

Ingénierie Inverse d'un Ouvre-Boîte

Groupe 20

A. Introduction

Afin de se familiariser avec les différentes étapes de développement d'un produit nous parcourons le processus inverse pour le cas d'un ouvre-boîte à manivelle. L'analyse de cet objet va de sa conception à partir d'un cahier des charges à une estimation des coûts de production. Il nous aurait été utile de pouvoir décomposer plus l'objet mais cela n'a pas été possible, l'accès aux outils de l'EPFL étant restreint suite au COVID-19. Une critique des choix faits par les ingénieurs suit cette analyse.

B. Sommaire

1. Analyse du produit	1
1.1 Analyse fonctionnelle et cahier des charges	1
1.1.1 Fonctionnalités	1
1.1.2 Contraintes	1
1.1.3 Cahier des charges	2
1.1.4 Réponse au cahier des charges	3
1.2 Nomenclature	4
1.2.1 Liste des pièces	4
1.2.2 Arborescence	19
1.3 Cahier des charges des pièces	19
1.4 Choix des matériaux	20
1.5 Analyse du produit	21
2. Mise en œuvre	22
2.1 Méthode de fabrication	22
2.2 Assemblage	23
3 Analyse des coûts	24
3.1 Usinage des pièces	24
3.2 Assemblage manuel	24
4. Analyse critique	26
4.1 Identification des points faibles et forts du produit	26
4.2 Améliorations possibles	26
5. Recherche de variantes de produit remplissant le même cahier des charges	28
6. Annexes	31
7. Références	34

1. Analyse du produit

1.1 Analyse fonctionnelle et cahier des charges

Pour faire le cahier des charges aussi complet que possible, nous avons listé les fonctionnalités attendues de l'objet puis nous avons établi, à partir de celles-ci, les contraintes de l'ingénieur.

1.1.1 Fonctionnalités

Les fonctionnalités sont des souhaits des clients (ménages et magasins de distribution) vis-à-vis de l'objet :

1. Ouvrir des boîtes de conserve sans ouverture facile de manière efficace sans contaminer le contenu
2. Décapsuleur (secondaire)
3. Rangement facile, autant en cuisine qu'en magasin (secondaire)

Ouvrir une boîte de conserve est la fonctionnalité première de l'ouvre-boîte ; bien évidemment il est bon de le faire sans intoxiquer les clients. Les autres fonctionnalités en font un objet pratique et multitâche qui cible ainsi une plus grande clientèle.

1.1.2 Contraintes

Suite aux fonctionnalités dégagées, les contraintes pour les ingénieurs sont :

- Compatibilité alimentaire des matériaux ; ne doit pas rouiller et ne pas dégager de toxines
- Transportable (peu encombrant et léger)
- Esthétisme (joli en cuisine)
- Durée de vie d'au moins 5 ans
- Bonne prise en main pour la majorité des clients
- Sécurité d'utilisation
- Doit pouvoir être utilisé à l'extérieur et donc supporter une gamme de températures
- Doit supporter les chutes et le lave-vaisselle ; ne se démonte pas facilement
- L'objet doit se suffire à lui-même pour ouvrir une boîte
- Bon marché, petit prix

La quantification de ces contraintes est faite dans le cahier des charges en 1.1.3.

1.1.3 Cahier des charges

Client		Technique
Généralités		
Léger	Poids maximum	500g
Transportable	Dimensionnement	25cmx12cmx5cm
Coût	Prix final	< 30 €
Durée de vie élevée (5 ans)	Nombre de cycles d'utilisation	> 50'000 cycles (27 boîtes/j sur 5 ans)
Sécurité	Parties dangereuses éloignées et protégées du corps humain	
Bonne prise en main, agréable au toucher	Surface pour avoir un bon grip	
Design / Rendu visuel	Donne envie d'acheter au client	
Utilisable pour adultes et adolescents	Force maximale de préhension nécessaire au fonctionnement	20kg ~195N [2]
Compatible alimentaires	N'entre pas en contact avec le contenu de la boîte	
Matériaux		
Utilisable dehors / lave-vaisselle (pas de rouille)	Inoxydable	
Doit survivre aux chutes / résistant	Résilience des matériaux et bonne ductilité	E ~ 200GPa [1] et bonne composition
Compatible alimentaires	Matériau compatible pour l'alimentaire (chimiquement inerte)	
Doit pouvoir être utilisé à température ambiante	Résistance thermique	[-50;50]°C
Assemblage		
Prix	Simplicité, tolérance des pièces	±0.5mm voir plus

Table 1: Cahier des charges client et technique

1.1.4 Réponse au cahier des charges

L'ouvre-boîte étudié (Figure 1) fonctionne par découpe du couvercle par une lame circulaire. C'est le rôle des poignées de plaquer la lame contre la boîte et une roue dentée contre le pourtour. Cette dernière sert à s'aligner avec la boîte ainsi d'aider au déplacement le long du bord. Le déplacement et la découpe se font par l'actionnement de la manivelle ce qui évite de devoir toucher la boîte pendant le processus d'ouverture. Les deux mains sont ainsi occupées, loin de la lame et du bord tranchant fraîchement coupé du couvercle.

La forme de la pièce centrale (Figure 8) remplit la fonction secondaire de décapsuleur et le trou en son centre et les anneaux des poignées permettent d'accrocher l'ouvre-boîte par différents moyens. Ainsi, notre ouvre-boîte remplit toutes ses fonctions.

Pour ce qui est du cahier des charges, notre ouvre-boîte pèse 250g, il mesure 22cm x 5cm x 2.3cm, il a coûté 15€. La plupart des pièces sont en acier inoxydable. Les poignées font effet levier, ce qui permet aux personnes avec moins de force, comme les enfants (de plus de 12 ans) et les personnes âgées, de pouvoir percer le couvercle plus facilement. L'ouvre-boîte cible une population droitrière du fait du positionnement de la manivelle vis-à-vis de la lame.

Une attention particulière a été destinée au design de l'ouvre-boîte au niveau des poignées et de la manivelle pour assurer le confort lors de l'utilisation. Les poignées ont aussi un revêtement spécial, qui permet un meilleur grip.

Tout cela montre que notre objet remplit le cahier des charges.



Figure 1: L'ouvre-boîte analysé dans le cadre de ce projet.

1.2 Nomenclature

1.2.1 Liste des pièces

Nous avons disséqué notre objet dont voici les pièces :

N	Pièce	Matériau	Fonction
1	Intérieur poignée et anneau x2	Acier Inoxydable	Décoration - Rangement
2	Tube poignée x2		Confort - Levier - Assemblage
3	Liaison anneau-corps x2		Assemblage
4	Corps inférieur		Support lame
5	Corps supérieur		Support manivelle
6	Tête		Alignement - Protection
7	Rivet		Liaison des corps
8	Axe lame	Laiton sans Plomb	Taraudage pour (11)
9	Engrenage bombé	Acier Inoxydable	Transmission de force
10	Lame de découpe circulaire		Cisaillement
11	Vis à tête bombée avec collerette		Assemblage
12	Manivelle		Couple
13	Axe manivelle		Liaison manivelle
14	Ressort	Acier à ressort	Amorti le jeu, maintient (18) contre la boîte
15	Palier de glissement	Polyamide	Réduction frottement
16	Engrenage plat	Acier Inoxydable	Transmission de force
17	Rondelle		Alignement
18	Engrenage de grip		Facilite l'utilisation
19	Liaison		Liaison entre (9) et (10)

Table 2: Liste des pièces, matériau et fonction.

1. Intérieur poignée et anneau (Quantité : 2) - Figure 2 et 3

Ovale plat extrudé ayant une symétrie passant par son grand axe. Il a une excroissance qui entre dans la pièce 2 (Tube poignée), comme le montre la Figure 3. Elle est partiellement visible une fois assemblée.



Figure 2: Photo des deux anneaux qui, selon nous, se prolongent à l'intérieur de la poignée (Figure 3).

