



ÉCOLE POLYTECHNIQUE
FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Physics of Manufacturing II - Project

Professeur : Yves Bellouard

Etude de la fabrication d'une lampe à vélo arrière

Auteurs

Ahaggach Yassine

Aladin Guillaume

Brunoro Guilain

Gilbert Camille

Semestre académique - Printemps 2018

Contents

1	Analyse du produit	2
1.1	Cahier des charges produit	2
1.1.1	Description fonctionnelle	2
1.1.2	Cahier des charges "client"	2
1.1.3	Cahier des charges "technique"	2
1.2	Nomenclature	3
1.3	Analyse des pièces (Cahier des charges pièces)	10
1.4	Choix des matériaux ¹	11
1.5	Gamme opératoire du montage (assemblage)	12
2	Façonnage et mise en œuvre	18
2.1	Pour chaque pièce, la méthode de fabrication utilisée	18
2.2	Machines & Équipement	23
2.3	Analyse des coûts de fabrication	23
2.3.1	Équations permettant de calculer les coûts par pièce	23
2.3.2	Applications des calculs par pièce	24
2.3.3	Synthèse et analyse des résultats obtenus	30
3	Amélioration	30
3.1	Défaillance / Contrôle qualité / Amélioration continue	30
3.2	Action corrective	31
4	Étude / Recherche de variantes	32
5	Annexe	34
5.1	Script <i>Matlab</i> utilisé pour les calculs de coûts de production	34

1 Analyse du produit

1.1 Cahier des charges produit

1.1.1 Description fonctionnelle

Quoi?

Lampe de vélo $\Rightarrow$ Système de fixation requis + utilisation en extérieur.

Qui?

N'importe quel usager de vélo $\Rightarrow$ Facilité d'utilisation.

Pourquoi?

Visibilité de l'utilisateur de jour et de nuit, voir et être vu $\Rightarrow$ Intensité + dispersion lumière.

Quand?

La nuit, quotidiennement $\Rightarrow$ longévité et autonomie de la batterie.

1.1.2 Cahier des charges "client"

Critères principaux:

- Respecter les prescriptions fédérales concernant l'éclairage arrière d'un vélo.
- Bon rapport qualité prix avec un prix de production totale d'environ 2 CHF/pièce.
- Facilité utilisation, système de fixation simple.
- Compacité, poids. Faible volume et poids.

Critères secondaire:

- Design de la lampe.
- Modes éclairages.

1.1.3 Cahier des charges "technique"

- Utilisation en extérieur $\Rightarrow$ étanchéité contre eau et poussière à garantir.
- Facilité d'utilisation $\Rightarrow$ le moins de pièce possible pour le montage, le système de fixation. Le moins de pièce possible requérant une action de l'utilisateur.
- Visibilité $\Rightarrow$ visibilité à 100 mètres minimum par temps clair.
- Autonomie batterie raisonnable.
- Production en grande série $\Rightarrow$ pièces + matériaux simples à usiner.
- Rapport qualité/prix : moyen/faible $\Rightarrow$ matériaux peu chers possédant des propriétés physiques acceptables(cf. 1.4).

- Pièces standardisées $\Rightarrow$ remplacement des pièces + compatibilité entre modèles différents.
- Poids(avec les piles) = 70g

1.2 Nomenclature

Afin de procéder à une analyse détaillé du produit, il convient de commencer par établir une nomenclature précise. Voici une liste des divers éléments qui composent le produit, une analyse de chaque pièce sera effectuée dans la partie suivante :

1. *Socle principal*

Cette pièce est l'élément de structure principale. Son intérieur est structuré de telle sorte que des compartiments sont présents pour accueillir d'autres pièces du système, de plus 2 trous taraudés M2 et une ouverture faisant office de logement pour le bouton (pièce N°6) sont présents (vue de gauche). Une fois le produit assemblé, l'intérieur du socle est totalement invisible à l'utilisateur. À l'extérieur on remarque des glissières servant à fixer d'autres pièces sur le socle (vue de droite).

On remarquera que l'intérieur et l'extérieur possèdent des états de surfaces différents. L'état de l'intérieur étant plus fin que celui de l'extérieur.

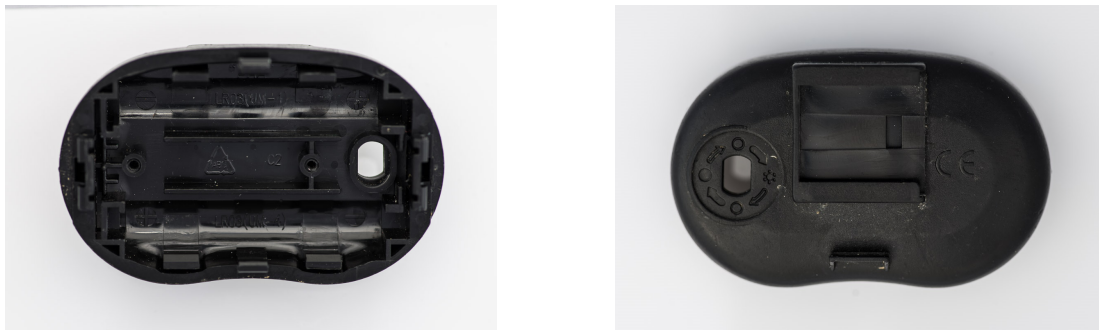


Figure 1: Socle en vue intérieure (image de gauche) et extérieure (image de droite)

2. *Clip mâle*

Cette pièce comporte une languette dont la surface est structurée ainsi qu'une lame flexible comportant une pointe (vue de droite). On observe deux états de surfaces différents. Un état très fin sur la face présentée dans la vue de droite et un état plus grossier sur le reste de la pièce.



Figure 2: Clip mâle en vue avant et arrière

3. *Clip femelle*

Cette pièce présente plusieurs endroits dont la surface a été structurée. On observe des lignes en relief sur la languette ainsi que des crans présents sur tout le tour d'un trou taraudé traversant M4 (vue de gauche).

La partie supérieure de la pièce présente une glissière (vue de droite).

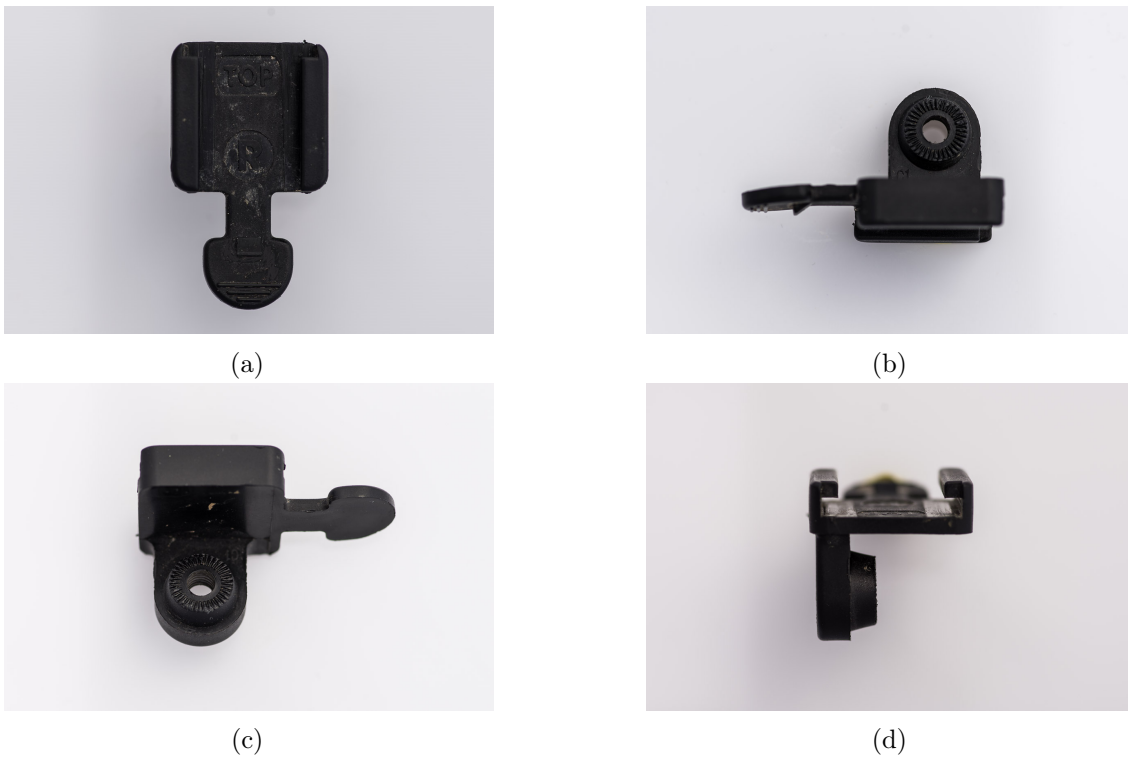


Figure 3: Clip femelle en vue avant (a), de gauche (b), oblique (c) et de haut (d)

4. *Lentille*

Seule pièce transparente du système. De couleur rouge. L'intérieur du fond de la pièce présente une structuration particulière. En effet l'aspect granuleux que l'on peut observer correspond en fait à de nombreuses petites lentilles.

