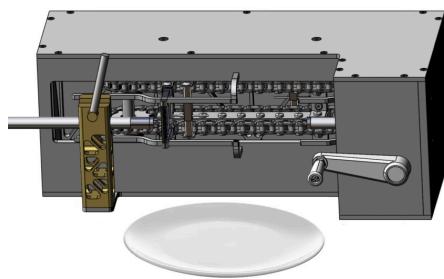
### 7.2 Précautions

**Avant l'utilisation :** Vérifiez le bon fonctionnement de la machine en tournant la manivelle pendant quelques secondes et contrôlez le mouvement réel de la lame le long de la trajectoire sans qu'elle ne se coince.

### 7.3 Utilisation

Afin d'éplucher correctement la carotte, veuillez suivre les étapes suivantes :

1. Vérifiez que la machine soit bien fermée et que vos mains ne peuvent pas accéder au mécanisme de la lame.
2. Tenez-vous sur le bord d'une surface plane pour une bonne rotation de la manivelle.
3. Positionnez l'assiette de récupération des déchets d'épluchage à l'emplacement prévu comme ci-dessous :
4. Placez la carotte entre les deux supports, en les ajustant selon la longueur du noyau et en serrant l'étau du support mobile et vérifier que le noyau est bien fixé.
5. Tournez la manivelle dans le sens des aiguilles d'une montre, à raison d'environ un tour par seconde, en essayant de garder

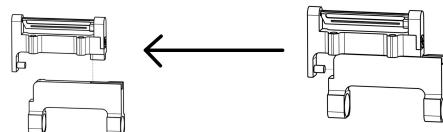


une vitesse constante, jusqu'à ce que la surface de la carotte soit totalement épluchée.

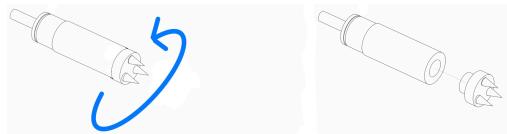
6. Desserrez l'étau du support mobile et retirez la carotte. Enlevez aussi l'assiette avec les déchets.

#### 7.4 Nettoyage et entretien

Pour nettoyer l'épluche-carottes, tournez la manivelle jusqu'à ce que une de deux lames soit visible. Prenez la partie la plus haute de la structure de la lame et la retirer comme indiqué sur le dessin, puis laver toute la pièce et l'insérer de la manière inverse que vous l'avez retirée. Répétez la même procédure pour l'autre lame.



Enfin, pour nettoyer les porte-carotte, il faut les dévisser à la main. Une fois les pièces lavées, séchez-les avant de les assembler.



## 8 Conclusion

### 8.1 Respect du Cahier des charges

Cahier des charges	Spécifications	Résultat
Mécanisme capable d'éplucher des carottes sur toute leur longueur	Lame avec support reliés au convoyeur	Respecté
L'épluche-carottes doit être capable de s'adapter raisonnablement aux irrégularités de la carotte	Utilisation de la rampe dans le support-lame	Respecté
La mise en œuvre du mécanisme se fait par une seule personne	Tournage manivelle	Respecté
La seule source d'énergie pour l'actionnement de la machine est une main de l'utilisateur, la deuxième pouvant être utilisée pour stabiliser le mécanisme	" "	Respecté
La direction du mouvement d'actionnement devra être perpendiculaire à l'axe longitudinal de la carotte	Axe de la manivelle perpendiculaire à l'axe de la carotte	Respecté
La machine doit être stable, robuste, résister à son environnement	Matériaux utilisés : Acier, POM-C, Aluminium, Laiton	Respecté
La masse totale de la machine prête à l'emploi est de 8kg maximum	Poids : 6.611kg	Respecté
L'encombrement de la machine devra être raisonnable afin de pouvoir l'utiliser sur un plan de travail de cuisine, de pouvoir la déplacer et la stocker facilement	Dimensions : 51.67x19.7x32.91 [cm]	Améliorable
La sécurité de l'opérateur et de son entourage doit être assurée en tout temps	Engrenages intérieurs	Respecté
Les éléments en contact avec les carottes doivent pouvoir être facilement démontés et nettoyés	Bras support-lames amovibles	Respecté
Les déchets doivent être évacués dans un récipient ne faisant pas partie de la machine	Plaque placée sous la carotte avec une longueur de 29,89 [cm] et une hauteur maximale de 5,59 [cm]	Respecté

Toutes les pièces sur plan doivent pouvoir être fabriquées par usinage 3-axes		Respecté
Les matériaux autorisés pour les pièces sur plan sont ceux utilisés en usinage	Acier, Aluminium, Laiton, POM-C	Respecté
Le diamètre minimal des éléments d'assemblage est de 4mm		Respecté

## 8.2 Bilan du projet

En général, nous pensons que notre machine est compacte, fonctionnelle et pas trop encombrante. Selon les calculs de synchronisation des déplacements lame-carotte, notre machine serait capable d'éplucher une carotte en 12 secondes maximum. Si on ajoute le temps pour mettre et enlever la carotte, le temps final sera plus ou moins de 20 secondes. Toutefois, les dimensions pourraient poser des problèmes de maniabilité dans un environnement de cuisine. En outre, nous pourrions nous améliorer en créant des machines plus simples à l'avenir.

## 9 Plans 2D

## **10 Annexes**

### **10.1 Fiches d'information des pièces achetées**