

---

# Rapport du Projet de Reverse-Engineering : L'Interrupteur à Variateur d'Intensité Rotatif

---

## Auteurs

BAHUREL Benjamin	326888
DEMIERRE Gautier	340423
COUYOUMTZÉLIS Romain Nicolas Paul	340933



Groupe 1, Section Microtechnique - BA6

## Résumé

Ce rapport a pour but de présenter les recherches et les résultats d'un travail de rétro-ingénierie effectué sur un produit de notre choix.

Notre choix de produit s'est alors porté sur un interrupteur à variateur d'intensité, produit que l'on peut retrouver dans de nombreux espaces notamment des habitations de particuliers. Il nous a donc semblé intéressant et constructif, dans le cadre du cours, d'étudier un tel objet afin d'en comprendre le fonctionnement ainsi que les subtilités et choix faits quant à sa fabrication.

La première partie de ce rapport sert à faire une première analyse fonctionnelle de l'interrupteur. Cette partie vise aussi à lister les pièces composant notre objet ainsi que la façon dont ces pièces sont interconnectées. On y retrouvera un modèle théorique permettant de mettre en équation le fonctionnement de notre interrupteur à variateur d'intensité. Ce sera aussi l'occasion de dresser un premier cahier des charges spécifiques sur les éléments clés du produit qui sont nécessaires au bon fonctionnement de celui-ci.

La deuxième partie concerne la fabrication de l'interrupteur, comment les pièces le composant sont fabriquées, les procédés utilisés ainsi que la façon dont le produit final est assemblé. Cette partie vise aussi à donner une approximation du coût nécessaire à la réalisation d'un tel objet.

La troisième partie est une partie se voulant un peu plus critique. En effet, le but ici est d'analyser de manière critique notre objet, d'identifier les potentielles sources de défaillance et les moyens envisageables pour y remédier. Enfin, un parallèle avec un objet d'une gamme de prix différente mais répondant au même besoin sera fait à titre de comparaison, afin de voir si certaines des solutions proposées précédemment y sont incorporées.

# Contents

<b>Résumé</b>	<b>2</b>
<b>1 Analyse du produit</b>	<b>4</b>
1.1 Exigences relatives à l'analyse fonctionnelle et aux spécifications du produit . . . . .	4
1.1.1 Description du produit . . . . .	4
1.1.2 Utilisateurs cibles . . . . .	4
1.1.3 Dans quel environnement l'utiliser . . . . .	4
1.1.4 Principe de fonctionnement . . . . .	4
1.2 Cahier des charges . . . . .	4
1.3 Liste des pièces utilisées dans la fabrication du produit . . . . .	5
1.3.1 Diagramme hiérarchique sur la façon dont les parties sont interconnectées . . . . .	5
1.3.2 Liste des pièces . . . . .	6
1.4 Modèle de la fonction principale du produit . . . . .	15
1.5 Analyse détaillée des éléments clés du produit ("cahier des charges spécifique") . . . . .	18
1.5.1 Identification des composants clés pour le fonctionnement du système . . . . .	18
1.5.2 Analyse des besoins en éléments clés . . . . .	18
<b>2 Implémentation</b>	<b>20</b>
2.1 Processus utilisé pour les principaux éléments identifiés dans la partie I . . . . .	20
2.2 Séquence d'assemblage . . . . .	22
2.3 Analyse des coûts . . . . .	26
<b>3 Analyse critique et Variante</b>	<b>28</b>
3.1 Points faibles de la fabrication, source possible de défaillance . . . . .	28
3.2 Suggestion(s) d'améliorations et de mesures correctives possibles . . . . .	28
3.3 Comparaison avec d'autres modèles de conception répondant complètement ou partiellement au même ensemble de spécifications . . . . .	29
<b>4 Conclusion</b>	<b>32</b>
<b>5 Annexe(s)</b>	<b>33</b>
<b>Références</b>	<b>34</b>

# 1 Analyse du produit

## 1.1 Exigences relatives à l'analyse fonctionnelle et aux spécifications du produit

### 1.1.1 Description du produit

Un interrupteur à variateur d'intensité est un dispositif électrique utilisé pour contrôler l'éclairage des luminaires. Il se présente généralement comme un interrupteur normal (mural), mais existe aussi sous d'autres formes, comme des boutons rotatifs, des curseurs ou des télécommandes. Dans notre cas, nous choisissons un variateur rotatif. Ces dispositifs offrent aux utilisateurs la flexibilité de créer différentes ambiances lumineuses, tout en permettant des économies d'énergie lorsque la lumière n'est pas nécessaire à pleine intensité.

### 1.1.2 Utilisateurs cibles

Les variateurs rotatifs pour luminaires sont particulièrement appréciés par les propriétaires de maisons et d'appartements désirant créer une ambiance sur mesure dans leurs espaces de vie. Ils sont également plébiscités par les architectes d'intérieur et les concepteurs d'éclairage. Les espaces commerciaux et les galeries d'art utilisent aussi ces variateurs. Aujourd'hui, les utilisateurs cibles sont de plus en plus des particuliers se souciant du critère d'éco-responsabilité.

### 1.1.3 Dans quel environnement l'utiliser

On retrouve généralement ce type d'interrupteur dans des lieux où des ambiances particulières sont requises notamment dans le domaine suivant : Divertissement (Salles de spectacle, cinémas) ; Arts/Culture (Musées, Galeries d'Art) ; Hôtellerie (Restaurants, Salons). Le variateur rotatif est aujourd'hui devenu plus accessible en terme de prix et s'est généralisé chez les particuliers offrant un contrôle flexible de l'esthétique d'éclairage.

### 1.1.4 Principe de fonctionnement

Un tel variateur ajuste la luminosité des lampes en modifiant la quantité de courant électrique traversant les ampoules. Le bouton rotatif permet à l'utilisateur de régler l'intensité lumineuse en tournant dans un sens ou dans l'autre. Pour cela, un potentiomètre est utilisé afin d'ajuster la résistance, permettant ainsi de modifier la puissance délivrée.