Dimensions : petit axe 1.2cm (int) et 1.7cm (ext), grand axe 2cm (int) et 2.3cm (ext) et épaisseur de 2mm.

Elle n'est pas nécessaire à la fonction primaire de l'ouvre-boîte. On peut imaginer cependant qu'elle permet de suspendre l'objet quelque part en cuisine, de plus elle rajoute de l'esthétique à l'objet.

La fonction de cette pièce étant secondaire, nous pensons que les dimensions ne sont pas sous contrainte autre que les anneaux doivent être suffisamment grands et robustes que pour pouvoir accrocher l'objet en cuisine ou dans les rayons du magasin.

La dimension des poignées est l'un des facteurs qui nous porte à croire que les anneaux se prolongent à l'intérieur de la poignée, comme illustré en Figure 3. Nous distinguons aussi une bavure ou un reste de soudure sur l'anneau de droite mais il n'y en a pas sur celui de gauche et nous éliminons donc la possibilité de la soudure. Cela dit, il se peut que ce soit une soudure corrective faite après assemblage car le tout ne tenait pas très bien en place.

L'aspect est gris brillant et métallique. Elle n'est pas attirée par un aimant, de plus son aspect montre l'utilisation d'un traitement de surface : le limage.

Pour l'assemblage, cette pièce s'insère dans la pièce 2 et 3 et elle est fixée par serrage lorsque le Tube poignée est aplati par la suite.

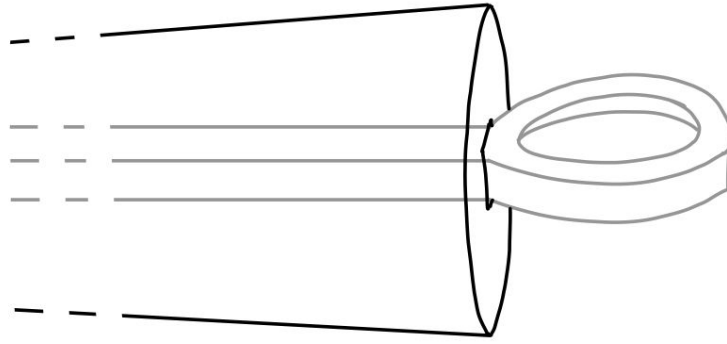


Figure 3: Représentation schématique des anneaux (gris) en une pièce continue se prolongeant à l'intérieur du tube (noir).

2. Tube poignées (Quantité : 2) - Figure 4

Cette pièce est un tube à base ovale, écrasée selon son grand axe à son extrémité. Un creux de la taille d'un pouce est visible sur l'avant de la pièce. Elle possède un plan de symétrie.



Figure 4: Photos des poignées de l'ouvre-boîte. Le tube est aplati d'un côté pour des raisons d'assemblage. C'est ce qui cause la déformation du diamètre sur la longueur.

Dimensions : diamètre initial estimé à 2cm et longueur 12,5cm.

Les tubes des poignées servent à pouvoir exercer une force suffisante pour percer la boîte grâce à l'effet levier et assurent également le confort de l'utilisateur.

La fonction de cette pièce est primaire mais son dimensionnement n'est pas très contraint. La force à exercer pour percer une conserve est minime et de plus amplifiée par l'effet levier ce qui la garantit même si l'objet est utilisé par un enfant.

La formule pour le calcul de force d'un levier est [17] :

$$L/l = R/E \text{ ce qui donne } R = EL/l = 195N * 5cm/1.5cm = 650N, \text{ avec :}$$

R la force exercée sur la boîte,

E la force maximale du cahier des charges

L la distance point d'appui - pivot (rivet) (petite main)

l la distance pivot - lame

Pour la majorité des boîtes, une force de 650N est suffisante pour vaincre la contrainte $\tau = \gamma G$ ($G=81\text{GPa}$ [18]) si l'angle γ est suffisamment petit (force appliquée à la verticale) sur 1mm^2 de contact avec la lame.

Le plus important est donc que le diamètre tienne bien en main et qu'il y ait assez de place pour la main sur la longueur.

Cette pièce est métallique, facilement rayable et elle attire un aimant. Un traitement de surface donne cet aspect brillant.

Les pièces 1, 3 et 4 (ou 5) s'introduisent à l'intérieur, puis on écrase pour fixer le tout par serrage à l'intérieur de la pièce 3.

3. Liaison anneaux-corps (Quantité : 2) - Figure 5

La liaison anneaux-corps est un élément très important qui permet d'attacher les pièces du corps aux poignées. Nous n'avons pas pu ouvrir le manche pour voir exactement comment elle est. Nous avons donc émis des hypothèses. La forme supposée de cette pièce est montrée à la Figure 6. Elle serait une sorte de cylindre creux avec 2 symétries centrales (on peut tourner la pièce de 180° et elle reste la même) et 2 axes de symétrie selon les 2 axes de l'ellipse. Cette pièce est utile pour l'assemblage seulement. Elle se trouve à l'intérieur du tube et nous imaginons qu'elle s'étend sous le creux visible en Figure 4.



Figure 5: Photo de la liaison tube - corps de l'ouvre-boîte.

Une pièce, la liaison anneaux-corps, peut être distinguée à l'intérieur des tubes.
 Sa schématique (supposée) est illustrée en Figure 6.
 Dimensions (supposées) : diamètre 1.9cm et longueur 3.5cm.

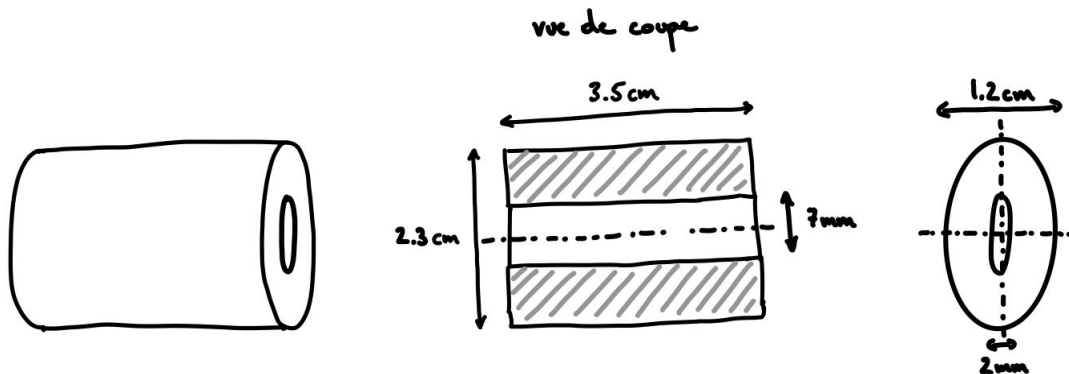


Figure 6: Schématique (supposée) de la liaison anneaux-corps visibles en Figure 5.

Cette pièce est déformée au moment de l'assemblage pour bien fixer les corps aux éléments de la poignée (Figure 20). Pour cette raison son dimensionnement est délicat mais grossier à la fois car la presse va compenser les défauts.

Les deux extrémités servent de butée aux pièces 1, 4 (ou 5) qui viennent s'insérer à l'intérieur avant d'être serrées par la presse à l'intérieur de la pièce 2. C'est probablement la pièce la plus dure à usiner à cause du trou traversant relativement fin qu'il faut faire.

La pièce a un aspect métallique brillant gris.

4. Corps Inférieur (Quantité : 1) - Figure 7

Le corps inférieur est une pièce plate en forme de zig-zag, s'enfonçant dans la poignée. Elle a un renforcement à son extrémité avec gros trou à l'intérieur pour pouvoir ensuite fixer l'axe de la lame circulaire en biais (à un angle de 30 degrés par rapport à la normale) et un plus petit trou en son milieu pour la lier au corps supérieur à l'aide d'un rivet à la manière de ciseaux. Cette pièce a une forme singulière et, de ce fait, ne possède pas d'axe de symétrie.