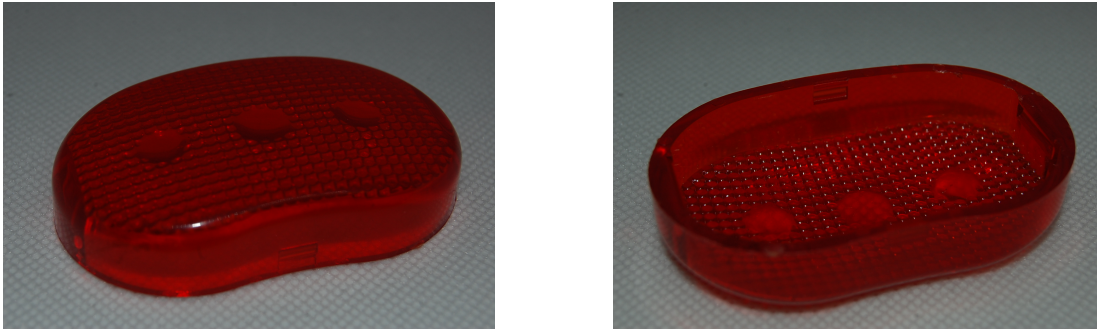


Figure 4: Lentille en vue extérieure (gauche) et intérieure (droite)

5. *Joint*

Le joint comporte des structures complémentaires à celles du socle. De couleur rouge.



Figure 5: Joint

6. *Bouton capacitif*

De couleur bleu.



Figure 6: Bouton en vue de face (gauche) et oblique (droite).

7. *Circuit imprimé*

Cet éléments comporte l'éclairage de notre système cependant il ne sera pas analysé en détail. Néanmoins, une brève étude des LEDs sera établie.

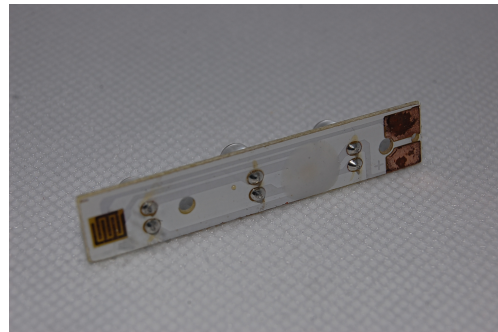
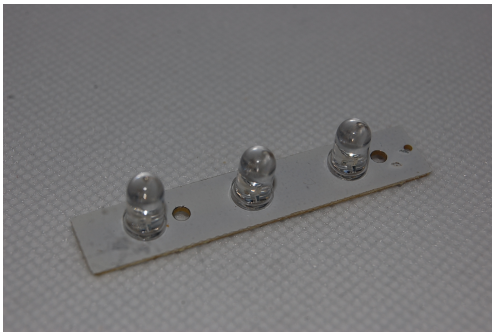


Figure 7: Circuit imprimé en vue avant et arrière

8. *Grand connecteur*

Pièce en métal comportant deux languettes flexibles. Non visible une fois le système assemblé.



Figure 8: Grand connecteur

9. *Réflecteur*

Pièce en forme de vase comportant 3 trous traversant de 8 mm de diamètre. Aspect réfléchissant.



Figure 9: Réflecteur en vue avant et arrière

10. *Petits connecteurs*

Ces éléments ne sont pas identiques car ils existent en version gauche et droite. Non visible une fois le système assemblé.



Figure 10: Petits connecteurs

11. *Vis de circuit imprimé*

Vis à tête conique empreinte cruciforme SN EN ISO 7046-M2x5.



Figure 11: Vis de circuit imprimé

12. *Piles*

2 Batteries 1,5V taille R03P.



Figure 12: Piles

13. *Collier*

Pièce circulaire de 31 mm de diamètre. On observe des crans autour d'un trou traversant de forme ovale similaires à ceux observés sur la pièce N°3 (vue de droite, A AJOUTER).



Figure 13: Collier en vue de haut (gauche) et de droite (droite)

14. *Vis et écrou de collier*

Vis à tête bombée MPN BN 5687 M4X20MM.

Écrou hexagonal ISO 4032-M4-8.



Figure 14: Vis de collier

Remarque:

Les pièces N°1, 4, 5 et 9 14 possèdent la même forme car elles sont mises en contact lors de l'assemblage. Cette forme n'est pas un ovale parfait et cela est volontaire. En effet cela permet un assemblage plus facile car pas de confusion sur le sens des pièces, à la manière d'un détrompeur.



(a) Pièce N°5



(b) Pièce N°4



(c) Pièce N°9



(d) Pièce N°1

1.3 Analyse des pièces (Cahier des charges pièces)

1. Socle principal

Cet élément est la base de notre système, il a pour fonction de relier et maintenir la plupart des composants ensemble et d'encapsuler l'électronique de manière compacte pour la protéger des chocs et de l'humidité. Les éléments N°6, 7, 8, 9, 10, 11 et 12 sont contenus dans le socle.

2. Clip mâle

Cet élément assure le maintien de la lampe sur le vélo et permet à celle-ci d'être démontée lorsque le vélo n'est plus utilisée. De plus cet élément est standardisé, il permet d'utiliser le système de fixation de cette lampe avec d'autres lampes dont le socle dispose d'un logement prévu pour recevoir le clip mâle.

3. Clip femelle

Cet élément assure deux fonctions. La première est de réceptionner le clip mâle afin de fixer la lampe au châssis du vélo. Et la seconde est de permettre à l'utilisateur de régler l'angle d'éclairage désiré. C'est par le biais d'une pression sur la languette que l'utilisateur peut retirer la lampe du système de fixation en séparant le clip mâle du clip femelle.

4. Lentille

La lentille permet de compléter l'encapsulation de l'électronique déjà assurée par le socle principal. Mais aussi d'affiner la couleur du faisceau lumineux qui la traverse, ainsi que de collimater les rayons à l'aide de sa structure particulière. Celle-ci présente aussi un léger effet de catadioptrique qui permet aux cyclistes d'être mieux visible même lorsqu'il n'a pas allumé le dispositif.

5. Joint

Le joint garantit l'herméticité du boîtier qui contient les composants électroniques et les protège de l'humidité et de la poussière.

6. *Bouton capacitif*

Celui-ci permet à l'utilisateur de donner des ordres au circuit électronique à travers le boîtier, sans compromettre l'étanchéité de ce dernier.

7. *Circuit imprimé*

Cet élément a pour rôle de gérer l'allumage des LEDs en fonction du mode choisi par l'opérateur. Les éléments éclairants sont intégrés à celui-ci. Cet élément ne sera pas analysé en détail.

8. *Grand connecteur*

Cet élément a pour rôle de relier électriquement les deux piles ensemble, de manière à les connecter en série.

9. *Réflecteur*

Cet élément brillant permet à la lumière qui est émise dans la mauvaise direction depuis les LEDs d'être réfléchi vers l'avant. Il assure donc que la totalité des rayons lumineux émis soit utilisée pour signaler la position du cycliste.

10. *Petits connecteurs*

Ces connecteurs ont pour rôle respectif de connecter le circuit électronique aux piles d'alimentation côté *plus* et côté masse *masse*.

11. *Vis de circuit imprimé*

Celles-ci existent au nombre de deux et ont pour rôle de fixer solidement le circuit électronique dans le socle principal.

12. *Piles*

Les piles sont connectées en série et ont pour rôle d'alimenter le circuit électronique, ainsi que de fournir l'énergie nécessaire au fonctionnement des LEDs.

13. *Collier*

Cet élément permet de fixer le clip femelle au châssis du vélo de manière permanente. Il est construit de manière à se fixer sur un élément cylindrique du châssis et peut être plus ou moins serré de manière à correspondre à plusieurs diamètres (minimum 31 mm, maximum 35 mm).

14. *Vis et écrou de collier*

La vis de collier assure deux fonctions. Elle permet premièrement de refermer le collier et de lui conférer sa fonction de serrage réglable. Mais elle permet aussi au clip femelle d'être relié au collier via un angle variable. Cela se fait grâce à un système de dents. L'écrou qui lui correspond vient être monté dans la serrure du système de dents.

1.4 Choix des matériaux¹

De par sa fonction et le cahier des charges établi en amont, le choix des matériaux pour les pièces (hors électronique et visserie) se limite à différents polymères et métaux que nous allons détailler dans cette section.

Choix des polymères:

- L'acrylonitrile butadiène styrène (ABS). Moulage aisé. Module de Young 2.03 GPa, bonne résistance aux chocs et aux rayures. Densité entre 0.9 g/cm³ et 1.53 g/cm³
- Élastomère éthylène-propylène (EP) offre une très bonne résistance à l'oxydation et aux intempéries.

- Le polycarbonate (PC). Bonne transparence, colorable. Excellente résistance aux chocs. Densité 1.2 g/cm^3 . Mise en œuvre: injection-moulage. Module de Young 2.3 GPa .

Choix des métaux

- Acier Inoxydable. Peu sensible à l'oxydation. Conducteur. Facile à usiner.

Pièces en ABS: N°1,2,3,9,13.

Ces pièces sont réalisées en ABS car elles sont de formes "complexes" et sont souvent sollicitées mécaniquement. Elles nécessitent donc un matériau pouvant être mis en forme très aisément par moulage ainsi qu'une bonne ténacité et résistance à l'usure.

Pièces en EP: N°5,6.

Ces pièces sont réalisées en EP car leur utilisation demande une déformation du matériau. En effet la pièce N°5 (le joint) sera comprimée entre la lentille et le socle lors du montage, garantissant l'herméticité de l'électronique. La pièce N°6 (bouton capacitif) nécessite de se déformer pour transmettre la pression de l'utilisateur au circuit imprimé.

Pièce en PC: N°4.

La pièce en PC est la lentille, elle doit être transparente pour diffuser la lumière de la lampe. De plus c'est la pièce la plus exposée à d'éventuels chocs/rayures, elle doit donc être suffisamment solide.

Pièces en acier inoxydable: N°8,10.

Les connecteurs nécessitent d'être conducteur. Ils sont sollicités en flexion lorsque les piles sont montées dans le socle, par ailleurs il doivent rester dans le régime de déformation élastique.