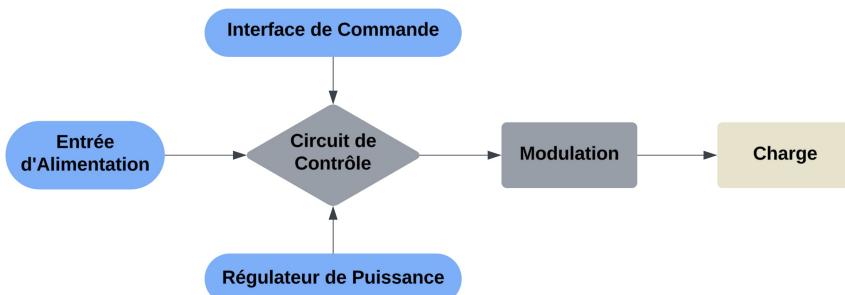


Figure 1: Diagramme de Fonctionnement

## 1.2 Cahier des charges

- FP1 – Contrôle graduel de l'intensité – La variation doit être suffisamment grande et sans discontinuités tout au long de l'utilisation
- C1 – Facilité d'utilisation
- C2 – Facilité d'installation (installation murale)

- C3 – Discrétisation spatiale suivant le type de décoration voulu
- C4 – Matériaux et boîtier résistants dans le but de réaliser l'encapsulation du circuit. Il faut éviter tout risque d'incendie et/ou de court-circuit afin de garantir la sécurité de l'utilisateur.
- C5 – Prix accessible pour la grande distribution
- C6 – Durée de vie importante

### 1.3 Liste des pièces utilisées dans la fabrication du produit

#### 1.3.1 Diagramme hiérarchique sur la façon dont les parties sont interconnectées

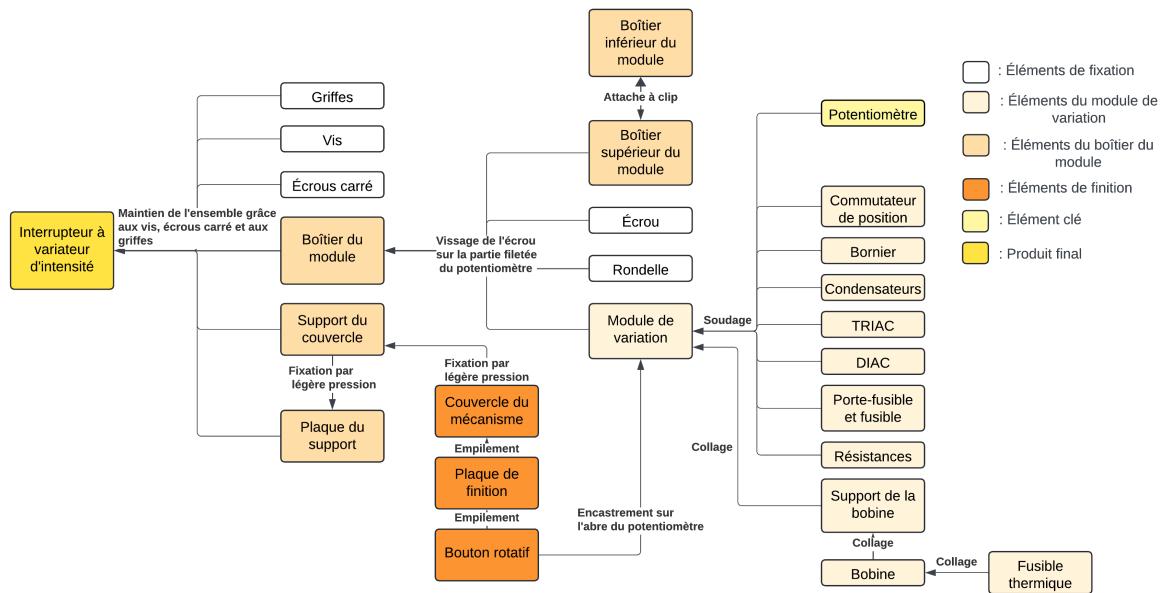


Figure 2: Diagramme hiérarchique sur l'interconnexion des éléments de l'interrupteur