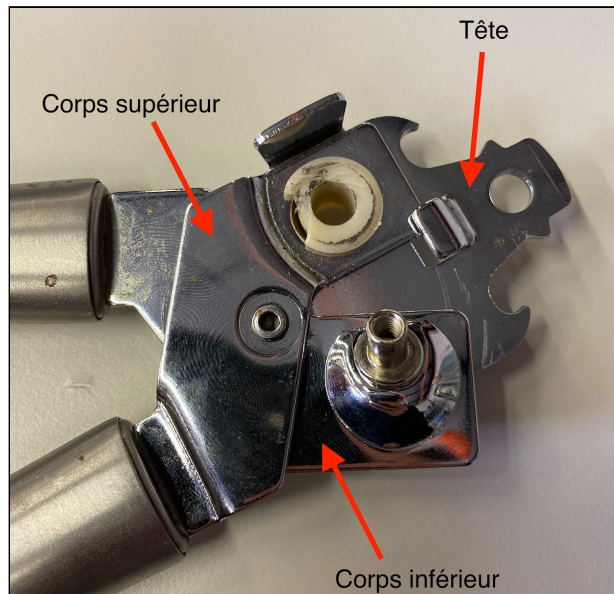


Figure 7: Photo du corps inférieur et supérieur de l'ouvre-boîte tenus par un rivet à la tête.

Le corps supérieur est solidaire à la tête.

Dimensions extérieures : 6 cm x 4.5 cm x 2 mm

C'est l'une des deux pièces primordiales qui travaillent en tandem pour ouvrir la conserve. Contrairement à la pièce 5, celle-ci est mobile vis-à-vis de la tête. Le fait que le renforcement qui sert à orienter l'axe de la lame ressorte autant sert de butée au mouvement contre le corps supérieur et limite ainsi le degré de liberté.

C'est une pièce métallique très lisse. Il est attiré par un aimant et il est modérément rayable.

Cette pièce est fixée par un rivet avec la tête et le corps supérieur. Elle est insérée dans la liaison anneaux-corps avant d'y être fixée par serrage. La pièce 8 est montée sur le corps inférieur par serrage.

5. Corps Supérieur (Quantité : 1) - Figure 7

Le corps supérieur est solidaire à la tête. C'est une pièce principale qui a pour forme un zig-zag, s'enfonçant dans la poignée, avec un gros trou à son extrémité pour fixer l'axe de la manivelle et un autre plus petit en son milieu pour la lier au corps inférieur à l'aide d'un rivet à la manière de ciseaux. Cette pièce a un renforcement pour permettre le passage et le pivotement du corps inférieur (jusqu'à environ 55°, empêchant le mouvement d'aller plus loin), de sorte à ce que les deux poignées puissent être alignées lorsqu'on regarde le profil de l'objet (Figure 4). Un autre petit renforcement peut être aperçu autour du rivet pour mieux pouvoir le monter.

Le corps supérieur, comme le corps inférieur, ne possède pas d'axe de symétrie.

Le matériau dans lequel est fait cette pièce a les mêmes caractéristiques que le corps inférieur.

Cette pièce est fixée au corps inférieur et à la tête par le rivet. Le palier de glissement fixe la tête au corps supérieur. Ces 2 pièces deviennent donc solidaires l'une de l'autre. Finalement le corps supérieur est aussi inséré dans la liaison anneaux-corps avant d'y être fixée par serrage.

6. Tête (Quantité : 1) - Figure 7 et 8

Cette pièce est aussi une pièce qualifiable de "2D" : elle est plutôt plate. Elle a sur le haut en son centre un trou qui est fait pour des raisons de packaging pour la vente en rayons dans les magasins et, autour, sa forme constitue deux décapsuleurs de manière symétrique. Un "TURN" ainsi qu'une flèche sont gravés un peu plus bas pour expliquer à l'utilisateur dans quel sens tourner la manivelle pour ouvrir la conserve. On trouve un trou décentré par lequel passe l'axe de la manivelle avec une excroissance, pour agrandir la profondeur du trou permettant de gagner en alignement et précision. Il y a aussi un petit trou en son milieu vers le bas pour le rivet où on remarque également un renforcement autour pour pouvoir le monter. De plus, se trouve un gros repli en forme de L, situé sur le côté du corps supérieur, qui permet un bon alignement avec la boîte de conserve lors de l'ouverture de celle-ci. Finalement on trouve une excroissance centrale en forme de Z, permettant l'alignement des deux corps lorsque les poignées sont serrées.

Cette pièce est celle qui relie les deux corps et l'axe de la manivelle. Sa fonction est donc primordiale dans ce design. Séparant le côté de la conserve avec les engrenages et la lame de la manivelle, elle fait obstacle entre la main de l'utilisateur et un potentiel danger lors de l'application de la force nécessaire à ouvrir la conserve. Elle a en plus une fonction secondaire qui est qu'elle peut être utilisée comme décapsuleur.



Figure 8: Photo de la tête de l'ouvre-boîte qui sert aussi de décapsuleur. La pièce est particulièrement difficile à démonter à cause du rivet, qui lie les corps, et du palier de glissement de la manivelle qui est collé.

Dimensions extérieures : 4.5 cm x 7 cm x 1.7 cm (en tenant compte des replis et l'excroissance du trou, sinon la feuille métallique est de 2 mm d'épaisseur)

Comme les deux pièces du corps, cette pièce est d'aspect métallique brillant gris et elle attire les aimants.

Cette pièce a deux points d'assemblage. Premièrement elle est reliée au corps supérieur et inférieur à l'aide du rivet (il passe dans le trou dédié), ensuite le palier à glissement fixe la tête avec le corps supérieur.

7. Rivet (Quantité : 1) - Figure 7 et 8

Cette pièce est en forme de champignon creux. C'est une pièce d'assemblage, de 4 mm de diamètre qui sert de pivot entre le corps inférieur et corps supérieur et la tête. Elle possède une symétrie circulaire passant par son axe central.

Elle est d'aspect métallique brillant gris.

Pour l'assemblage, le rivet s'insère dans son trou puis il est écrasé pour empêcher les pièces de se désassembler.

8. Axe lame (Quantité : 1) - Figure 7

Cette pièce est en forme de tube creux de 8mm de profondeur, taraudé à l'intérieur. Elle s'élargit abruptement sur une de ses extrémités, pour pouvoir s'assembler avec le corps inférieur. Tout comme le rivet, elle possède une symétrie circulaire passant par son axe central. Sa fonction est de servir d'axe pour la lame circulaire et l'engrenage bombé.

Cette pièce est d'aspect métallique brillant doré.

Elle se place par serrage dans le corps inférieur, puis un assemblage des pièces 9, 10, et 19 se glisse dessus. La vis (pièce 11) vient ensuite fixer le tout en s'insérant dans la partie taraudée.

9. Engrenage bombé (Quantité : 1) - Figure 9 et 10

Cette pièce est un engrenage à 13 dents longues. Le tout est bombé, de sorte à créer un petit engrenage conique. Deux petits plats peuvent être visible en son centre, pour des questions de montage. Cette pièce a donc qu'un plan de symétrie.

C'est une pièce primaire, nécessaire au mécanisme de l'ouvre-boîte. Cet engrenage permet de transmettre le mouvement transmis par l'engrenage 16 lié à la manivelle pour faire tourner la lame, pour pouvoir correctement ouvrir la boîte de conserve.



Figure 9: Image du sous assemblage lame - engrenage bombé - liaison. Ce sous assemblage n'a pas pu être démonté, de par la façon avec lequel il a été monté (par serrage).

*Dimensions : Daxe = 9mm, Dext_lame et Dext_engrenage = 20mm, 13 dents,
Dint_engrenage = 14mm, profondeur du sous assemblage = 8mm.
Le poids de ce sous assemblage est de 10g.*



Figure 10: Photo du sous assemblage lame - engrenage bombé - liaison, avec l'engrenage en premier plan. Ce sous assemblage n'a pas pu être démonté, de par la façon avec lequel il a été monté (par serrage).