1.5 Gamme opératoire du montage (assemblage)

Assemblage du boîtier

Étape 1:

Monter le bouton capacitif, le grand connecteur et les petits connecteurs dans le socle.



Figure 16: Étape 1

Étape 2:

Monter le circuit imprimé et les vis permettant de le fixer au socle.



Figure 17: Étape 2

Étape 3:

Monter les piles dans le socle, et le joint sur le socle.



Figure 18: Étape 3

Étape 4:

Monter le réflecteur dans la lentille.



Figure 19: Étape 4

Étape 5:

Assembler la lentille avec le socle.

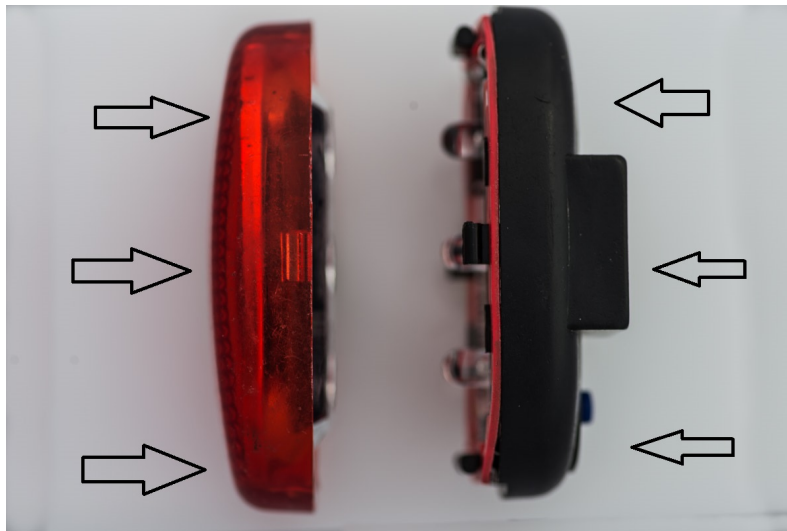


Figure 20: Étape 5

Étape 6:

Monter le clip mâle sur le socle en le glissant dans les rails présents sur le socle jusqu'à entendre un "clic" (voir image).



Figure 21: Étape 6

Montage de la lampe sur système de fixation

Étape 1:

Monter le collier autour d'une section circulaire du vélo sur laquelle on souhaite positionner la lampe.



Figure 22: Étape 1

Étape 2:

À l'aide de la vis à tête bombée et de l'écrou, assembler le collier avec le clip femelle..



Figure 23: Étape 2

Étape 3:

Assembler la lampe sur le système de fixation en glissant le clip mâle dans les rails du clip femelle.

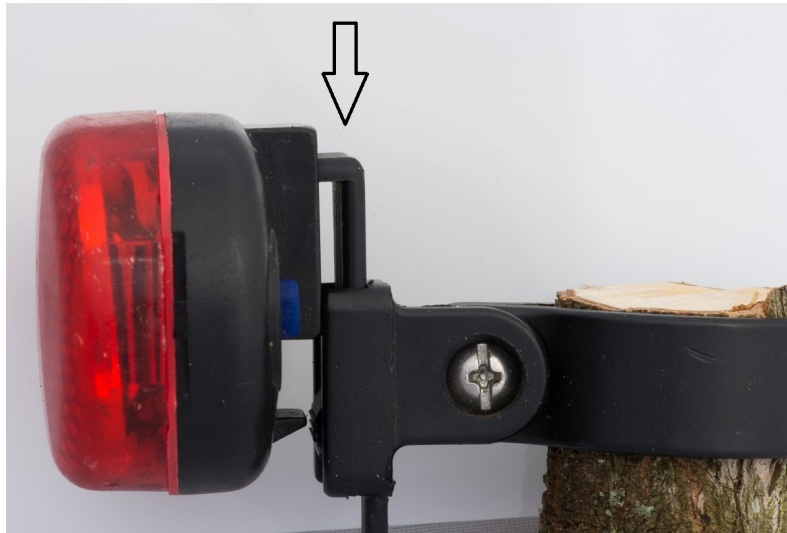


Figure 24: Étape 3

Utilisation

Allumer/Éteindre

Par pression sur le bouton:

- 1 pression: Allumage, mode éclairage 1.
- 2 pression: mode éclairage 2.
- 3 pression: mode éclairage 3.
- 4 pression: Extinction.

Angle d'éclairage

Se servir des crans sur le clip femelle pour donner un angle spécifique d'éclairage.



Figure 25: Angle d'éclairage

Notes:

Pour enlever la lampe du vélo tout en laissant le système de fixation sur le vélo, il est nécessaire de séparer le clip mâle du clip femelle en pressant la languette du clip femelle avec le doigt.



Figure 26: Pour enlever la lampe de la fixation: mouvement de la pièce (flèches noires), pression du doigt (flèche rouge).

De plus, si l'on souhaite monter une lampe d'un autre modèle, compatible avec ce système de fixation, il est nécessaire de séparer le socle du clip mâle en pressant la languette du clip mâle à l'aide de la pointe d'un tournevis.



Figure 27: Pour enlever le clip mâle de la lampe: mouvement de la pièce (flèches noires), soulever la languette (flèche rouge).

2 Façonnage et mise en œuvre

2.1 Pour chaque pièce, la méthode de fabrication utilisée

1. *Fabrication du socle principal*

Le socle principal est constitué d'ABS et a été usiné par injection.



Figure 28: Intérieur du socle principal

On constate sur la figure 28 que l'intérieur du socle est très complexe, en effet, il présente beaucoup d'éléments fonctionnels. Cependant, les marques circulaires au centre de la pièce témoignent des éjecteurs qui ont permis à la pièce d'être éjectée du moule. (vous trouverez plus de détails sur les éjecteurs dans la partie *Fabrication du réflecteur*)

Par ailleurs, il convient de relever que l'intérieur de cette pièce présente les logement des vis du *circuit imprimé*. En réalité il est trop complexe et inutile de vouloir usiner les taraudages qui correspondent

au vis. Ces derniers ne sont en fait créés de force par les vis lors du montage de ces dernières. On crée dans le socle de petits trous qui ont le diamètre idéal pour permettre aux vis de créer elles-mêmes leur taraudage en déformant le plastique.

De plus, il est important de noter que la face arrière présente une géométrie complexe qui ne peut être réalisée avec des moules pour injection simples.



Figure 29: Retours visibles sur le dessus de la pièce

En effet, comme on peut le constater sur la figure 29, la pièce présente un réceptacle qui permet de venir y loger le *clip mâle*. Cette zone admet donc une géométrie concave. Cela signifie que si on le moulait dans un moule standard qui n'était que le simple négatif de la pièce, celle-ci serait parfaitement usinable mais impossible à déloger de son moule. Du fait des 2 retours qui s'accrocheraient au moule, de l'autre côté de l'endroit qui aurait permis de créer ce réceptacle.

Cette pièce a en fait probablement été usinée avec un moule à tiroir. Ce genre de moules ne sont pas fixes mais présentent des parties amovibles. La partie qui pose problème sur notre pièce a donc pris forme grâce à une sorte de clavette qui, une fois la pièce suffisamment durcie, se retire pour permettre à la pièce d'être délogée. On constate d'ailleurs que la partie de la pièce qui a été en contact avec cette clavette est complètement lisse et ne présente pas le même état de surface que le reste de la pièce. Cela témoigne probablement du fait que si le moule doit coulisser hors de la pièce après usinage, on ne peut pas se permettre de lui donner un autre état de surface que celui du plus lisse possible.

De plus, on constate aussi que la partie lisse présente une encoche qui assure le maintien permanent du *clip mâle* dans le *socle principal*. Cette réalisation est en fait possible grâce à l'utilisation de moules à plusieurs tiroirs imbriqués.

2. Fabrication du clip mâle et femelle

Ces éléments ont eux aussi été réalisés par injection plastique. La pièce femelle a peut-être fait l'objet d'une injection dans un moule à tiroir pour la réalisation des deux retours en plastique, de la même manière que le socle principal.

3. Fabrication de la lentille

Cette pièce présente une structure dont la fonction est capitale au bon fonctionnement de la lampe. En effet les bosselures à l'intérieur de la *lentille* lui permettent d'acquies sa fonction effective de lentille. Cependant ces bosses, bien que de forme précise, admettent une résolution qui se trouve toujours dans la gamme de ce qui est réalisable en injection. C'est pourquoi cette pièce a probablement été elle aussi réalisée par injection, mais peut-être avec une qualité plus grande ou un second traitement qui lui permettrait d'obtenir un état de surface final assez lisse de manière à rester bien transparent dans la portion du spectre lumineux désiré.

4. *Fabrication du joint*

Le joint a été réalisé par injection plastique (EP). Il est possible, en observant à la loupe la surface de ce dernier, de distinguer la marque de la fraise qui a usiné le moule. Il est plus difficile de repérer la position des éjecteurs car ils sont confondus dans les marques circulaires de la fraise.

5. *Fabrication du bouton capacitif*

Le bouton est un élément légèrement plus complexe car il admet deux parties. Un morceau aux propriétés électrotechniques est piégé dans une matrice souple. Ce morceau (partie sombre et structurée à l'intérieur du bouton visible sur la figure 16) possède une propriété diélectrique précise. Cela lui permet, lorsque le bouton est pressé et qu'il se retrouve plaqué contre la partie qui lui correspond du circuit imprimé. De faire changer la valeur d'une capacité sur le circuit, ce qui est interprété comme un appui du bouton par le circuit. Ce mécanisme se retrouve derrière les touches de clavier. Il présente l'avantage de pouvoir créer des boutons qui ne présentent pas de contacts électriques directs et qui résistent à de très grand nombre de cycles d'utilisation, du fait que c'est le plastique mou du bouton qui subit le contact.