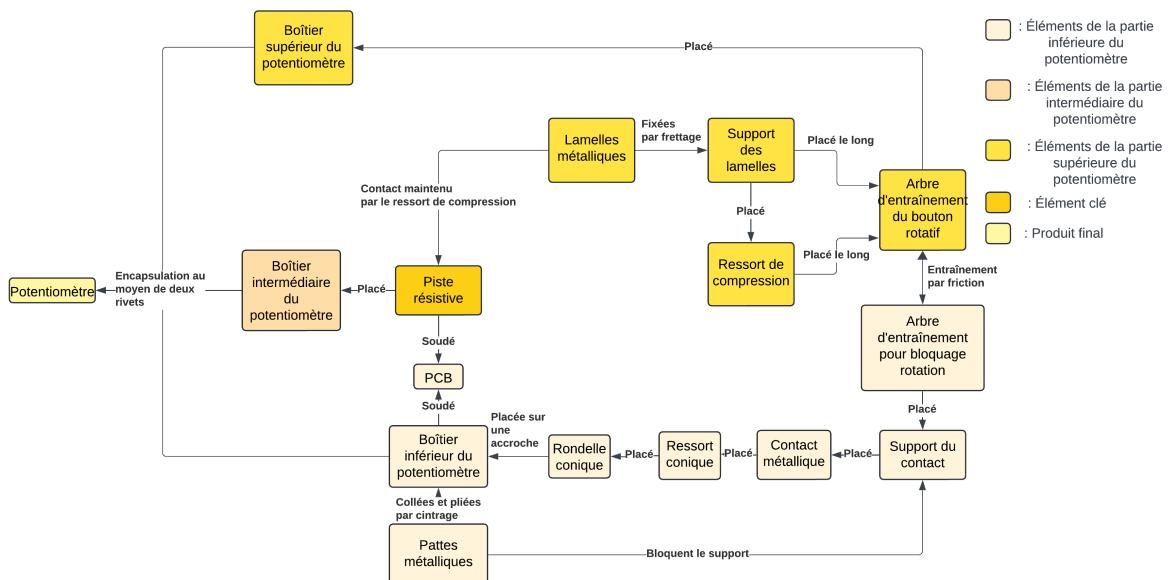
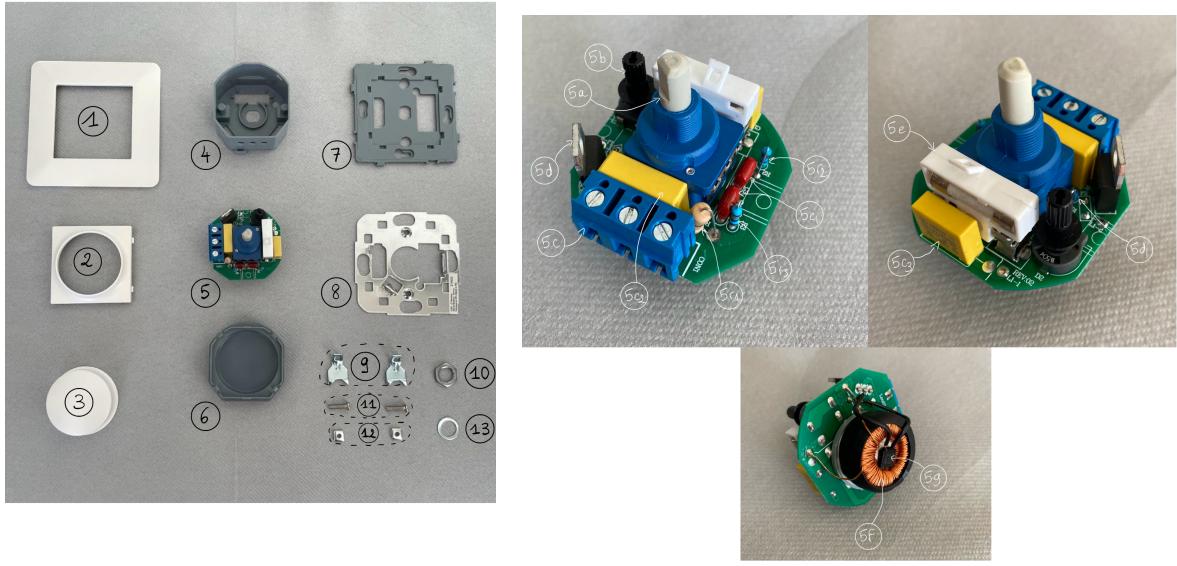


Figure 3: Diagramme hiérarchique sur l'interconnexion des éléments du potentiomètre

### 1.3.2 Liste des pièces

Par soucis de compréhension, nous donnons dans un premier temps plusieurs images qui nous permettent de mieux visualiser les pièces et leur référencement.



(a) Pièces liées au boîtier et à la fixation

(b) Pièces liées au module de variation

Figure 4: Pièces liées au boîtier et fixation ainsi qu'au module de variation



Figure 5: Pièces liées au potentiomètre

### a) Pièces liées au boîtier et à la fixation

<b>Bouton rotatif</b>	Référence : 3
Description	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bouton circulaire avec une encoche dans la partie intérieure</li> </ul>
Fonction spécifique	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Permet à l'utilisateur de choisir un niveau d'intensité</li> </ul>
Matériau	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Classe de matériaux : Polymères</li> <li>- ABS</li> <li>- État de surface : Mat</li> </ul>
Assemblage	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Assemblage : Encastré sur un arbre d'entraînement, maintien par serrage</li> </ul>



<b>Couvercle du mécanisme</b>	Référence : 2
Description	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Plaque carrée avec trou circulaire pour le bouton rotatif</li> <li>- Griffes sur la face arrière utilisées pour l'assemblage</li> </ul>
Fonction spécifique	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Permet de cacher une partie du mécanisme</li> <li>- Pièce purement esthétique</li> </ul>
Matériau	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Classe de matériaux : Polymères</li> <li>- ABS</li> <li>- État de surface : Mat</li> </ul>
Assemblage	Assemblage : Empilé sur le bouton rotatif



<b>Plaque de finition</b>	Référence : 1
Description	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pièce carrée à angles arrondis</li> <li>- Fente carrée pour laisser passer le couvercle du mécanisme</li> </ul>
Fonction spécifique	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pièce purement esthétique qui masque les plaques de support</li> </ul>
Matériau	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Classe de matériaux : Polymères</li> <li>- ABS</li> <li>- État de surface : Mat</li> </ul>
Assemblage	Assemblage : Encastré sur le support du couvercle



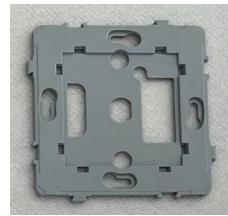
<b>Boîtier inférieur du module de variation</b>	Référence : 4
Description	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Partie inférieure du boîtier avec forme circulaire pour accueillir le module de variation</li> </ul>
Fonction spécifique	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Permet de protéger le module de variation</li> </ul>
Matériau	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Classe de matériaux : Polymères</li> <li>- PP</li> <li>- État de surface : Lisse</li> </ul>
Assemblage	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Assemblage : Accroché à la partie supérieure du boîtier par des griffes</li> </ul>



<b>Boîtier supérieur du module de variation</b>	Référence : 6
Description	- Boîtier de forme quelconque avec multiples trous de divers formes
Fonction spécifique	- Permet de protéger le module de variation
Matériau	- Classe de matériaux : Polymères - PP - État de surface : Lisse
Assemblage	- Assemblage : Le module de variation et la partie supérieure du boîtier sont maintenus ensemble grâce à une rondelle et un écrou vissé sur la partie filetée du module



<b>Support du couvercle</b>	Référence : 7
Description	- Plaque carrée avec de nombreux trous de formes variées
Fonction spécifique	- Permet la fixation et le maintien des différentes parties de finition du produit
Matériau	- Classe de matériaux : Polymères - PP - État de surface : Lisse
Assemblage	- Assemblage : Vissé à la plaque de support et à la partie supérieure du boîtier grâce aux griffes, vis et écrous carré.