*Dimensions : Daxe = 9mm, Dext_lame et Dext_engrenage = 20mm, 13 dents,
Dint_engrenage = 14mm.*

L'engrenage est d'aspect métallique brillant gris. Il fait partie d'un sous assemblage avec la lame et la pièce liaison. Cet assemblage est ensuite monté sur l'axe de la lame.

10. Lame de découpe circulaire (Quantité : 1) - Figure 9 et 11

Cette pièce est un disque percé en son centre avec 2 petits plats pour des raisons d'assemblage. Son pourtour est affuté pour devenir une lame circulaire. Elle possède donc un plan de symétrie et un axe de symétrie centrale passant au centre de son trou.



Figure 11: Photo du sous assemblage lame - engrenage bombé - liaison, avec la lame en premier plan. Ce sous assemblage n'a pas pu être démonté, de par la façon avec lequel il a été monté (par serrage).

Dimensions : $D_{axe} = 9mm$, D_{ext_lame} et $D_{ext_engrenage} = 20mm$, 13 dents, $D_{int_engrenage} = 14mm$.

Elle est une pièce importante de l'ouvre-boîte car elle permet de découper la boîte de conserve. Elle a un impact important sur le résultat final de la découpe, celle-ci doit donc être de bonne qualité et résistante. La lame est d'aspect métallique brillant gris et doit être d'un matériau inerte pour ne pas libérer de toxine dans la nourriture. Elle est assemblée avec la pièce 9 via l'intermédiaire de la pièce 19 sur l'axe de la lame (pièce 8) qui vient se glisser sur l'axe du corps inférieur.

11. Vis à tête bombée avec collerette (Quantité : 1) - Figure 12

Cette vis est de type M3 cruciforme, tête bombée à collerette, c'est-à-dire que la forme de sa tête est très spécifique : on dirait qu'une rondelle a été soudée à une tête bombée plus classique. Elle a toutes les caractéristiques géométriques d'une vis classique.



*Figure 12: Photo de la vis à tête bombée à collerette cruciforme.
Dimensions : $D = 3\text{mm}$, $l = 5\text{mm}$, $D_{\text{Collerette}} = 10\text{mm}$*

Cette vis est utile pour l'assemblage, elle sert à fixer le sous assemblage dont fait partie la lame au corps inférieur. Elle est d'aspect métallique brillant argenté. Elle se visse dans l'axe de la lame pour maintenir celle-ci et son sous-assemblage sur l'axe.

12. Manivelle (Quantité : 1) - Figure 13 et 14

La manivelle est une pièce en U tout en longueur, bombé de sorte à ce que le centre soit un peu plus épais. Elle possède deux trous esthétiques et symétriques (Figure 13), ainsi qu'un renforcement au centre pour permettre le placement de l'axe de la manivelle (pièce 13). Elle possède deux plans de symétrie : un plan passant par son grand axe et un plan orthogonal à celui-ci. Elle possède également une symétrie centrale, dont l'axe passe par le centre du renforcement pour l'axe de la manivelle.



*Figure 13: Photo de la manivelle.
Dimensions : $L = 7.3\text{cm}$, $l = 1.5\text{cm}$, $h = 1.3\text{cm}$.*

Cette pièce permet de transmettre l'énergie de l'utilisateur vers les engrenages pour procéder à la découpe. Elle est de grande taille afin que l'on puisse correctement positionner sa main et tourner sans demander trop d'effort. Elle est design car celle-ci est de grande taille et donc fortement visible. Elle est assemblée au reste de l'ouvre-boîte via l'axe de la manivelle, qui est soudé au centre de son renforcement dédié.

La pièce est d'aspect métallique brillant gris et semble être une feuille de métal découpée et pliée.

13. Axe manivelle (Quantité : 1) - Figure 14

Cette pièce a la forme d'une tige filetée d'un côté et plus fine d'un autre côté. Elle permet de faire la liaison entre la manivelle, la tête et les engrenages 16 et 18. La pièce est filetée à son extrémité pour pouvoir viser l'engrenage 18 et ainsi bien maintenir ensemble par serrage ce qui a été placé précédemment comme l'engrenage 16 et la rondelle de positionnement. Son autre extrémité est plus fine et permet l'électro-soudure dans le renforcement dédié de la manivelle. Elle a un axe de rotation passant en son centre.



Figure 14: Photo du sous assemblage manivelle - axe manivelle.

Dimensions : $D_{\text{axe}} = 6\text{mm}$, $l = 3.2\text{cm}$.

Le poids de la manivelle et de l'axe de la manivelle est de 25g.

Elle est d'aspect métallique brillant gris. Cette pièce doit être robuste afin de pouvoir résister à de fortes contraintes amenées par l'utilisateur. Une tige trop fine pourrait être la cause de casse en cas de mauvaise utilisation de l'objet (par exemple si l'utilisateur appuie latéralement sur la manivelle ou bien si l'ouvre boîte subit une chute). C'est une pièce de liaison qui est électro-soudée (comme le laisse penser les traces de brûlures et l'absence de trace de métal fondu) à la manivelle afin d'éviter une désolidarisation trop facile. Ce sous assemblage sera ensuite inséré à travers le palier de glissement dans la tête puis les la rondelle et les engrenages 16 et 18 seront insérés.

14. Ressort (Quantité : 1) - Figure 15

Le ressort, un fil entortillé sur lui-même, est une pièce secondaire de l'ouvre-boîte. Il permet de pouvoir forcer l'engrenage de grip (pièce 18) à rester plaqué contre le contour de la boîte de conserve permettant ainsi une meilleure adhérence et demandant à l'utilisateur encore moins d'effort pour ouvrir sa boîte.



Figure 15: Photo du ressort.
Dimensions : $l = 16\text{mm}$, $D = 8\text{mm}$

Il est d'aspect métallique brillant gris. Il se monte sur l'axe de la manivelle (dans le sous-assemblage de la manivelle et de l'axe de la manivelle) avant qu'il soit inséré dans le palier à glissement.

15. Palier de glissement (Quantité: 1) - Figure 7 et 8

Le palier de glissement est en forme de tube avec une butée à son extrémité. Son trou à l'intérieur est traversant. Cette pièce permet de faire la liaison entre le corps supérieur et la tête. De plus elle a pour but de minimiser les frottements qui apparaissent lors de l'enclenchement de la manivelle entre l'axe de la manivelle, la tête et le corps supérieur. C'est donc une pièce secondaire qui permet un meilleur confort d'utilisation.

Ses dimensions sont les suivantes : $D_{\text{int}} = 7\text{mm}$, $D_{\text{ext}} = 11\text{mm}$.

Elle a un aspect plastique opaque blanc laiteux et elle est cassante. Cette pièce est chassée et collée à travers le corps supérieur et la tête.

16. Engrenage plat (Quantité : 1) - Figure 16

C'est une pièce primaire au mécanisme de l'objet. L'engrenage est positionné sur le corps supérieur et fait la liaison entre l'axe de la manivelle et l'engrenage bombée. Il possède les mêmes dimensions que l'engrenage bombé (pièce 9) à la différence que cet engrenage n'a pas de petit plat à l'intérieur. De ce fait, il possède 13 plans de symétrie, ainsi qu'une symétrie angulaire de $27,7^\circ$. Il est important de noter qu'il ne possède pas de plan de symétrie en son plan, c'est à dire qu'il a un devant et un derrière différent. C'est dû aux méthodes de fabrication qui lui donnent un côté arrondi et l'autre un peu coupant.



Figure 16: Photos de l'engrenage plat. À gauche : l'avant de l'engrenage. À droite : l'arrière de l'engrenage.

Dimensions : $D_{axe} = 6mm$, $D_{ext} = 20mm$, 13 dents, $D_{int} = 13mm$

L'engrenage plat est très probablement fait du même matériau que son analogue bombé. Ainsi, il est lui aussi gris métallique brillant.

Il est monté sur l'axe de la manivelle, juste après que celui-ci ait été inséré dans la tête, et que la rondelle ait été insérée.