Ce genre de bouton est probablement réalisé par des entreprises spécialisées. Sa fabrication a lieu en deux étapes. Premièrement on réalise le diélectrique chez des fabricants de composants électroniques, en utilisant des procédés salle blanche. Cette pastille est ensuite placée dans un moule, dans lequel on vient injecter du plastique (EP).

6. *Fabrication du réflecteur*

Le réflecteur est usiné en deux étapes. On fabrique dans un premier temps la structure, qui lui donne sa forme fonctionnelle. Puis on vient lui plaquer un revêtement brillant qui assure sa fonction réfléchissante.

Sa structure est en ABS. Il est usiné par injection, son moule permet de générer plusieurs pièces d'un coup. En effet, on constate que le contour de la pièce présente une aspérité. Celle-ci correspond à l'endroit du moule qui constituait l'arrivée du plastique.

Afin d'optimiser son processus de fabrication, le concepteur prévoit généralement un moule qui permet de générer plusieurs pièces d'un coup. Ces pièces doivent ensuite être séparées les unes des autres. Ceci se fait généralement en cassant la fine colonnette de plastique qui relie la pièce finale, au reste de la structure qui contient les autres pièces.



Figure 30: Cuillères démoulées non isolées²

Les cuillères visible sur la figure 30 ont été usinées de la même manière. Dans ce cas-ci, on les voit telles qu’elles ont été injectées, encore toutes reliées entre elles. On constate que le moule a été dessiné de manière à ce que la colonne d’apport de plastique présente un rétrécissement de diamètre à l’endroit où on aimerait que le plastique casse lorsqu’on isole manuellement les cuillères.

De plus, dans le cas de notre réflecteur, on constate que la pièce entière est recouverte d’un revêtement brillant, sauf à l’endroit de la rupture qui a permis de séparer les réflecteurs du reste de la structure de plastique. Cela signifie que le revêtement de ces derniers a été posé avant de séparer les réflecteurs. En effet, il semble plus judicieux de laisser les pièces naturellement attachées entre elles pour le processus de revêtement, car cela diminue énormément le nombre de manœuvres de fixation des pièces sur leur support pour le procédé de revêtement. Le producteurs s’arrangent même probablement pour que le morceau de plastique central (pièce qui sera finalement pas utilisée; la forme de soleil centrale dans le cas des cuillères de la figure 30), sur lequel sont rattachés tous les réflecteurs ai une forme qui correspond au système de fixation du procédé de revêtement. Le petit défaut laissé par la rupture de cette connexion plastique n’est pas visible au premier coup d’œil mais se localise facilement au toucher.

En ce qui concerne le revêtement brillant de cette pièce, on constate que la surface de celle-ci est conductrice. Le revêtement est donc très probablement en aluminium. Après quelque recherches⁵, nous avons constaté que la plupart des réflecteurs de lampe sont enduit d’aluminium par PVD (*Physical Vapor Deposition*), ou parfois dans des réacteurs spéciaux hybrides PVD-PECVD (*Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition*).

Pour simplifier, les pièces sont montées sur une structure et placées dans un réacteur. Au centre de celui-ci, on place des barrettes d’aluminium, qui seront ensuite chauffées de manière à s’évaporer. L’aluminium évaporé fini par se condenser sur les pièces présentes dans le réacteur et forment donc une couche mince sur les pièces. De plus, le réacteurs est sous vide, ce qui permet d’améliorer l’uniformité de la couche d’aluminium sur les pièces. La présence de plasma ainsi qu’un mouvement particulier de type planétaire des pièces dans le réacteur peuvent aussi améliorer la tenue et l’aspect final de la couche sur les pièces.



Figure 31: Vue de l'arrière du réflecteur

Sur cette vue, on constate que la face arrière du réflecteur présente des marques circulaires. Celle-ci témoignent de la procédure d'éjection du moule lors du procédé d'injection. En effet, les moules d'injection sont constitués de deux parties, qui s'ouvrent, de manière à permettre à la pièce moulée d'être récupérée. Or, bien que le moule soit dessiné de manière à permettre un démoulage facile, (par exemple, les faces verticales sont en fait toujours légèrement inclinées de manière à éviter que la pièce soit prisonnière du moule par frottement), les pièces restent malgré tout toujours collées à la partie arrière du moule. Pour palier à cela, le moule est doté de petites tiges, qui, une fois le moule ouvert, sortent du fond de celui-ci et poussent la pièce dehors. Ces pièces ont tendance à laisser des marques circulaires sur la pièce.

Il est important de noter que les deux marques circulaires collées aux trous de passage des LEDs sur cette image ne sont pas des marques d'éjecteurs, mais des lamages volontaires, qui permettent à la tête des vis qui tiennent le circuit imprimé dans ces cavités.

7. *Petits et grands connecteurs métalliques* Ces pièces ont pour objectif de relier la pile au reste du circuit électronique. De ce fait, elles sont donc métalliques et donc conductrices. Ces connecteurs ont probablement été usinés par estampage et pliage.

Dans un premier temps, une feuille métallique est disposée sous une presse. Cette dernière découpe la forme dépliée du connecteur et crée dans le même mouvement la petite bosse qui assure le bon contact de la cathode de la pile.

La pièce est ensuite pliée, afin de prendre sa forme finale.

8. *Collier*

Le collier a lui aussi probablement été réalisé par injection. Cependant, la présence du trou de passage de la vis et du lamage de réception de l'écrou génèrent une concavité qui implique l'utilisation d'un moule à tiroir. De plus l'état de surface extérieure de cette pièce est légèrement granuleux car c'est une pièce apparente sur le montage final.

9. Pièce de séries

Certaines pièces telles que les piles, les différentes vis et écrous sont des pièces normalisées qui se commandent tel quel. Leur réalisation n'est pas détaillée ici. De plus, la fabrication du circuit imprimé est confiée à une entreprise à part entière qui se charge de réaliser ce genre de pièces spécifiquement. On ne les détaillera pas ici.

2.2 Machines & Équipement

2.3 Analyse des coûts de fabrication

2.3.1 Équations permettant de calculer les coûts par pièce

L'étude des coûts de fabrications d'une pièce est très complexe. On se propose ici d'utiliser les notions du chapitre 10 (*Lecture 10*) du cours de *Physics of Manufacturing I*.

On va séparer les coûts en différentes catégories pour chaque pièce, puis les regrouper afin d'obtenir un coût final estimé de l'ensemble. Les différents coûts de fabrication se divisent selon les points suivants.

- *Coûts liés au prix de la matière première.*

Lors de la réalisation d'une pièce, il faut considérer que la totalité de la matière présente sur le produit ne représente pas la totalité de la matière qu'il a fallu utiliser. Une partie de celle-ci est gaspillée lors des procédés d'usinage. On définit la variable f , qui représente la fraction de matière perdue à partir du bloc de matière initial. On définit m , le poids final de la pièce après usinage, ainsi que C_{rm} , le prix de la matière brut, en dollars par kilogrammes. En nommant $C_{matiere}$ le coût final dû à la matière première après usinage, on peut considérer l'équation suivante:

$$C_{matiere} = \frac{1}{1-f} \cdot m \cdot C_{rm} \quad (1)$$

- *Coûts liés au prix de l'outillage*

Dans l'équation qui suit, il s'agit de considérer le coût de l'outillage, en s'arrangeant pour considérer la durée de vie ainsi que les fréquences de remplacement de ces derniers. Pour se faire, il nous faut définir différentes variables. On note C_t , le coût de l'outillage à l'achat. n correspond au nombre de pièce qui vont être produits à l'aide de ces mêmes outils (*pas de remplacement*). On définit ensuite n_t , qui représente la fréquence de remplacement d'un outil. Si n_t vaut 5, cela signifie que l'outil doit être changé lorsqu'il sert à la fabrication de 5 pièces.

Il nous faut tout d'abord définir la fonction $E(\frac{n}{n_t}) = \lfloor \frac{n}{n_t} \rfloor$. En nommant C_{outil} le prix de l'outillage, on obtient la relation suivante:

$$C_{outil} = \frac{C_t}{n} \cdot \left\{ 1 + E\left(\frac{n}{n_t}\right) \right\} \quad (2)$$

- *Coûts liés au équipement lourds*

Ces coûts correspondent à l'achat et la rentabilisation de grosse machine de production en série. Une extrudeuse plastique appartient par exemple à cette catégorie. Il s'agit ici d'effectuer une analyse du coût lié à l'achat d'une telle machine, tout en considérant l'usure et les cadences de productions de celle-ci. Voici les variables à définir.

Premièrement, nous avons n le nombre de pièce, alors nous définissons $\dot{n}$, qui correspond à la dérivée temporelle du nombre de pièces. Ce qui n'est autre que la cadence de production, le nombre de pièces produites par unité de temps. Nous introduisons ensuite L , qui évolue entre 0 et 1, et qui correspond à une modulation de la cadence maximale de la machine par jour. Lorsque L vaut 1, la machine produit à sa cadence maximale. À zéro, cette dernière ne produit plus rien. Il faut noter ici qu'une valeur de

$L = 0.5$ ne signifie pas que la machine produit à une vitesse ralentie. Cela signifie simplement que la machine ne produit (à sa vitesse normale), que pendant la moitié de la journée.