<b>Plaque du support</b>	Référence : 8
Description	- Bouton circulaire avec une encoche dans la partie intérieure
Fonction spécifique	- Permet d'aligner le module de variation et le support du couvercle
Matériau	- Classe de matériaux : Métal - Aluminium - État de surface : Lisse
Assemblage	- Assemblage : Vissée à la partie supérieure du boîtier grâce aux griffes, vis et écrous carré. Deux parties sont aussi encastrées dans le boîtier, pour assurer l'alignement des différentes pièces



<b>Griffes</b>	Référence : 9
Description	- Pièce avec une partie pointue en forme de griffes à deux dents. Trou circulaire permettant le passage d'une vis.
Fonction spécifique	- Permet d'aligner le module de variation et le support du couvercle
Matériau	- Classe de matériaux : Métal - Acier inoxydable magnétique - État de surface : Lisse
Assemblage	- Assemblage : Vissé à la plaque de support grâce à une vis et un écrou carré



<b>Écrou</b>	Référence : 10
Description	- Pièce hexagonale avec trou circulaire taraudé
Fonction spécifique	- Permet de maintenir ensemble le module de variation au boîtier du module
Matériau	- Classe de matériaux : Métal - Laiton nickelé - État de surface : Lisse
Assemblage	- Assemblage : Vissé sur la partie filetée du module de variation protégé par une rondelle



<b>Vis</b>	Référence : 11
Description	- Vis filetée à tête ronde, empreinte Philips/Slot combiné
Fonction spécifique	- Permet de fixer le support du couvercle, la plaque de support et le module de variation ensemble
Matériau	- Classe de matériaux : Métal - Acier inoxydable 304 - État de surface : Lisse pour la tête, filetée pour le corps
Assemblage	- Assemblage : Vissé au travers du support du couvercle, de la plaque de support, d'une griffe, d'un écrou carré et enfin dans un trou taraudé du module de variation



<b>Écrous carré</b>	Référence : 12
Description	- Pièce carrée avec trou circulaire taraudé
Fonction spécifique	- Permet d'assurer une bonne fixation des différentes pièces maintenues par des vis
Matériau	- Classe de matériaux : Métal - Acier zingué blanc - État de surface : Lisse



<b>Rondelle</b>	Référence : 13
Description	- Rondelle circulaire avec trou circulaire
Fonction spécifique	- Permet de protéger le boîtier de l'écrou
Matériau	- Classe de matériaux : Métal - Acier inoxydable magnétique - État de surface : Lisse



**b) Pièces liées au module de variation**

<b>PCB</b>	Référence : PCB - voir sur le module de variation
Description	- Plaque de couleur verte avec une forme pseudo-circulaire
Fonction spécifique	- Assurer la liaison électrique des différents composants du circuit
Matériau	- Classe de matériaux : Composite, Métal, Polymère - FR-4 pour le substrat, feuilles de cuivre pour les traces électriques, Prepeg pour la liaison entre les couches

<b>Potentiomètre</b>	Référence : 5a - voir sur le module de variation
Description	Les composants du potentiomètre sont détaillés plus bas
Fonction spécifique	- Contrôler le diviseur de tension responsable de la fonction de variation d'intensité

<b>Commutateur de position</b>	Référence : 5b // Nombre : 1 - voir sur le module de variation
Fonction spécifique	- Permet de changer le mode de fonctionnement de l'interrupteur en fonction de la charge
Matériau	- Classe de matériaux : Polymères - PP pour la partie sur le PCB et PS pour l'arbre
Assemblage	- Assemblage : Soudé sur l'emplacement prévu sur le PCB

<b>Bornier pour connexion câble</b>	Référence : 5c // Nombre : 1 - voir sur le module de variation
Fonction spécifique	- Permet de brancher les différents câbles de la charge au module de variation
Matériau	- Classe de matériaux : Polymères, Métal - PP pour le bornier, acier inoxydable magnétique pour les vis
Assemblage	- Assemblage : Bornier soudé sur le PCB, vis vissées dans le bornier

<b>Condensateurs haute tension CI21</b>	Référence : 5c1 // Nombre : 2 - voir sur le module de variation
Valeurs techniques	- 0.047[ $\mu F$ ]
Fonction spécifique	- Utilisé dans la partie filtrage du circuit électrique
Matériau	- Classe de matériaux : Polymères - Film polyester
Assemblage	- Assemblage : Soudé sur le PCB

<b>Condensateurs CBB62 X2</b>	Référence : 5c2 // Nombre : 1 - voir sur le module de variation
Valeurs techniques	- 0.047[ $\mu F$ ]
Fonction spécifique	- Utilisé dans la partie filtrage du circuit électrique / Élément de sécurité
Matériau	- Classe de matériaux : Polymères - Polypropylène
Assemblage	- Assemblage : Soudé sur le PCB

<b>Condensateurs CBB62 X2</b>	Référence : 5c3 // Nombre : 1 - voir sur le module de variation
Valeurs techniques	- 0.15[ $\mu$ F]
Fonction spécifique	- Utilisé dans la partie filtrage du circuit électrique / Élément de sécurité
Matériau	- Classe de matériaux : Polymères - Polypropylène
Assemblage	- Assemblage : Soudé sur le PCB

<b>TRIAC BTA06-600C</b>	Référence : 5d // Nombre : 1 - voir sur le module de variation
Fonction spécifique	- Utilisé dans le circuit électrique pour réguler l'intensité électrique
Assemblage	- Assemblage : Soudé sur le PCB

<b>DIAC DB3</b>	Référence : 5d1 // Nombre : 1 - voir sur le module de variation
Fonction spécifique	- Utilisé dans le circuit électrique pour réguler l'intensité électrique
Assemblage	- Assemblage : Soudé sur le PCB

<b>Porte-fusible et fusible</b>	Référence : 5e // Nombre : 1 - voir sur le module de variation
Fonction spécifique	- Élément de sécurité pour protéger des court-circuits
Valeurs techniques	- Type de fusible : F2AH / 250V
Matériau	- Classe de matériaux : Polymères - ABS pour le porte-fusible
Assemblage	- Assemblage : Encastré dans le socle soudé sur le PCB