17. Rondelle (Quantité : 1) - Figure 17

La rondelle est un disque percé en son centre. Elle possède donc une symétrie de rotation et elle est identique des 2 côtés (recto-verso). C'est une pièce secondaire qui permet d'aligner les 2 engrenages d'entraînement.



Figure 17: Photo de la rondelle.

Dimensions : $D_{int} = 8mm$, $D_{ext} = 12mm$

Elle est d'aspect métallique brillant gris. Lors de l'assemblage, elle est insérée entre l'engrenage 16 et le palier de glissement sur l'axe de la manivelle.

18. Engrenage de grip (Quantité : 1) - Figure 18

C'est un engrenage secondaire possédant de nombreuses et petites dents permettant un bon accrochage de l'outil avec la boîte. Lors de l'actionnement de la découpe, l'ouvre boîte va donc progressivement suivre le contour de la boîte pour découper le périmètre entier de la conserve. L'engrenage est percé en son centre et taraudé à l'intérieur car il vient se visser à l'extrémité de l'axe de la manivelle (pièce 13) lors de l'assemblage. Il y a un rebord tout autour du trou à l'arrière de la pièce pour accentuer la force axiale lors du montage de cette pièce. Cela permet aux pièces sur l'axe de la manivelle d'être bien maintenues. Ce rebord est aussi utile pour des questions d'alignement.



Figure 18: Photos de l'engrenage de grip. À gauche : l'arrière de l'engrenage. À droite : l'avant de l'engrenage.

Dimensions : $D_{axe} = 6mm$, $D_{int} = 11mm$, $D_{ext} = 12mm$, 35 dents

Cette pièce est d'aspect métallique brillant argenté. Elle est montée au bout de l'axe de la manivelle, après que la rondelle et l'engrenage plat ait été montés.

19. Liaison (Quantité : 1) - Figure 9 et 11

Cette pièce est en forme de cylindre avec plusieurs paliers d'épaisseur le long de son axe. Elle commence fine puis elle a deux étages de plus en plus grands puis elle finit à nouveau fine. Deux plats sont fait sur chacune des parties fines pour mieux entraîner le mouvement de rotation : en effet, c'est là que sont placés la lame et l'engrenage bombé. Cette pièce est donc secondaire et elle sert à solidariser l'engrenage bombé et la lame.

Elle est d'aspect métallique brillant argenté. La lame est insérée par force au début de la pièce tandis que l'engrenage bombé est, quant à lui, inséré à la fin. Le tout est ensuite mis sur l'axe de la lame.

1.2.2 Arborescence

Pour ouvrir la boîte, l'utilisateur actionne une manivelle, qui actionne la rotation des engrenages et de la lame. L'utilisateur utilise aussi les poignées pour maintenir la lame contre le couvercle.

Dans notre objet, nous avons donc trois parties (Figure 19) : l'axe de la manivelle, celui de la lame et le système de poignée et support de l'ensemble. Pour les pièces qui sont sur l'axe de la manivelle, nous avons les numéros 5, 6, 12, 13, 14, 15, 16, 17 et 18. Pour ce qui est de l'axe de la lame, nous avons les pièces 4, 8, 9, 10, 11 et 19. Finalement les pièces 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 et 15 constituent les poignées et le support de l'ensemble.



Figure 19: Photos des différents assemblages. À gauche : l'assemblage de l'axe de la manivelle. En partant du haut on a les pièces 12 et 13 (assemblées), 14, 17, 16, 18. À droite : l'assemblage de l'axe de la lame. En partant du haut, on a les pièces 9, 19 et 10 (assemblées), 11. Au centre : les poignées et le support, ainsi que certaines pièces non démontables facilement. En partant du haut, on a les pièces 6, 5, 4, 15, 8, 7, 3, 2 et 1.

1.3 Cahier des charges des pièces

Les pièces clés de l'ouvre-boîte sont les pièces nécessaires au bon fonctionnement du produit, c'est à dire que si elles étaient absentes la fonction primaire, de pouvoir ouvrir une boîte, ne pourrait pas être réalisé. Les pièces de fixation ou d'alignement telles que vis et rondelles sont exclues de cet ensemble.

On peut donc distinguer les pièces 2, 4, 5, 9, 10, 12, 13, 16 et 18.

La pièce 2 permet de garder une pression sur la boîte à ouvrir grâce à l'effet levier et permettre à la lame d'être toujours en contact. Elle doit donc être assez grande et permettre

une bonne prise en main sans être déformable. De l'acier inoxydable est donc utilisé et la pièce est design de par sa taille qui impacte fortement la vision du produit.

Les pièces 4 et 5 permettent de transmettre la force de la pièce 2 à la manière d'une paire de ciseaux. Elles doivent donc être solide mais ne nécessitent pas d'être encombrantes. Une forme en feuille métallique fine en acier inoxydable est donc choisie. De la découpe et du pliage sont utilisés. La pièce 4 nécessite également un renforcement nécessaire pour y mettre l'axe de la lame.

La pièce 9 est un engrenage transmettant l'énergie à la lame. Il doit posséder le même nombre de dents que l'engrenage lié à la manivelle et être résistant à l'usure. De l'acier inoxydable est utilisé.

La pièce 10 permet la découpe de la boîte par cisaillement enclenchée par le mouvement des engrenages. Elle doit donc être ronde, tranchante et résistante sans être toxique pour la nourriture. De l'acier inoxydable est utilisé et la pièce est réalisée par tournage.

La pièce 12 permet la transmission de couple de l'utilisateur vers le mécanisme d'engrenage. Elle nécessite donc une bonne prise en main, de posséder une symétrie de rotation, ne pas être déformable et être design car de grande taille. Une feuille de métal en acier inoxydable découpé et plié est réalisée.

La pièce 13 transmet un moment de la manivelle jusqu'à l'engrenage grip et l'engrenage plat. Elle doit être suffisamment solide pour ne pas se déformer et être concentrique. Une tige de 5mm de diamètre est choisie en acier inoxydable. Un filetage est effectué pour accueillir l'engrenage de grip.

La pièce 16 est un engrenage transmettant l'énergie de la manivelle. Il nécessite de posséder un nombre de dents identique que celui utilisé pour transmettre l'énergie à la lame et être résistant à l'usure. De l'acier inoxydable est utilisé.

La pièce 18 a plusieurs fonctions. Elle permet dans un premier temps d'empêcher que les autres pièces de l'axe ne se désassemblent. Et même plus : par serrage, elle permet la bonne transmission du moment à l'engrenage plat (pièce 16). Une autre de ses fonctions est d'accompagner la lame dans sa découpe en étant son support. Un engrenage en acier inoxydable avec son centre taraudé pour qu'il soit inséré en bout d'axe est réalisé.

1.4 Choix des matériaux

Le matériau principal utilisé est l'acier inoxydable [16] ; il répond à tous les critères du cahier des charges : évite la rouille, compatible alimentaires, et comme une bonne partie des métaux, il a un bon module $E = 200\text{GPa}$ et $G = 81\text{GPa}$ et une bonne tolérance thermique. Il a été traité différemment par endroits pour éviter une apparence trop monotone. Pour ce qui est de la résilience les ingénieurs ont dû choisir la composition de

carbone, faire différents recuits pour libérer les contraintes et se trouver être quelque part dans le domaine martensite-austénite [19].

La lame subit l'usure au cours du temps et l'acier inoxydable finit tout de même par s'oxyder puisque la couche d'oxyde de chrome en surface disparaît [15], d'où la rouille visible en Figure 10.

Les pièces achetées sont faites d'autres matériaux¹. La palier de glissement est en polyamide pour diminuer le coefficient de frottement, le ressort est en acier à ressort et l'axe de la lame semble être en laiton; le coefficient de frottement serait ainsi diminué et au vu des restrictions du domaine alimentaire [14], les autres métaux similaires ne sont pas acceptables, et même pour ce choix, c'est du laiton sans plomb.

1.5 Analyse du produit

La conserve est maintenue en place par le serrage poignées. L'alignement de la lame est assuré par la repli de la tête qui sert de butée et de l'engrenage de grip. Le jeu est repris par le ressort.