C_c correspond au capital investi, à savoir le prix d'achat de la machine. Et t_{wo} correspond au temps que l'on aimerait prendre pour rentabiliser le capital investi dans la machine. On appelle C_{equip} le prix dû au coût de cette investissement et on utilise l'équation suivante:

$$C_{equip} = \frac{1}{\dot{n}} \cdot \frac{1}{L} \cdot \frac{C_c}{t_{wo}} \quad (3)$$

- *Autres coûts*

Cette catégorie comprends tout les autres coûts qui n'ont pas été considérés jusqu'à présent, ainsi que leurs fréquence d'occurrence. Par exemple, les coûts liés au marketing, à la recherche, au développement, les coûts administratif, énergétiques, maintenance etc...

Pour les considérer correctement, on note ce coût C_{autre} et on définit leur fréquence d'apparition $\dot{C}_{oh}$, que l'on met en lien avec la cadence de production de la manière suivante:

$$C_{autre} = \frac{\dot{C}_{oh}}{\dot{n}} \quad (4)$$

2.3.2 Applications des calculs par pièce

Dans cette section, il s'agit de mettre en application les équations précédentes pour chaque pièce. Cependant il est judicieux de relever que certains paramètre nous sont absolument inconnus, et que de ce fait il feront l'objet d'estimation très subjectives. On procédera pour chaque pièce, par une énumération des différent paramètres ainsi qu'une justification brève de la source d'où l'information nous est parvenue. (NB: Si l'on voulait effectuer une étude complète, on se devrait de relever l'incertitude sur chaque mesure, et calculer l'incertitude du résultat final à l'aide du théorème de propagation d'incertitude. Cependant, cela ne sera pas effectué dans le cadre de ce rapport. En effet, le nombre de paramètres ainsi que l'ampleur des équations ne le permette pas. De plus, certaines de nos estimation sont subjectives et conduiraient à une incertitude relative anormalement élevée et peu significative.)

1. Calcul pour le socle principal

Afin de simplifier nos estimations et calculs, on se propose de s'aider de l'exercice *Usinage des briques de Lego* du cours de *Physics of Manufacturing I*.

- $f = 0.1$ [–] On suppose que pour une pièce injectée, seul 10 % de la matière est perdue. On pense en particulier aux pertes qui sont dues aux excès de matière nécessaire à l'injection de la pièce.
- $m = 0.010$ [kg] Valeur mesurée par nos soins³.
- $C_{rm} = 3.5$ [$\frac{\$}{kg}$] Valeur utilisée pour l'ABS dans l'exercice.
- $C_t = 50'000$ [\$] Ce prix est estimé à partir de plusieurs exemples trouvés sur internet⁴. Ainsi qu'en considérant que cette pièce à fait recours à l'utilisation de tiroir, et que son aspect externe demande un qualité de surface plus tolérancée qu'une pièce fonctionnelle standard. Cela semble raisonnable en considérant que la valeur pour le moule de *Lego* était 35'000 [\$]
- $n = ?$ Ce chiffre est extrêmement difficile à estimer. Afin de ne pas l'inventer de manière arbitraire, on se propose d'effectuer plusieurs fois le calcul, et de donner le coût final en fonction du nombre de pièce. On considère alors n comme une variable.
- $n_t = \infty$ [$\frac{piece}{remplacement}$] De la même manière que dans l'exercice, on propose de simplifier le problème et de ne pas considérer que l'équipement subit de l'usure significative. On décide qu'il doit donc être remplacer tous les $1 \cdot 10^{10}$ pièces fabriquées pour les calculs.

- $\dot{n} = \frac{4\text{pieces}}{6\text{secondes}} = \frac{2}{3} \cdot 8'760 [\frac{\text{pieces}}{\text{heures}}]$ On utilise à nouveau les valeurs de l'exercice. A la différence qu'on considère que le moule du socle permet d'injecter 4 pièces d'un seul coup plutôt que 8.
- $C_c = 66'666 [\text{\$}]$ Notre situation est légèrement différentes de celle de l'exercice 5. En effet, nous considérons ici une entreprise qui conçoit un produit entier. Il ne serait pas stratégique pour eux de posséder une extrudeuse par pièce à produire. Au contraire, puisque la plupart de leur pièce sont usinée dans le même matériaux, on peu supposer que celles-ci on été produite avec la même machine, simplement en changeant de temps en temps les moules. On décide de considérer que cette usine a décider des répartir ses pièces injectées sur 2 moules. Cela revient à considérer que la machine elle-même ne coûte que 66'666 \\$ du point de vue d'une seule pièce.
- $L = 0.167 [-]$ De la même manière que pour le paramètre précédent, il faut considérer que cette pièce ne bénéficie de l'extrudeuse qu'une partie du temps de production. Le reste du temps, la machine est en train de produire une autre pièce. Puisque l'exercice sur lequel on se base propose de prendre $L=0.5$. Dans autre cas, il nous suffit d'adapter en divisant cette valeur par 3. Puisque que 3 pièces se partagent cette machine. (6 pièce injectées pour 2 machines). Le reste du temps, la machine n'est pas utilisable car il faut: changer les moules, graisser la machine, faire des réglages, changer de matière et purger les buses (lorsque qu'on usine la lentille qui n'est pas en ABS par exemple). Ou tout simplement parce qu'elle admet quelque fois des pannes.
- $t_{wo} = 5 [\text{années}] = t_{wo} = 43'800 [\text{heures}]$ En supposant que les lampes à vélo peuvent faire l'objet de changement de modes plus rapide que les *Lego* dans leur design et conception, on décide de fixer cette valeur à 5 plutôt que 10 comme dans l'exercice.
- $\dot{C}_{oh} = 10 [\frac{\text{\$}}{\text{heures}}]$ Même spéculations que dans l'exercice. Cependant, notons que nous considérerons ces coûts annexe que sur cette pièce. En effet, il ne faut pas recompter les coûts d'administration sur chaque pièce. On se propose d'utiliser 1 \\$ pour les coûts résiduels autres sur les pièces suivantes.

En injectant tous ces paramètres dans un script *Matlab* (disponible en annexe), ainsi qu'en faisant varier le paramètre n (nombre de pièces produites), on obtient le résultat suivant:

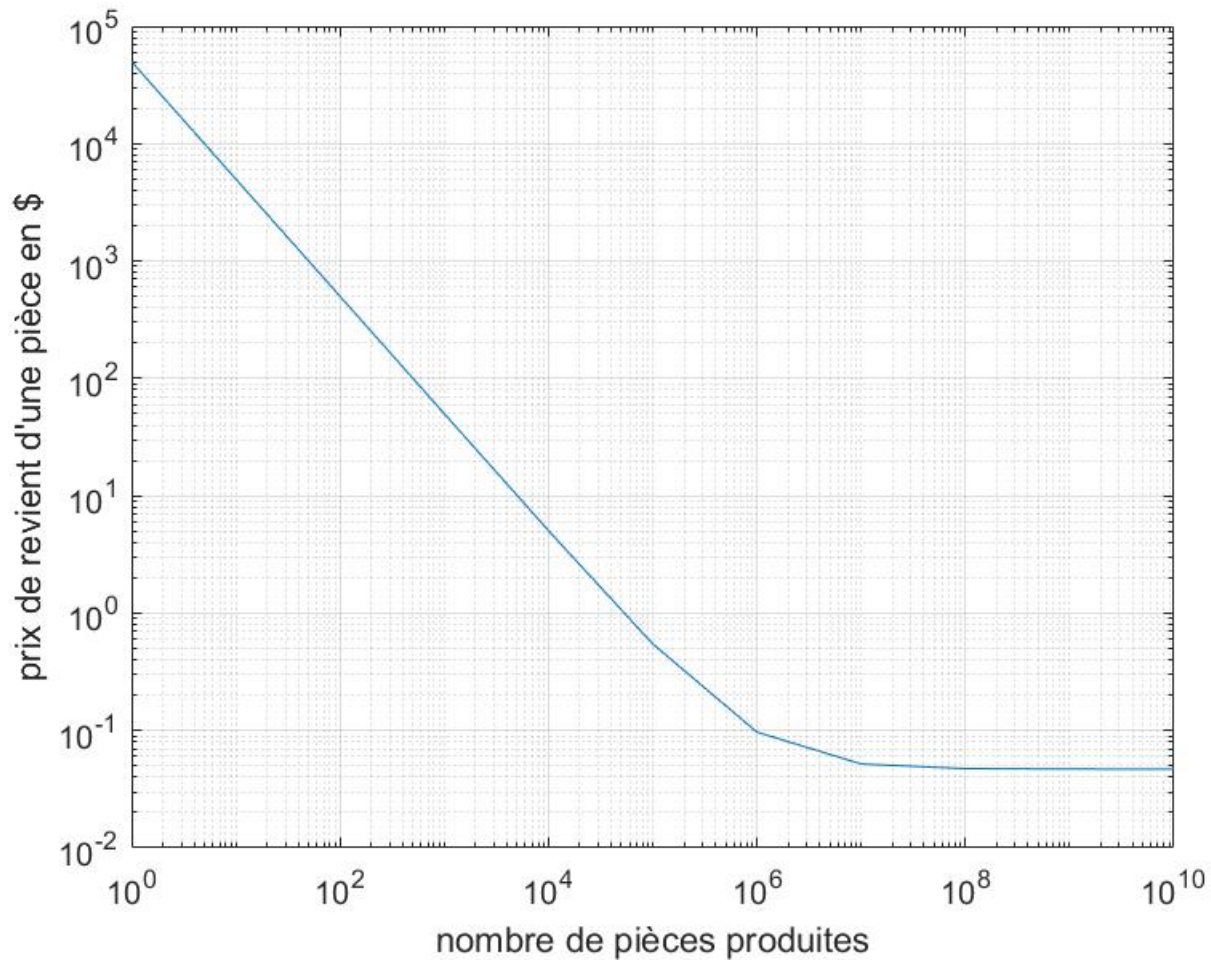


Figure 32: Coût estimé du socle en fonction du nombre de pièces produites

La valeurs à laquelle le prix se stabilise est 0.0469 \$.