<b>Bobine</b>	Référence : 5f // Nombre : 1 - voir sur le module de variation
Fonction spécifique	- Utilisée dans la partie filtrage du circuit électrique
Valeurs techniques	- 10 [mH]
Matériau	- Classe de matériaux : Métal - Cuivre
Assemblage	- Assemblage : Fils de la bobine soudés sur le PCB et isolés par une gaine isolante Le gros de la bobine est collé à un support en PP collé au PCB

<b>Fusible thermique A8-F AUPO</b>	Référence : 5g // Nombre : 1 - voir sur le module de variation
Valeurs techniques	- 150°C / 2A / 250V
Fonction spécifique	- Utilisé dans la partie sécurité du circuit électrique
Assemblage	- Assemblage : Soudé sur le PCB et isolé par des gaines isolantes

<b>Résistances</b>	Référence : 5r // Nombre : 3 - voir sur le module de variation
Valeurs techniques	- 5r1 : 390[Ohms] - 5r2 : 5100[Ohms] - 5r3 : 10k[Ohms]
Fonction spécifique	- Utilisées dans le circuit électrique
Assemblage	- Assemblage : Soudées sur le PCB

### c) Pièces liées au potentiomètre

<b>Boîtier du potentiomètre</b>	Référence : - 5a1 (partie supérieure) - 5a6 (partie intermédiaire) - 5a12 (partie inférieure) - voir sur le module du potentiomètre
Description	- Boîtier en 3 parties avec des trous circulaires dans certains coins
Fonction spécifique	- Permet de protéger l'intérieur du potentiomètre
Matériau	- Classe de matériaux : Polymères - ABS - État de surface : Lisse
Assemblage	- Assemblage : Partie inférieure soudée au PCB. Les 3 parties sont ensuite maintenues par des rivets

<b>Arbre de transmission</b>	Référence : - 5a2 - 5a7 - voir sur le module du potentiomètre
Description	- 5a2 permet de transmettre la rotation effectuée par l'utilisateur sur le bouton rotatif - 5a7 permet de limiter la rotation à 270°
Fonction spécifique	- Permet de protéger l'intérieur du potentiomètre
Matériau	- Classe de matériaux : Polymères - ABS - État de surface : Lisse
Assemblage	- Assemblage : 5a2 encastré dans la partie supérieure du boîtier. 5a7 est maintenu par un support et est aligné avec le trou de la partie intermédiaire du boîtier

<b>Ressorts</b>	Référence : - 5a3 ressort de compression droit - 5a10 ressort de compression conique - voir sur le module du potentiomètre
Fonction spécifique	- Permettent d'assurer un contact constant entre les différentes parties métalliques du potentiomètre
Matériau	- Classe de matériaux : Métal - Acier à ressort - État de surface : Lisse
Assemblage	- Assemblage : - Pour 5a3, le ressort se glisse le long de 5a2 et appuie sur 5a4 - Pour 5a10, le sommet du ressort vient sur 5a11 et appuie sur 5a8

<b>Supports</b>	Référence : <ul style="list-style-type: none"> <li>- 5a4 support du contact métallique du potentiomètre</li> <li>- 5a9 support pour la limitation angulaire</li> <li>- voir sur le module du potentiomètre</li> </ul>
Description	- Pièce circulaire avec trou central, accroches pour le contact métallique 5a5 Pièce circulaire avec deux trous ronds axialement symétriques sur le pourtour, structure en croix au centre du trou circulaire central
Matériau	- Classe de matériaux : Polymères - HIPS - État de surface : Lisse
Assemblage	- Assemblage : - Pour 5a4, glissé sur l'abre 5a2 et bloqué par la force du ressort droit sur la piste résistive - Pour 5a9, placé sur 5a8 et maintenu contre 5a6 par la force du ressort conique

<b>Contacts métalliques</b>	Référence : <ul style="list-style-type: none"> <li>- 5a5</li> <li>- 5a8</li> <li>- voir sur le module du potentiomètre</li> </ul>
Description	- 5a5 : Pièce circulaire avec trou central circulaire et structures de lamelles, trous pour accroches symétriques axialement - 5a8 : Pièce circulaire avec deux parties circulaires surélevées et un trou central circulaire
Fonction spécifique	- Permettent le bon fonctionnement du potentiomètre dans le circuit électrique
Matériau	- Classe de matériaux : Métal - Acier inoxydable amagnétique - État de surface : Lisse
Assemblage	- Assemblage : Fixés à leurs accroches présentes sur les supports, respectivement 5a4 pour 5a5 et 5a8 pour 5a9

<b>Rondelle d'appui</b>	Référence : 5a11 <ul style="list-style-type: none"> <li>- voir sur le module du potentiomètre</li> </ul>
Description	- Rondelle circulaire légèrement conique avec trou circulaire
Fonction spécifique	- Permet de limiter le frottement entre le ressort et la partie inférieure du boîtier du potentiomètre
Matériau	- Classe de matériaux : Métal - Acier inoxydable magnétique - État de surface : Lisse
Assemblage	- Assemblage : Encastré sur l'accroche circulaire de 5a12

<b>Pattes métalliques</b>	Référence : 5a13 <ul style="list-style-type: none"> <li>- voir sur le module du potentiomètre</li> </ul>
Description	- Pattes de forme coudées
Fonction spécifique	- Permet de limiter la rotation du potentiomètre à 270°
Matériau	- Classe de matériaux : Métal - Acier inoxydable magnétique - État de surface : Lisse
Assemblage	- Assemblage : Soudé au PCB, puis les pattes sont pliés lorsque le support et le contact métallique ont été assemblés

<b>Piste résistive</b>	Référence : 5a14 - voir sur le module du potentiomètre
Description	- Substrat circulaire avec une piste ronde en nickel, des contacts en nickel et une deuxième piste à moitié faite de nickel et d'un mélange carbone/résine
Fonction spécifique d'intensité	- Permet de contrôler le diviseur de tension et donc de contrôler la variation
Matériau	- Classe de matériaux : Métal, polymères - Substrat : papier phénolique - Partie résistive : mélange de carbone et de résine Piste de contact et contacts métalliques : nickel
Assemblage par l'arbre de 5a7	- Assemblage : Contacts soudés au PCB ; Piste placée sur 5a6 et traversée

## 1.4 Modèle de la fonction principale du produit

Comme expliqué précédemment, la fonction principale de notre interrupteur à variateur d'intensité est de contrôler de manière graduelle l'intensité d'une lampe par exemple.