Au niveau du corps supérieur le degré de liberté du pivot (rivet) est bloqué par l'axe de la manivelle. Le corps supérieur est alors solidaire de la tête et c'est le corps inférieur qui se déplace.

Pour transmettre l'action de la manivelle, on a plusieurs engrenages qui permettent de transmettre le mouvement sur les deux corps et ainsi, se déplacer le long de la boîte et cisailer le couvercle. Un glissement est permis entre la manivelle l'action de la manivelle et les engrenages, les pièces ne sont pas serrées sur l'axe mais contre l'axe. Ce glissement permet une manipulation plus aisée sans affecter le résultat d'ouvrir la boîte.

¹ Toutes les pièces produites à l'usine sont du même matériau, cela donne pas mal d'avantages quand à la sélectivité des outils à entretenir et la récupération/recyclage de la matière en excès.

2. Mise en œuvre

2.1 Méthode de fabrication

Pièces fabriquées

La forme des pièces 4, 5, 6 et 12 ainsi que le pourtour des endroits par la suite pliés a été faite par découpe avec une presse, car ils ont un bord un peu tranchant et un autre arrondi. Puis leurs renforcements ont été fait à la presse, par emboutissage. Ensuite les pièces 6 et 12 sont pliées. Finalement, les derniers trous ont été perforés. La pièce 6 a également une inscription au dos faite par un tampon.

La pièce 1, quant à elle, est faite par découpe fine. Ses bords sont droits et entièrement lisses, ce qui est un profil typique pour ce genre de procédé de fabrication.

Le trou de la pièce 2 est découpé dans la feuille de métal, et le '*deep-drawing*' lui donne sa forme de tube cylindrique.

La pièce 3 est probablement achetée déjà ovale, puis un trou traversant y est fraisé/percé. Elle sera ensuite aplatie lors de l'assemblage.

La pièce 10 est faite par tournage. Le méplat en son intérieur

La pièce 13 est découpée d'un barreau probablement extrudé.

La pièce 19 est tournée, puis un méplat est fabriqué à la fraise, partant d'un tube, cette pièce est facilement usinée.

Pièces achetées

La pièce 7 est découpée puis frappée pour former une tête aplatie.

La pièce 8 est tournée puis percé et taraudée.

Les pièces 9, 16, 18 sont découpées et le trou de la 18 est embouti, puis la 9 est déformée après l'achat afin qu'elle soit bombée.

La pièce 11 est tournée puis filetée, la tête de vis y est frappée.

La pièce 14 est faite par '*coiling*', '*winding*' et '*bending*'.

La pièce 15 est moulée par injection, des marques étaient visibles sur le bout cassé.

La pièce 17 est découpée sans finitions. On voit bien le bord brillant dans un premier temps puis terne (figure 17).

Traitements de surface

Il semble que les pièces 2, 9, 16 et 18 ont subi un traitement de surface comme la galvanisation (probablement de chrome) afin d'augmenter la protection contre la rouille mais ce traitement ne correspond pas aux normes alimentaires, entre autres de l'Ontario [14], et nous pensons que c'est la raison pour laquelle il n'a pu être appliqué à la lame (10) aussi.

La surface des pièces 4, 5, 6 et 12 est polie, elles reflètent bien mieux la lumière que les autres. Celle des pièces 1 et 3 est limée, d'où les stries caractéristiques.

2.2 Assemblage

Il est utile pour cet objet de rassembler les différentes étapes, qui ont parfois besoin d'outils spéciaux, en sous assemblages indépendants. Cela permet de gagner en efficacité.

Sous assemblages :

1. Assembler 9 à 10 par serrage sur 19
2. Lier 12 et 13 par électro-soudure

Étapes à suivre séparément pour chaque corps et poignée (2x) :

3. Faire passer 1 dans 2 et aligner 3 à 1 à travers 2
4. Insérer 4/5 dans 3 (attention à l'orientation vis-à-vis du creux de l'étape 3)
5. Appliquer une pression légère aux deux extrémités pour immobiliser l'ensemble et venir presser 2 dans 3 afin de fixer 1 et 4/5 (Figure 20)

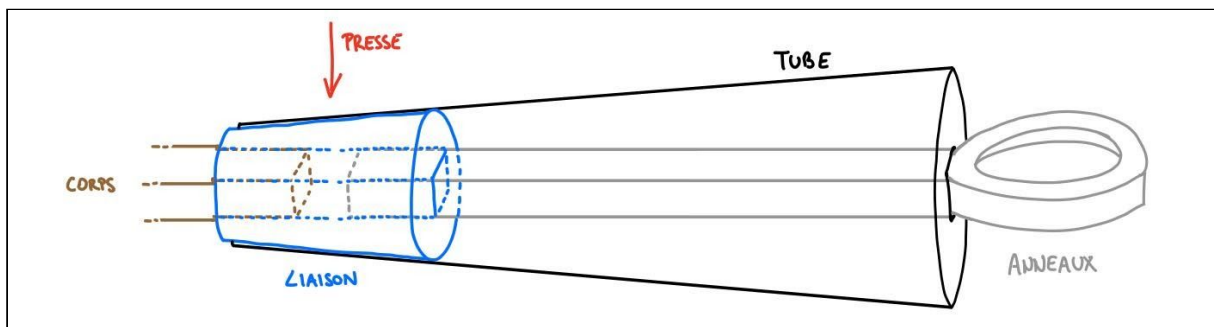


Figure 20: Illustration de l'assemblage au niveau des poignées. En gris les anneaux (1), en noir le tube-poignée (2), en bleu la liaison anneaux-corps (3) et en brun le début du corps supérieur ou inférieur (4/5). La presse vient aplatir (d'un seul côté) la liaison fixant ainsi les anneaux et le corps par serrage, formant alors le creux visible de l'extérieur.

Réunir le tout :

6. Serrer 8 dans son axe sur 4
7. Lier 4, 5, 6 par 7
8. Insérer 15 dans son axe passant par 5, 6 et le coller à 6
9. Placer 14 sur le sous-assemblage de l'étape 2 et le faire passer à travers 15
10. Insérer 16 puis 17 puis visser 18 sur 13 au maximum pour que 16,17 soient serrés.
11. Monter l'assemblage de l'étape 1 sur 8 et attacher le tout par la vis 11.

La précision requise pour cette assemblage est faible, les tolérances sur les dimensions des pièces sont donc assez souples.

3 Analyse des coûts

Dans toute cette section nous faisons l'approximation grossière \$ (US) = € = CHF et nous supposons qu'il a été produit en France.

L'objet a probablement été assemblé à la main. C'est un objet haut de gamme et durable, et donc probablement produit en petite série ce qui ne justifierait pas l'investissement dans d'une machinerie avancée.

3.1 Usinage des pièces

Le coût total de fabrication des pièces peut être estimé par la formule qui suit. Ce calcul a été fait précisément là où cela était possible et des estimations ont été faites pour le reste (parfois grossières, en particulier pour les taux autres frais généraux et la durabilité des outils). Le tableau en question est disponible en Annexe A.

$$C = C_{rm} \frac{m}{1-f} + \frac{1}{L\dot{n}} \left(\frac{C_c}{t_{wo}} + \dot{C}_{oh} \right) + \frac{C_t}{n} \left(1 + E\left(\frac{n}{n_t}\right) \right) \quad [4]$$

C_{rm} : coût de la matière brut (pour une pièce donnée)

m : masse de la pièce

f : fraction de matériau utilisé (pour une pièce donnée)

L : taux d'utilisation des équipements

\dot{n} : vitesse de production

C_c : investissement dans les machines

t_{wo} : temps d'amortissement de l'investissement

\dot{C}_{oh} : taux de tous les autres frais généraux

C_t : coût des outils

n : nombre de pièces produites

$E\left(\frac{n}{n_t}\right)$: nombre d'outils à réparer / racheter

Le coût final obtenu pour la production est de 6.58\$, vendu à 15\$ cela représente 56% de profit (hors taxes).