Afin de ne pas surcharger le rapport, on choisit, pour les prochaines pièce faisant l'objet de production en grande série, de n'énoncer que leur paramètres. On regroupera ainsi toutes les valeurs dans un tableau, et on effectuera le calcul complet pour toutes ses pièces à l'aide d'un seul script *Matlab*.

2. Coût de la fabrication des connecteur

On suppose, comme déterminé dans la section sur l'usinage des connecteurs, que ces derniers on été découpés par estampage, puis plié par emboutissage. On calculera les prix sur la base des suppositions suivantes:

- On suppose sur la base de quelques recherches⁸, qu'il est possible d'effectuer la manœuvre d'estampage et de pliage d'un seul coup. Il suffit donc de n'acheter qu'une seule presse hydraulique. Quelques recherches⁹ nous on permet de supposer que le prix d'une telle machine est d'environ 25'000 \$.
- En regard du prix de la presse, nous suppose que l'outil effectif qui sera monté dessus coûte quelque chose de l'ordre de 4'000 \$ et qu'il est capable de produire 6 fois le set de 3 connecteurs en 1 seul

mouvement. Sa cadence¹⁰ est estimée à 1 aller-retour par seconde, soit 3600 aller-retour par heure. Qu'il faudra encore mettre en relation avec les 6 sets par mouvement.

- Pour obtenir des résultats plus précis concernant le prix de la matière, il faudrait idéalement connaître le prix du rouleau métallique utilisé directement dans la presse. Puisque celui-ci est difficile à trouver, et qu'il ne correspondrait pas aux équations utilisées, qui requièrent un prix par unité de volume. On choisit de prendre le prix de la matière au kilo, et de le doubler. Cette multiplication par 2 quelque peu arbitraire permet de considérer le prix de la valeur ajoutée à considérer pour passer de la matière brut, au rouleau de 0.2 mm d'acier.
- La masse estimée par nos soins pour les 3 pièces est de 1 gramme au total.
- Afin de déterminer le facteur f , on se propose de comparer la surface en pixel de la pièce dépliée, aux côtes d'encombrement des 3 pièces, agrémentée d'une marge de 1 cm.

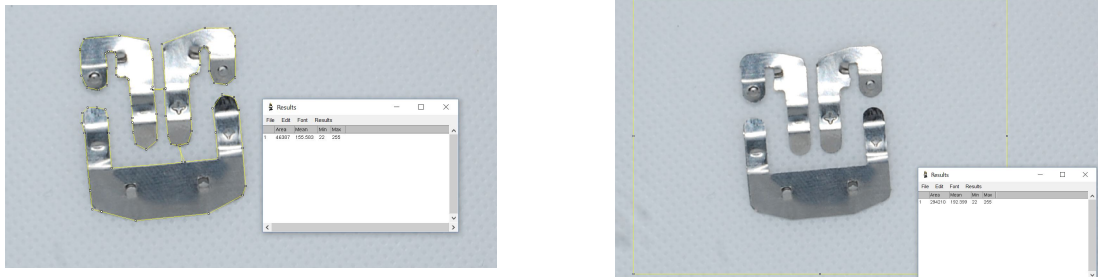


Figure 33: Image utilisée pour estimer le ratio f avec *ImageJ*

Le ratio estimé pour f est donc d'environ 0.15 [-].

3. Considération du coût du revêtement aluminium des réflecteurs

- On considère que le prix d'un réacteur hybride PVD-CVD¹¹ coûte environ 30'000 \$
- On pense que la masse final d'aluminium présente sur une pièce est au maximum de 0.1 g. Et que cela ne représente que le 5 % de la masse d'aluminium qu'il a fallu placer dans le creuset du réacteur.
- Ce genre de machine demande un opérateur permanent, on estime donc les coût annexe d'une telle machine à 15 \$ par heure.
- La vidéo¹² nous laisse penser qu'un dépôt de couche prend environ 30 minutes pour traiter environ 300 pièces.

4. Calculs pour toutes les pièces injectée, du revêtement PVD-CVD ainsi que l'usinage des connecteurs

Plutôt que de procéder à un calcul détail à de multiple reprise comme pour le socle, il nous a semblé préférable de calculer l'ensemble des variations pour les pièces réalisées en production grande série, pour plusieurs valeurs de n .

Voici le choix effectué sur les paramètres des différentes pièces:

	Socle	Clip mâle	Clip femelle	Lentille	Réfect.	Collier	Bouton silic-one	Joint silic-one	Conn.	PVD CVD
$f [-]$	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.15	0.95
$m [kg]$	0.1	0.002	0.004	0.008	0.003	0.005	0.0001	0.0001	0.0001	0.00001
$C_{rm} [\frac{\$}{kg}]^1$	3.5	3.5	4.0	3.5	3.5	3.5	12	12	10	1.5
$C_t [\$]$	50'000	35'000	45'000	35'000	35'0100	45'000	35'000	35'000	4'000	0
$\dot{n} [\frac{pcs}{6sec}]$	4	12	6	6	6	4	6	12	36^2	1^5
$L [-]$	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.5^3	0.2
$C_c [\$] [h]$	50'000	50'000	50'000	50'000	50'000	50'000	50'000	50'000	25'000	30'000
$t_{wo} [an]$	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
$C_{oh} [\frac{\$}{h}]$	10	1	1	1	1	1	1	1	5	15^4
Résultats ⁶	0.0422	0.0084	0.0189	0.0323	0.0128	0.0211	0.0025	0.0019	0.0013	0.0129

Figure 34: Paramètres choisis pour chaque pièces

En implémentant l'ensemble de ces paramètres dans un script *Matlab* et en faisant varier n, on obtient les résultats suivants:

¹En se référent au tableau du cours de *Physique of Manufacturing I*, Lecture 10, slide 7

²Notez que l'unité de temps est 6 *secondes*, car c'est la base de temps qui correspond aux pièce injectée. De ce fait, nos 6 sets par secondes correspondent bien à 36 sets par 6 secondes

³En se basant sur l'exercice des briques de *Lego*, on choisit L=0.5

⁴On réhausse le coût du aux éléments *autres* de cette machine, car il faut considérer sa maintenance propre.

⁵600 pièces par heures correspondent à 1 pièce toute les 6 secondes

⁶Valeur en \$ pour une production de 10^9 pièce

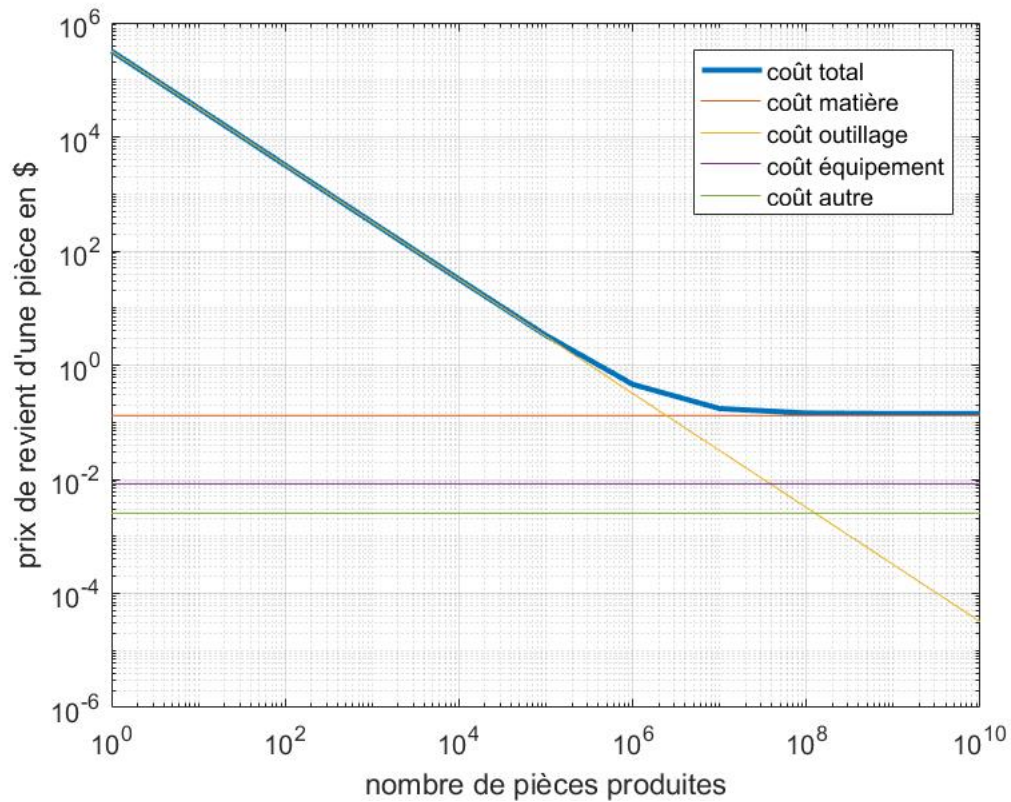


Figure 35: Coût estimé pour toutes les pièces usinées

5. Coût des pièces restantes

- On estime que le coût pour l'achat de très grande quantité de visserie et de l'ordre du dixième de centime par pièce¹³. Ce qui nous fait environ 0.05 \$ pour la visserie,
- On estime le prix d'un circuit imprimé déjà fait d'environ 0.5 \$ pour une commande en masse chez un fabricant.

On considère donc un coût total de 0.55 \$ pour l'ensemble de pièce commandées.

6. Coût total de l'assemblage

En prenant la valeur de convergence de l'asymptote sur la figure 35, on obtient un coût final de $0.1544 + 0.5500 = 0.7044$.