La fonction est en fait réalisée à la fois grâce au circuit électrique implémenté dans le produit et par le potentiomètre utilisé dans celui-ci. Nous ne détaillerons que très brièvement la partie "électrique" sortant du cadre du cours. En effet, pour ce type d'usage il est courant d'utiliser des montages employant un TRIAC et un DIAC, un exemple d'un tel montage est donné ci-dessous pour notre type d'application.

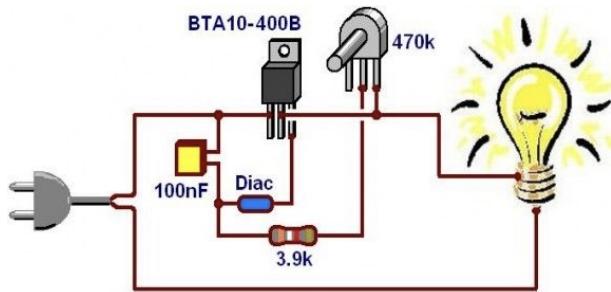
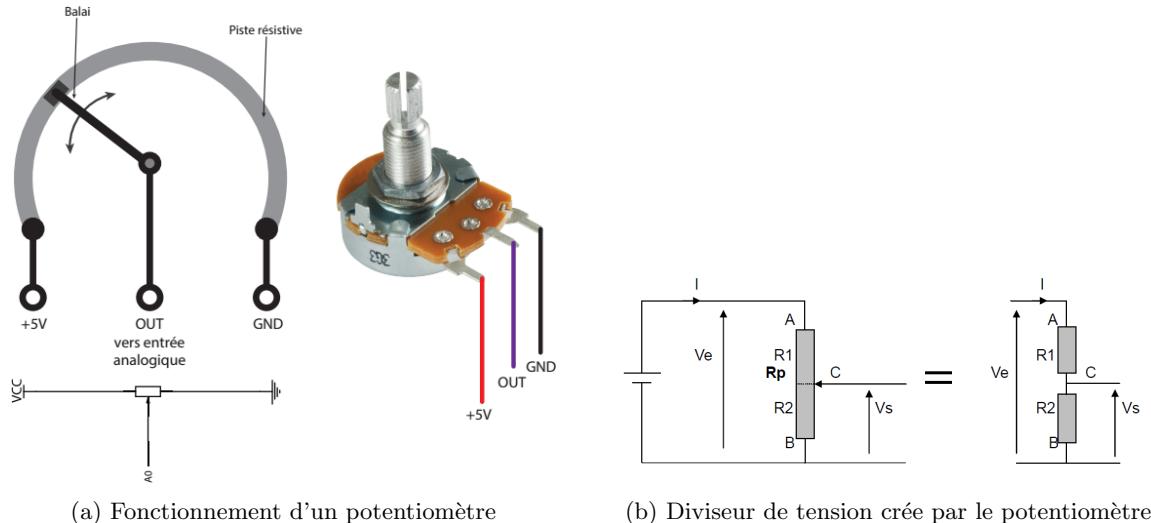


Figure 6: Schéma simple de variateur de lumière à triac

Ce schéma met en évidence l'importance d'expliquer et de modéliser ce qu'il se passe à l'intérieur du potentiomètre. Dans le cas de notre produit, le potentiomètre est constitué d'une piste résistive et d'un balai. Un contact constant entre le balai et la piste permet de créer un diviseur de tension qui va permettre de contrôler une variation de tension en fonction de la position angulaire du balai. Ainsi, la changement de résistance au sein du potentiomètre va induire une variation de tension dans le circuit qui va alors faire varier l'intensité lumineuse de la lampe grâce au montage complet.



Comme on peut le voir sur la photo ci-dessous, le contact entre le balai et la piste résistive est assuré au moyen d'un ressort. De ce fait, la force de rappel induite par le ressort est alors donnée par:

$$F_{ressort} = -k_{ressort} \cdot x \quad (1)$$

avec  $k_{ressort}$  la constante du ressort et  $x$  la position du support par rapport au point d'équilibre du ressort.

De manière à assurer que la résistivité de la piste ne change pas au cours du temps, il faut alors prendre en compte l'usure des différentes pièces. Nous allons ici émettre l'hypothèse que le contact métallique a une plus grande dureté que le carbone de la piste résistive, nous allons donc seulement considérer l'usure de la piste et son impact sur le changement de résistance qui en découle. On obtient donc :

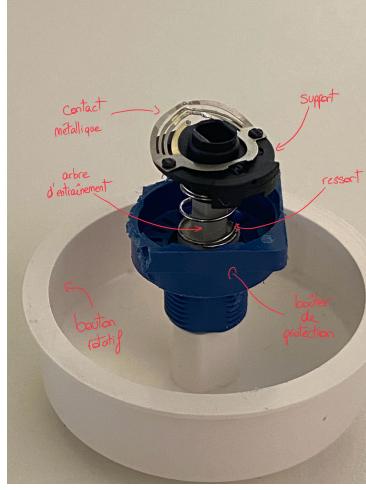


Figure 8: Mise en évidence du ressort appliquant une force sur le support du contact métallique

$$K_{piste} = \frac{V_{usé}}{F_{nominale} \cdot s} \quad (2)$$

avec  $K_{piste}$  le coefficient d'usure de la piste résistive,  $V_{usé}$  le volume de piste perdue à cause de l'usure,  $F_{nominale}$  la force appliquée sur la piste, qui va être remplacée par la force du ressort et  $s$  la distance de glissement.