3.2 Assemblage manuel

Le coût d'un assemblage manuel peut être exprimé comme : $C_{ma} = C_L(F + H)$ [3]. Cet ouvre-boîte a probablement été assemblé en France donc $C_L = 0.012\$/s$ [3].

Beaucoup des petits éléments sont symétriques et n'ont donc aucune restriction sur la direction d'insertion, de plus les sous-assemblages se font selon le même axe et l'ensemble est relativement stable jusqu'à fixation par la vis/rivet/serrage/soudure. Une pénalité est ajoutée pour la poignée et les serrages de l'engrenage et de la lame à la liaison

et nous supposons qu'un test rapide est effectué à chaque fois ce qui va aussi ajouter aux coûts.

Nous avons une vingtaine de pièces dont quatre qui ont une orientation difficile. Nous avons également une pièce tranchante, le mécanisme autour des engrenages et les éléments d'assemblage sont relativement petits et difficiles à manier. Le reste des pièces ne présente pas de difficultés particulières.

Les détails des estimations sont dans l'annexe B. Le coût final que nous avons trouvé est de 0.90\$, sans compter d'éventuels tests de qualité faits une fois l'objet assemblé. Ce n'est pas impossible mais c'est probablement sous-estimé. Il est cependant facile d'imaginer ce coût diminuer si le travail est fait à la chaîne et qu'une sorte de spécialisation de la main d'œuvre est mise en place.

4. Analyse critique

4.1 Identification des points faibles et forts du produit

Le produit est en général bien conçu mais reste très similaire à ses concurrents qui proposent des solutions parfois meilleures.

L'un des avantages de cet ouvre-boîte est le ressort qui est rare chez les concurrents. Ce ressort permet de bien aligner la lame au couvercle, qui en fonction de la conserve se trouve plus ou moins loin du bord. Ce ressort permet de tourner plus facilement la manivelle et donc la tâche est plus agréable à l'utilisateur et l'usure des composants réduite. Les longues poignées aident aussi à l'utilisation, augmentant l'effet levier.

Cet ouvre-boîte a plusieurs moyens d'être accroché, et c'est ce qui le distingue un peu. Dans l'ensemble les ingénieurs se sont un peu plus concentrés sur le design et le confort ce qui en fait un ouvre-boîte premium.

Cependant, de par cette insistance sur le design, la production de certaines pièces sur mesure, comme les deux engrenages qui ne sont pas les mêmes, et des difficultés d'assemblage entrent en jeu. Par exemple, les poignées sont un puzzle à elles-mêmes, la manivelle demande de l'électro-soudure, l'ensemble étant en acier il faut traiter les surfaces et à cause du ressort il se peut que les engrenages ne soient pas toujours alignés. Les engrenages n'étant pas les mêmes il ne faut pas les confondre à l'assemblage non plus. Il y a deux à trois pièces supplémentaires, comparé aux autres ouvre-boîtes, ce qui augmente le coût.

De plus, les pièces rouillent et pour un objet de cuisine qui risque d'être salit, il est compliqué à nettoyer. Il est aussi facile à rayer.

L'ouvre-boîte est ciblé sur une population droite de par le positionnement de la lame ; il aurait été pratique que les gauchers puissent, par exemple, dévisser les deux parties et les échanger.

4.2 Améliorations possibles

Une amélioration facile est de se débarrasser des anneaux sur la poignée. Ils sont là que pour décorer et prennent inutilement de la place. Il est bien plus pratique d'accrocher l'ouvre-boîte par sa tête si nécessaire car par les poignées, il s'ouvre et prend plus de place. De plus, ce sont ces anneaux qui compliquent énormément la construction de l'objet.

Pour éviter les traitements de surface, le plastique aurait pu être envisagé. Beaucoup d'autres produits optent pour le plastique pour assurer le confort. Les coûts de production aussi plus bas, et si c'est bien fait, le côté premium ne serait pas perdu pour autant.

Des engrenages identiquement incurvés auraient pu être utilisés et quelques problèmes liés à cela éliminés. Au lieu de souder la manivelle, elle aurait pu être vissée, évitant le coût de la machinerie et c'est assez facile à la main (mais plus long).

La gravure qui indique dans quel sens tourner est en anglais, c'est la langue considérée la plus internationale mais tout le monde ne la parle pas. Une simple flèche un peu plus grande aurait suffi, le design est suffisamment bon que pour pouvoir se passer des inscriptions.

5. Recherche de variantes de produit remplissant le même cahier des charges

Différents ouvre-boîtes existent, il se placent en général dans l'une de ces trois catégories : les manuels sans manivelle que l'on ne voit presque plus (Figure 21), les manuels avec une manivelle (dont le nôtre) et les nouveaux ouvre-boîtes électriques (Figure 23) qui sont encore rares dans les ménages.

Les manuels sans manivelle demandaient beaucoup de force et de contrôle et il a donc été bien pratique de les remplacer par ceux qui ont une manivelle. Il est assez remarquable que tous les ouvre-boîtes manuels à manivelle fonctionnent suivant le même principe ; ce qui les différencie c'est le design, l'emplacement des décapsuleurs ou autres fonctionnalités secondaires. C'est donc un produit dont on pense avoir perfectionné le fonctionnement puisque les entreprises se battent pour le marché sur des facteurs secondaires. Un ouvre-boîte qui est ressorti du lot est montré en Figure 22, il est utilisable des deux mains et est relativement compacte du fait d'absence de poignées. Il ne manque cependant pas de fonctions secondaires comme décapsuleur.

Dans la catégorie des ouvre-boîtes électriques, c'est surtout pour la clientèle professionnelle ou les personnes dans l'incapacité d'utiliser l'ouvre-boîte à manivelle ; ils ne sont souvent pas rentables, ni pratiques pour un ménage de par leur besoin d'être alimentés. Ils se distinguent par le fait que certains sont plus portables, plus silencieux etc. que d'autres ; des caractéristiques liées à leur nature électrique.

Dans tous les cas, le marché de l'ouvre-boîte est en déclin parce que les fournisseurs de conserves attaquent directement le problème par des ouvertures faciles.



Figure 21: Ouvre-boîte manuel sans manivelle [9].



Figure 22: Ouvre-boîte avec manivelle différent des autres de sa catégorie [13].



Figure 23: Ouvre-boîtes électriques [10] et [12].

Dans la catégorie des ouvre-boîtes plus exotiques nous avons celui vendu par leaergastro (Figure 24) qui ne correspond pas au même cahier des charges mais il est intéressant de par son prix de CHF 3'894.65 TTC.



Figure 24: Ouvre-boîte électrique très haut de gamme [11].

6. Annexes

Annexe A : Détail de la répartition des coûts de production des pièces. Les pénalités et formulations sont basées sur le cours [3]. Les estimations sont parfois vagues et peu robustes, faites suite à une brève recherche. Le poids des pièces a été déduit au mieux suite au fait que l'objet n'a pu être décomposé à la pièce près. Les prix des machines sont des moyennes grossières faites à partir des ventes sur french.alibaba.com. Les coûts cachés dans ce tableau incluent les salaires d'une trentaine d'employés, des frais d'électricité, de loyer, d'assurance et une marge de sécurité de 20%. Le prix des pièces achetées est basé sur une recherche à travers plusieurs sites pour consommateurs, pas pour les industriels, qui lors d'achats par millions, bénéficient de rabais considérables sur les valeurs dans ce tableau.

Annexe B : Détail de la répartition des coûts d'assemblage de l'ouvre-boîte. Les pénalités sont établies suivant les données du cours [3]. Dans la colonne d'assemblage, le numéro correspond à un sous-assemblage, les nombres en gras sont des prérequis pour l'étape en question. Les étapes sont à suivre dans l'ordre de la numérotation. (L'étape 1 est identique à la 2).