On se propose de représenter les coûts par pièce:

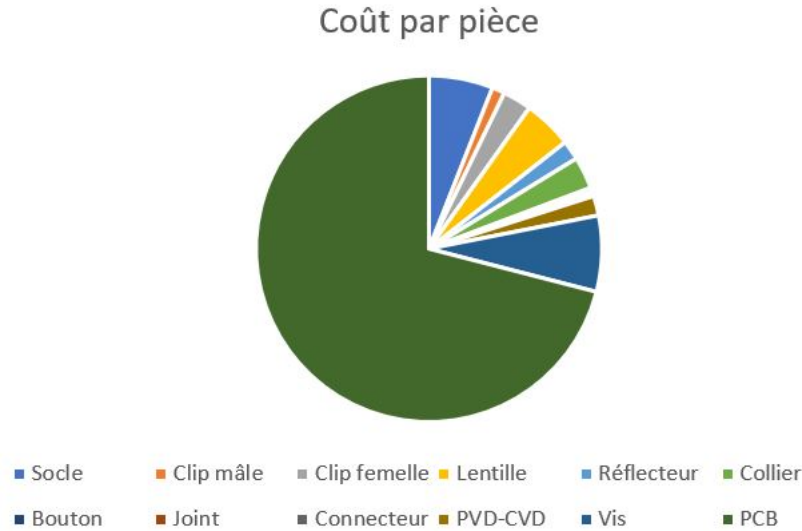


Figure 36: Coût estimé par pièce pour une production de 10^9 pièces. (Plot *Excel* des résultats *Matlab*)

2.3.3 Synthèse et analyse des résultats obtenus

A première vue, la valeur final de 0.7044 \$ par pièce pour une grande production semble correcte. En effet, nous savons que cette lampe coûte 6.95 CHF¹⁴ dans le commerce, nous sommes donc en mesure d'espérer que son coût de fabrication en très grande série ne dépasse pas les 1 \$. Néanmoins, il faut noter que le prix de 6.95 CHF comprends les piles, élément que nous n'avons pas inclu dans nos calculs.

Cependant, il convient de relever plusieurs détails. La figure 36 nous montre que le prix estimé du circuit imprimé est un ordre de grandeur supérieur que celui des pièces usinée. Il faut probablement conclure que le prix de ce-dernier est bien plus bas qu'estimé.

On remarque aussi que les valeurs injectées dans les équations sont proches. Il est donc possible que ces dernières fassent l'objet d'un biais d'estimation global de notre part.

De plus, dans la partie précédente du rapport, nous avons considéré que le bouton capacitif était commandé chez un fabricant. Nous avons choisi ici de considérer qu'il fait simplement l'objet d'une pièce injectée en silicone, en négligeant la pastille capacitive qu'il contient.

La balance utilisée est aussi source d'incertitude. De la même manière, il nous était impossible de connaître le ratio ABS/revêtement du réflecteur en terme de poids. Il nous a fallut spéculer arbitrairement une valeur.

3 Amélioration

3.1 Défaillance / Contrôle qualité / Amélioration continue

La lampe arrière à vélo réalise l'ensemble de ses fonctions principales d'une manière correcte, l'utilisateur est facilement identifiable sur la route de nuit. Cependant, nous pensons qu'il reste tout de même certains défauts rendant l'utilisation de l'objet un peu plus complexe pour l'utilisateur lambda. Aussi, la qualité de finition sur certaines pièces laisse à désirer et pourrait potentiellement conduire à des défaillances critiques de l'appareil. Un point important à soulever est le besoin de démonter presque l'ensemble de l'appareil afin de changer les

pires. L'opération n'est pas si complexe en soi, pourtant pour l'utilisateur moyen, cela peut poser problème au vu de la longueur du processus et de sa délicatesse. La majorité des pièces se clipsant directement les unes dans les autres nécessite un certain effort au désassemblage pour une action aussi anodine qu'est le changement de pile.

Aussi, nous pensons que le système de rail cf. Fig 21 permettant de clipser le socle de la pièce avec le châssis du vélo requiert un état de surface propre et un respect important des tolérances ce qui n'est pas toujours le cas. En comparant plusieurs lampes du même constructeur, nous avons trouvé difficile de séparer le corps du châssis, ce qui peut rendre un tel montage inaccessible aux plus jeunes. Le fait de ranger la lampe étant un geste régulier (à chaque fois que le vélo est garé) il est important que le mécanisme et la solution choisie soit simple et facile.

Des articulations flexibles sont utilisées pour les languettes des pièces N°2,3 ainsi que pour les accroches de clipsage de la pièce N°1. Après nos tests et comme il est courant pour les clipsages en plastique, il est facile de forcer par inadvertance et de casser les articulations. En se rappelant qu'il est nécessaire de désassembler la lampe pour changer les piles, on comprend vite que le mécanisme est régulièrement sollicité et que si les accroches lâchent il devient impossible de réassembler l'objet.

3.2 Action corrective

Afin de pallier aux défauts de notre produit nous proposons de modifier certains mécanismes et d'implémenter un contrôle qualité efficace en fin de chaîne de production.

Nous pensons que les piles devraient être faciles d'accès, pour cela nous proposons d'utiliser un système similaire à celui utilisé sur les télécommandes avec un compartiment qui peut glisser et permettre le changement de piles facilement. Le passage à un format de pile plus petit (CR2032), les LEDS étant à haute efficacité énergétique, permettra aussi de réduire l'encombrement que peuvent causer les piles et d'implémenter ce niveau système sans trop de problèmes. L'étanchéité du mécanisme devra être repensée en rajoutant des joints aux interfaces. Le changement des piles sera alors une action simple ne nécessitant pas un grand effort de la part de l'utilisateur.



Figure 37: Compartiment glissant pour piles de télécommandes ¹⁵.

Le problème du système de rails permettant d'assembler certaines pièces entre elles cf. Fig 21 peut être résolu en améliorant la qualité de l'état de surface en jouant sur les paramètres de l'injection (température, moule ...), en optant pour deux matériaux différents à plus faible coefficient de frottement ou bien encore en changeant le mécanisme pour un système à aimants permanents. La dernière solution peut être intéressante sachant que la lampe n'est soumise qu'à son poids principalement qui n'est pas si important d'ailleurs.

Les articulations flexibles pour les accroches de clipsages (snap-fit) se doivent d'être résistantes à la fatigue et aux nombreux cycles d'utilisation. Un moyen d'obtenir plus de longévité au niveau de ces pièces serait d'opter

pour un matériau à haute flexibilité, à rigidité suffisante et à haute élongation, à faible coefficient de frottement.

RESIN	MODULUS	TENSILE STRENGTH	COEFFICIENT OF FRICTION	FATIGUE STRENGTH	CREEP BEHAVIOR	COST ¹
PBT (polybutylene terephthalate) Ultradur® B4300 G6 BASF	5	4	3	4	4	4
PC (polycarbonate) Lexan®* 3413R *Sabic	3	4	3	4	5	2
PET (polyethylene terephthalate) Petra® 130 BASF	5	5	3	5	4	5
PC/PET (polycarbonate / PET) Xenoy®* 6390 *Sabic	3	3	3	3	4	2
POM (acetal polyoxymethylene) Ultraform® N2200 G53 BASF	4	4	5	4	3	5
ABS (acrylonitrile butadiene styrene) Terluran® GP-22 BASF	1	2	2	2	3	5
PA 66 (polyamide) Ultramid® A 3EG6 BASF	3*	3	4	3	4	4
PA 6 (polyamide) Ultramid® B 3EG6 BASF	3*	3	5	3	4	4
PEI (polyether imide) Ultem®* 2300 *Sabic	4	5	4	5	5	1
PSU (polysulfone) Ultrason® S 2010 G6 BASF	5	5	4	5	5	1
PES (polyethersulfone) Ultrason® E 2010 G6 BASF	3	5	4	5	4	2

*Based on properties at 50% RH

Figure 38: Matériaux potentiels pour systèmes de clipsage⁷.

En examinant le tableau précédent, l'ABS n'est pas nécessairement le meilleur candidat. Nous pourrions utiliser du PC/PET pour atteindre de meilleures performances à un moindre coût par exemple.

4 Étude / Recherche de variantes

Un modèle plus durable et moins polluant en piles usagées pourrait être envisagé en y ajoutant un panneau solaire, à la manière de certaines calculatrices. Indéniablement ceci aurait un effet à la hausse sur le prix du dispositif mais à pondérer avec sa nouvelle durée de vie et le prix des consommables.

Dans le cadre d'une utilisation sportive une réduction de poids ainsi qu'une plus faible résistance à l'air seraient souhaitables. Il pourrait être proposé un système directement intégré au cadre du vélo, par exemple

dans les montants de la roue arrière.

L'intégration de signophiles serait un gage supplémentaire de sécurité. En reprenant les codes routiers, des diodes oranges clignotantes pourraient se fondre dans la lampe pour proposer un tout-en-un.

Il existe déjà certain appareils projetant de chaque côté du vélo des lignes rouges marquant la distance de sécurité au sol à l'usage des automobilistes. Ceci accroît la visibilité tout en marquant l'espace dont le vélo à besoin, pour prémunir de dépassement trop rapprochés mettant en danger le cycliste.



Figure 39: Variante avec projection de lignes latérales¹⁶.

Les variantes pourraient donc inclure des fonctionnalités augmentant encore la sécurité des utilisateurs car c'est le rôle du dispositif. On peut s'inspirer des fonctionnalités présentes sur les motos par exemple et même davantage. Une bonne lampe de vélo indiquerait donc les intentions de l'utilisateur en plus de mieux signaler sa présence.