On peut ensuite réécrire  $K_{piste}$  en fonction de la dureté de la piste :

$$K_{piste} = \frac{V_{usé}}{|F_{nominale}| \cdot s} \Rightarrow \frac{k_{piste}}{H_{piste}} = \frac{V_{usé}}{k_{ressort} \cdot x \cdot s} \quad (3)$$

Puis en réécrivant  $V_{usé}$  et en l'isolant, on a alors :

$$\frac{k_{piste}}{H_{piste}} = \frac{V_{usé}}{k_{ressort} \cdot x \cdot s} \Rightarrow h_{usé} = \frac{k_{piste} \cdot k_{ressort} \cdot x \cdot s}{H_{piste} \cdot A_{piste}} \quad (4)$$

avec  $H_{piste}$  la dureté de la piste,  $k_{piste}$  un coefficient lié au matériau de la piste, et  $A_{piste}$  l'aire de la piste où a lieu l'usure.

Enfin, on peut relier la résistivité de la piste et la hauteur de piste usée :

$$\rho_{piste} = \frac{R_{piste} \cdot A_{piste}}{(h_{piste} - h_{usé})} \Rightarrow \rho_{piste} = \frac{R_{piste} \cdot A_{piste}}{\left( h_{piste} - \frac{k_{piste} \cdot k_{ressort} \cdot x \cdot s}{H_{piste} \cdot A_{piste}} \right)} \quad (5)$$

Il nous est donc possible de réécrire l'expression de  $\rho_{piste}$  en fonction de sa résistivité initiale  $\rho_{0,piste} = \frac{R_{piste} \cdot A_{piste}}{h_{piste}}$  :

$$\rho_{piste} = \frac{R_{piste} \cdot A_{piste}^2 \cdot H_{piste}}{(h_{piste} \cdot H_{piste} \cdot A_{piste} - k_{piste} \cdot k_{ressort} \cdot x \cdot s)} \quad (6)$$

$$\Leftrightarrow \rho_{piste} = \frac{R_{piste} \cdot A_{piste}}{h_{piste}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{-k_{piste} \cdot k_{ressort} \cdot x \cdot s}{h_{piste} \cdot H_{piste} \cdot A_{piste}}} = \rho_{0,piste} \cdot \frac{1}{1 + \frac{-k_{piste} \cdot k_{ressort} \cdot x \cdot s}{h_{piste} \cdot H_{piste} \cdot A_{piste}}} \quad (7)$$

Enfin, il est possible d'effectuer un développement de Taylor de l'expression  $\frac{1}{1+X}$  avec le changement de variable  $X = -\frac{k_{piste} \cdot k_{ressort} \cdot x \cdot s}{h_{piste} \cdot H_{piste} \cdot A_{piste}}$  autour de 0. En effet la valeur  $x = 3.4 [mm]$  de la position au repos du ressort une fois le potentiomètre est suffisamment proche de 0 pour considérer le développement de Taylor de la variable  $X$  autour de 0, et on trouve finalement la formule approximée de  $\rho_{piste}$  :

$$\rho_{piste} \cong \rho_{0,piste} \cdot (1 - X + O(X^2)) \cong \rho_{0,piste} \cdot \left( 1 + \frac{k_{piste} \cdot k_{ressort} \cdot x \cdot s}{h_{piste} \cdot H_{piste} \cdot A_{piste}} \right) \quad (8)$$

où  $s$  est égal au produit du périmètre de la piste et du nombre de balayages.

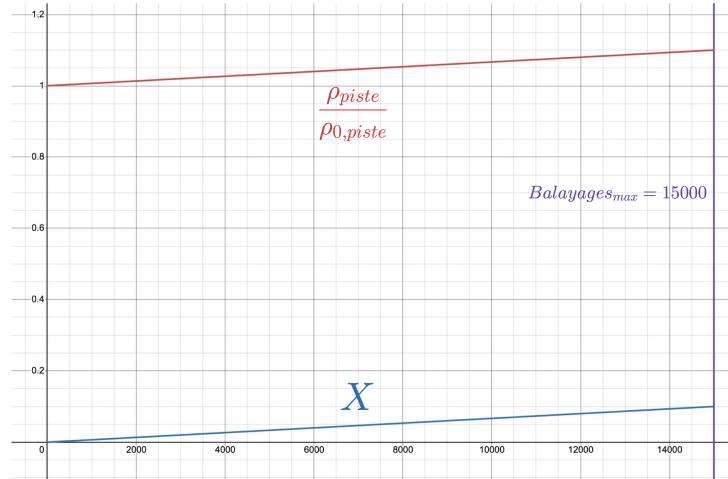


Figure 9: Graphique de la variation relative de la résistivité de la piste par rapport à sa valeur initiale en fonction du nombre de balayages

Pour améliorer la clarification de notre propos, il a été convenu de tracer la courbe  $\frac{\rho_{piste}}{\rho_{0,piste}} = 1 + X$  en rouge et la variable  $X$  en fonction du nombre de balayages effectués avec l'interrupteur. On constate que la résistivité de la piste sera dans le pire des cas, c'est-à-dire au bout de 15'000 balayages, 1.1 fois supérieure à la valeur de la résistivité originelle de la piste. Ceci est dû au fait que la variable  $X$  varie entre 0 et 0.1.

On constate alors que la résistivité de la piste va augmenter au fur et à mesure de son usure. Plus le potentiomètre va être utilisé, plus la résistivité sera grande, ce qui aura une conséquence non négligeable sur le contrôle de l'intensité.

On sait par ailleurs que  $A_{piste}$  et  $h_{piste}$  ne varient pas. Cela nous permet d'établir la relation de la nouvelle valeur de la résistance de la piste  $R_{new,piste}$  :

$$R_{new,piste} = \frac{\rho_{piste} \cdot h_{piste}}{A_{piste}} \quad (9)$$

Pour finir, il est possible d'établir un tableau des valeurs de la résistance de la piste au fur et à mesure de l'usure et donc des balayages :

Nombre de balayages	$X$	$\rho_{piste} [\Omega \cdot m]$	$R_{new,piste} [\Omega]$
0	0	$\rho_{0,piste}$	500'000
1000	0.00667	$1.00667 \cdot \rho_{0,piste}$	503'333
5000	0.0333	$1.0333 \cdot \rho_{0,piste}$	516'667
10000	0.0667	$1.0667 \cdot \rho_{0,piste}$	533'333
15000	0.1	$1.1 \cdot \rho_{0,piste}$	550'000

Table 1: Évolution de la résistance et résistivité de la piste en fonction du nombre de balayages

## 1.5 Analyse détaillée des éléments clés du produit ("cahier des charges spécifique")

### 1.5.1 Identification des composants clés pour le fonctionnement du système

Comme expliqué au point 1.4, la fonction principale de notre interrupteur est réalisée notamment par le potentiomètre intégré dans le module de variation. De ce fait, la plupart des éléments clés se situe donc à l'intérieur même de ce potentiomètre, puisque ce sont ceux-ci qui vont être responsables du bon fonctionnement du variateur.