PRODUCTION DETAILS			MATERIAL COST			GROSS OVERHEAD				DEDICATED COST			TOTAL	
N	Pièce	Prix pièce (\$)	m (g)	f (%)	Crm (\$/kg)	n' (1/yr)	L (%)	Cc (\$)	two (yr)	C'oh (\$/yr)	Ct (\$)	n	E(n/nt)	Prix pièce
1	Intérieur poignée et anneau 1		22.0	60	2.39	873600	90	8000	4	221050	200	3057600	1	0.42 \$
1	Intérieur poignée et anneau 2		22.0	60	2.39	873600	90	8000	4	221050	200	3057600	1	0.42 \$
2	Tube poignée 1		15.0	10	2.39	873600	90	4000	4	221050	200	3057600	1	0.32 \$
2	Tube poignée 2		15.0	10	2.39	873600	90	4000	4	221050	200	3057600	1	0.32 \$
3	Liaison anneau-corps 1		10.0	10	2.39	873600	90	4000	4	221050	50	3057600	3	0.31 \$
3	Liaison anneau-corps 2		10.0	10	2.39	873600	90	4000	4	221050	50	3057600	3	0.31 \$
4	Corps inférieur		34.0	60	2.39	873600	80	8000	4	221050	200	3057600	1	0.52 \$
5	Corps supérieur		34.0	55	2.39	873600	86	8000	4	221050	200	3057600	1	0.48 \$
6	Tête		37.0	50	2.39	873600	89	8000	4	221050	200	3057600	1	0.46 \$
7	Rivet	0.05	2.0											0.05 \$
8	Axe lame	0.20	2.0											0.20 \$
9	Engrenage bombé	0.25	4.0											0.25 \$
10	Lame de découpe circulaire		4.0	30	2.39	873600	86	8000	4	221050	50	3057600	3	0.31 \$
11	Vis à tête bombée avec collerette	0.05	0.5											0.05 \$
12	Manivelle		15.0	5	2.39	873600	80	8000	4	221050	200	3057600	1	0.36 \$
13	Axe manivelle		10.0	10	2.39	873600	82	4000	4	221050	50	3057600	2	0.34 \$
14	Ressort	0.30	0.5											0.30 \$
15	Paillet de glissement	0.25	2.0											0.25 \$
16	Engrenage plat	0.25	4.0											0.25 \$
17	Rondelle	0.10	1.0											0.10 \$
18	Engrenage de grip	0.25	4.0											0.25 \$
19	Liaison engrenage-lame		2.0	15	2.39	873600	82	4000	4	221050	200	3057600	1	0.32 \$
TOTAL			250.0					80000		2873650				6.58 \$

		Coût travail manuel en France Cl:	43 \$/h	=>		0.012 \$/s																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									</
--	--	-----------------------------------	---------	----	--	------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----

7. Références

- [1] *Module de Young*, site : “Wikipédia, l'encyclopédie libre”. Page consultée le 13 mai 2020 à 16:47, lien : http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Module_de_Young&oldid=170823315, numéro de version : 170823315
- [2] *Valeurs de référence pour la force de préhension des Canadiens de 6 à 79 ans : Enquête canadienne sur les mesures de la santé, 2007 à 2013*, Figure 2, site : “Statistique Canada”, dernière date de mis à jour de l'article : 2017/07/12. Page consultée le 27 mai à 12h19, lien : <https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/82-003-x/2016010/article/14665/c-g/c-g02-fra.htm>
- [3] Prof. Yves Bellouard, “Lecture 11: Assembly, Design for manufacturing”, cours : *Physics of Manufacturing*, EPFL, 2020
- [4] Prof. Yves Bellouard, “Lecture 12: Manufacturing economics and Process monitoring”, cours : *Physics of Manufacturing*, EPFL, 2020
- [5] *Prix des métaux : les tarifs des métaux en mai 2020*, “Journal du net”, dernière date de mis à jour de l'article : le 15.05.20 à 11:22, page consultée le 27.05.2020 à 17h12, lien : <https://www.journaldunet.fr/patrimoine/guide-des-finances-personnelles/1146972-prix-des-metiaux-les-tarifs-des-metiaux-en-mai-2020/>
- [6] *En acier zingué sgcc densité de tôle galvanisée prix par kg*, “Alibaba.com”, page consultée le 27.05.2020, lien : <https://french.alibaba.com/product-detail/zinc-steel-sgcc-density-of-galvanized-iron-sheet-price-per-kg-60737344198.html>. Pour estimer le prix par kilo, nous avons pris le prix moyen par tonne comme référence.
- [7] *DOUANES : Le prix moyen des matières est obtenu à partir des ventes en volumes et en valeurs, à l'exportation et à l'importation, en mars 2017*, ucaplast.fr, page consultée le 27.05.2020 à 21h05, lien : <http://www.ucaplast.fr/wp-content/uploads/2017/06/Le-prix-moyen-des-mati%C3%A8res-est-obtenu-%C3%A0-partir-des-ventes-en-volumes-et-en-valeurs-en-mars-2017.pdf>
- [8] *Bande d'acier ressort*, Debrunner Acifer klöckner & co multi metal distribution, page consultée le 27.05.2020 à 21h15, lien : <http://www.d-a.ch/product.cfm?dim=M101450&sprache=f>
- [9] *Générique 4025 Persto Vrac Décapsuleur/ouvre-boîtes*, Générique vendu sur Amazon, page consultée le 30.05.2020 à 10:20, lien : <https://www.amazon.fr/dp/B007VZRISY?tag=corinnelepage-21&linkCode=osi&th=1&psc=1&keywords=ouvre-boîte%20manue>

- [10] *Ouvre-boîte automatique One Touch toutes boîtes*, Côté Eden, page consultée le 30.05.2020 à 10:20, lien : <https://www.cote-eden.com/product/Ouvre-boite-automatique-mains-libres>
- [11] *Ouvre-boîte électrique, boîtes h50-270 mm*, leadergastro, page consultée le 30.05.2020 à 10:20, lien : <https://www.leader-gastro.ch/fr/ouvre-boites/11203-ouvre-boite-electrique-boites-h50-270-mm.html>
- [12] *Ouvre-Boîte Électrique Severin DO 3854 Blanc*, Vac.ch, page consultée le 30.05.2020 à 10:35 lien : <https://www.vac.ch/fr/accessoires-electriques/81147-ouvre-boite-electrique-severin-do-3854-blanc.html>
- [13] *Ouvre-boîte manuel, ouvre-bouteille*, BangRui vendu sur Amazon, page consultée le 30.05.2020 à 10:40, lien : https://www.amazon.fr/ouvre-bouteille-Louvre-bo%C3%A0Ete-professionnelle-Bangrui-lutlisat ion/dp/B07QYH81GS/ref=sr_1_18?__mk_fr_FR=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&dchild=1&keywords=ouvre
- [14] *Matériaux compatibles avec l'alimentaire*, Ministère de l'agriculture, de l'alimentation et des affaires rurales de l'Ontario, Canada, page consultée le 30.05.2020 à 14:45, lien : <http://www.omafr.gov.on.ca/french/food/inspection/maple/mple-guidance-S1-1-3.htm>
- [15] *L'inox rouille !*, Ocqueteau, rubrique Technique, page consultée le 02.06.2020 à 17:05 lien : <http://www.ocqueteau.com/en-savoir-plus/technique-securite/l-inox-rouille-.html,9,41,19,0,352>
- [16] *Propriétés de l'acier inoxydable*, AZO Materials, page consultée le 03.06.2020 à 10:00 lien : <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=2874>
- [17] *Force de levier*, ZPAG, page consultée le 03.06.2020 à 12:00 lien : http://www.zpag.net/Machines_Simples/bras_levier.htm
- [18] *Module de cisaillement acier*, Wikipedia, page consultée 03.06.2020 à 12:10 lien : https://fr.wikipedia.org/wiki/Module_de_cisaillement
- [19] *Diagramme de transformations de l'acier*, Wikipedia, page consultée le 03.06.2020 à 15:00 lien : https://fr.wikipedia.org/wiki/Diagramme_de_transformations_en_refroidissement_continu