5 Annexe

5.1 Script *Matlab* utilisé pour les calculs de coûts de production

Deux scripts ainsi qu'une fonction ont été utilisés:

1. *Ultra_extended.m*

```
clc
clear all

'%-----define-----'

n=[1*10^0,1*10^1,1*10^2,1*10^3,1*10^4,1*10^5,1*10^6,1*10^7,1*10^8,1*10^9,1*10^10];

f=[0.1,0.1,0.1,0.1,0.1,0.1,0.1,0.1,0.15,0.95];
m=[0.01,0.002,0.004,0.008,0.003,0.005,0.0001,0.0001,0.0001,0.00001];
crm=[3.5,3.5,4,3.5,3.5,3.5,12,12,10,1.5];
ct=1000*[50,35,45,35,35,45,35,35,4,0];
np=[4,12,6,6,6,4,6,12,36,1]*8760/6;
L=[0.125,0.125,0.125,0.125,0.125,0.125,0.125,0.125,0.5,0.2];
cc=[50000,50000,50000,50000,50000,50000,50000,50000,25000,30000];
two=[5,5,5,5,5,5,5,5,5,5]*365*24;
cohp=[10,1,1,1,1,1,1,1,5,15];

ccost=zeros(length(n),length(f));
cc_matiere=zeros(length(n),length(f));
cc_outil=zeros(length(n),length(f));
cc_equip=zeros(length(n),length(f));
cc_autre=zeros(length(n),length(f));

'%-----calculate-----'

vcost=linspace(1,length(n),length(n));

for i=1:length(f)

    for j=1:length(n)

        [cost,c_matiere,c_outil,c_equip,c_autre]=fcost(n(j),f(i),m(i),crm(i),ct(i),np(i),L(i),cc(i),two(i),cohp(i)));

        ccost(j,i)=cost;
        cc_matiere(j,i)=c_matiere;
        cc_outil(j,i)=c_outil;
        cc_equip(j,i)=c_equip;
        cc_autre(j,i)=c_autre;

    end

end

'%-----calcul des couts totaux par ligne---'
```

```

tpccost=zeros(1,length(n));
tpcmatiere=zeros(1,length(n));
tpcoutil=zeros(1,length(n));
tpcequip=zeros(1,length(n));
tpcautre=zeros(1,length(n));

for j=1:length(n)
    for i=1:length(f)
        tpccost(j)=tpccost(j)+ccost(j,i);
        tpcmatiere(j)=tpcmatiere(j)+cc_matiere(j,i);
        tpcoutil(j)=tpcoutil(j)+cc_outil(j,i);
        tpcequip(j)=tpcequip(j)+cc_equip(j,i);
        tpcautre(j)=tpcautre(j)+cc_autre(j,i);
    end
end

'end success'

close all
loglog(n,tpccost,'LineWidth',2)
grid on
hold on
loglog(n,tpcmatiere)
loglog(n,tpcoutil)
loglog(n,tpcequip)
loglog(n,tpcautre)
legend('cout total','cout matiere','cout outillage','cout equipement','cout autre')
xlabel('nombre de pieces produites')
ylabel('prix de revient d\'une piece en $')

tpccost(end)

```

2. calcul_cout.m

```

clc
clear all
close all

'%-----define-----'

n=[1*10^0,1*10^1,1*10^2,1*10^3,1*10^4,1*10^5,1*10^6,1*10^7,1*10^8,1*10^9,1*10^10];
vcost=[];

'%-----calculate-----'

for i=1:length(n)
    vcost=[vcost,fcost(n(i))];
end

loglog(n,vcost)
grid on
xlabel('nombre de pieces produites')

```

```
ylabel('prix de revient d''une piece en $')

asymptote=vcost(end)

[cost,c_matiere,c_outil,c_equip,c_autre]=fcost(1*10^9)
cost
```

3. *fcost.m*

```
function [cost,c_matiere,c_outil,c_equip,c_autre]=fcost(n,f,m,crm,ct,np,L,cc,two,cohp)

c_matiere=(1./(1-f)).*m.*crm;
c_outil=(ct./n); %.*(1+floor(n./nt));
c_equip=(1./np).*(1./L).*(cc./two);
c_autre=cohp./np;

cost=c_matiere+c_outil+c_equip+c_autre;

end
```

References

- [1] *Graphique d'identification des polymères*
<https://www.stanmech.com/welding-articles/plastics-identification-flow-chart>
- [2] *Source de l'image:*
<http://french.hdpeblowmoldingmachine.com/sale-4410207-ps-spoon-fork-knife-plastic-injection-moulding-machine-10.html>
- [3] *Mesures des masses*, Les mesures de toutes les masses des pièces ont été réalisées à l'aide d'une balance pesée-lettre. Modèle *Mettler PE 24*. Sa résolution est le gramme. De ce fait, la valeur mesurée a une incertitude de 1 gramme. Il faut noter que pour certaines pièces, la balance affichait toujours zéro. Nous avons donc majoré le poids de la pièce par 1 gramme.
- [4] *Coût d'un moule pour injection plastique*, Le cours de *Physique of Manufacturing I*, le cours de *Matériaux: Polymères et céramiques* nous permettent d'estimer le prix d'un moule. Ainsi que les liens suivants :
https://www.alibaba.com/product-detail/Injection-mould-design-manufacture-professional-plastic_60474981967.html?spm=a2700.7724838.2017115.15.19033e96zg0Wjs&s=p,
https://www.alibaba.com/product-detail/High-quality-P20-718HH-mould-material_60565155499.html?spm=a2700.7724838.2017115.86.19033e96zg0Wjs,
http://www.china-plasticmolding.com/?gclid=EAIaIQobChMI1YnJmN-62wIVA2UZCh3d7w8QEAAYASAAEgKbIVD_BwE,
<http://www.custompartnet.com/estimate/injection-molding/>
NB/ Il est important de noter que la plateforme *Alibaba* regroupe différents fournisseurs et principalement des fabriques, sur un seul site de vente en ligne. En se basant sur ce constat, on peut conclure que les prix généraux sont représentatifs et fiables, car ils proviennent de plusieurs fabriques complètement différentes et indépendantes. De plus, les prix donnés sur ce portail sont toujours exprimés sous forme de fourchette. On choisit de toujours prendre le prix le plus élevé lors de commande de machine ou élément à exemplaire unique. Et de prendre le prix le plus bas lors de commande de pièce en masse tel que la visserie.
- [5] *Revêtement des réflecteurs de lampe par procédé de dépôt de couches minces.*, Voici les différentes sources sur lesquels nous avons permis de penser que ces réflecteurs ont probablement été usinés par dépôt de couches

minces dans des réacteurs de types PVD ou CVD: <https://www.youtube.com/watch?v=L-y8uuzg2eE>;
<https://www.youtube.com/watch?v=bohX0vCazVQ>; <https://www.youtube.com/watch?v=aUNdDOzoxss>;
<https://www.youtube.com/watch?v=JSyaoKaAXOU>.

- [6] *Ordonnance fédérale concernant les exigences techniques requises pour les véhicules routiers*
<https://www.admin.ch/opc/fr/classified-compilation/19950165/index.html>
- [7] *Tableau récapitulatif de matériau potentiels pour systèmes de clipsage*
<https://knowledge.ulprospector.com/1258/pe-snapfit-4/>
- [8] *Estampage & pliage combiné*, D'après l'aide de M. Rafaël Trombert un ami travaillant chez Soprod à Sion, et de quelques-uns de ses collègues, il semble qu'il soit tout à fait possible et courant de produire des pièces en un seul mouvement. De plus, plusieurs vidéos sur Youtube semblent aller dans cette direction:
<https://www.youtube.com/watch?v=aHvcyYXgAe4>
<https://www.youtube.com/watch?v=XX7M8HLqTI4>.
- [9] *Coût d'une presse de production en série*, Ce site internet permet d'avoir une idée du prix d'une presse de ce type : https://www.alibaba.com/trade/search?fsb=y&IndexArea=product_en&CatId=&SearchText=hydraulic+press.
- [10] *Calcul des cadence de production d'une presse*, La cadence de production des presses ont été calculé à partir de la vidéo suivante:<https://www.youtube.com/watch?v=XX7M8HLqTI4>.
- [11] *Estimation du coût d'un réacteur hybride PVD-CVD*, Il est difficile de trouver le prix d'un tel réacteur. Néanmoins, la concordance des liens suivant nous ont permis de définir une estimation:<https://promplace.ru/stanok-dlya-vakuumnogo-napileniya-metalla-kolzer-dgk-36-28007.htm>,
<https://www.prostanki.com/board/item/11219>.
- [12] *Cadence de traitement des pièce dans le réacteur PVD-CVD*, Nos calculs ont été effectués sur la base de la vidéo suivante:<https://www.youtube.com/watch?v=7taUqhmiLwk&t=5s>. De plus, un arrêt sur image à 1 minute 41 secondes permet de lire *30 minuti* concernant le temps de la manœuvre.
- [13] *Estimation du prix de la visserie*, Un synthèse des prix a été effectué à partir de la page suivante: https://www.alibaba.com/trade/search?IndexArea=product_en&CatId=&fsb=y&SearchText=metric+screw
- [14] *Prix de l'assemblage final en magasin*, Le prix du dispositif, vendu sous la marque *Fisher* chez *Jumbo*, était de 6.95 CHF, piles incluses, au 02.06.2018. <https://www.jumbo.ch/fr/lampe-led-a-batterie-3-led-avec-batteries-6961?sku=000000000001309902>.
- [15] *Télécommande universelle infrarouge* <https://www.fabriceroux.com/blog/2013/3/10/une-semaine-avec-livebox-play>
- [16] *Projection de lignes: source de l'image* <https://www.youtube.com/watch?v=bLkGTUPLpd8>