Une partie de ces pièces est utilisée pour contrôler la progressivité de la variation d'intensité, tandis que le reste sert à limiter la variation angulaire que le bouton peut réaliser, à savoir  $270^\circ$ . Cette limite est fixée car la plupart des pistes résistives ne sont pas circulaires mais réalisent seulement un arc de cercle de  $270^\circ$ .

Un tableau récapitulant les éléments clés du variateur est présenté ci-dessous :

Nom des éléments	Fonction
Arbre d' entraînement 5a2	Permet de transmettre la rotation du bouton effectuée par l'utilisateur
Support de la lamelle 5a4	Assure le maintien des lamelles sur l'arbre d' entraînement du bouton rotatif
Lamelle métallique 5a5	Créer le contact électrique entre la piste en carbone et la piste métallique conductive du potentiomètre
Ressorts 5a3 et 5a10	Maintient les lamelles en contact avec la piste résistive ainsi que le contact avec les pattes métalliques
Piste résistive 5a14	Permet de faire varier le diviseur de tension responsable de la variation d'intensité lumineuse en fonction de la position des lamelles métalliques
Contact 5a8 et pattes métalliques 5a13	Permettent de limiter la rotation angulaire possible du bouton à $270^\circ$
Support du contact 5a9	Assure le maintien du contact avec les pattes métalliques au moyen du ressort conique

Table 2: Tableau résumant les éléments clés qui assure la fonction principale

### 1.5.2 Analyse des besoins en éléments clés

**L'arbre d' entraînement** 5a2 se doit de résister à des fortes contraintes de torsion exercées dans un cas où l'utilisateur continuerait de vouloir tourner le bouton alors que l'angle de  $270^\circ$  possible a déjà été balayé. Une partie de l'arbre étant usinée afin d'être assemblée avec le bouton poussoir par frettage, le processus d'usinage doit être choisi afin que les tolérances le permettent. Enfin, cette pièce appartenant au potentiomètre, elle se doit d'être peu voire pas conductrice afin d'assurer une précision et une performance constante du potentiomètre. Pour **l'arbre d' entraînement** 5a7, les contraintes sont semblables, à la différence que la forme en croix doit être correctement usinée pour transmettre la rotation proprement au support 5a8 où est attaché le contact métallique 5a9. Enfin, comme l'arbre 5a2 entraîne l'arbre 5a7 par friction, le coefficient des deux pièces ne doit pas être trop faible afin d'éviter tout glissement. La contrainte en torsion se calcule grâce à  $\tau = T * r / J$  avec  $\tau$  la contrainte de torsion en MPa, T le couple max appliqué en Nm, r le rayon en m et J le moment quadratique en  $m^4$ .

On trouve alors après des test de résistance en torsion : pour l'arbre 5a2, on a  $\tau_1 = 78.03 \text{ MPa}$  et  $\tau_2 = 62.43 \text{ MPa}$  pour l'arbre 5a7.

Le **support de la lamelle** 5a4 se doit d'être assez robuste pour résister à la force de compression appliquée par le ressort, un module élastique assez élevé est donc attendu pour le choix de matériau de cette pièce. L'usinage se doit d'être aussi suffisamment précis afin que la fixation de la lamelle métallique par frettage soit possible. Enfin, de manière similaire à l'arbre d' entraînement, le matériau se doit d'être peu voire pas conducteur pour éviter toute perturbation électrostatique. Le **support du contact** 5a9 a de nouveau les mêmes contraintes. On peut tout de même rajouter des contraintes d'usinage sur les différentes parties qui accueillent des parties d'autres pièces, nécessitant une certaine attention.

La **lamelle métallique** 5a5 doit répondre à plusieurs critères très importants pour le bon fonctionnement du variateur d'intensité. Elle doit tout d'abord présenter une très bonne conductivité. En effet, la lamelle et la piste résistive sont les deux pièces responsables de la création du diviseur de tension, elles se doivent donc de conduire électriquement de la façon souhaitée pour le bon fonctionnement du variateur. De plus, l'usinage de la lamelle doit faire preuve d'une certaine finesse puisque la géométrie de cette pièce étant assez particulière et complexe, le moindre défaut dans la lamelle pourrait entraîner un mauvais contact voir une absence de contact entre la lamelle et la piste, ce qui n'est pas souhaitable. Enfin, la lamelle doit présenter une résistance à l'usure accrue, un coefficient de frottement faible est donc préférable dans le choix du matériau afin, d'une part, d'augmenter la durée de vie du produit, et d'autre part, d'assurer une performance constante au cours du temps et de l'utilisation du variateur.

Le **ressort** 5a3 a pour but de maintenir la lamelle métallique en contact avec la piste résistive. Le ressort étant un ressort en compression, il va donc exercer une force sur le support pour mettre en contact la piste et la lamelle. De ce fait, il faudra veiller à choisir un ressort de la bonne taille et avec un coefficient de raideur approprié afin d'assurer le contact constant des deux pièces impliquées, sans pour autant que cette force soit trop forte, ce qui pourrait engendrer des déformations sur les pièces, ainsi qu'accélérer l'usure au niveau des différentes pièces. Le **ressort** 5a10 doit, quant à lui, exercer une force pour maintenir le contact métallique 5a8 avec son support 5a9. Les contraintes ici sont les mêmes que pour le ressort 5a3.

Le **contact métallique** 5a8 et les **pattes métalliques** 5a13 sont les pièces qui vont subir des contraintes en cisaillement. Elles doivent donc être suffisamment robustes et avoir un module de cisaillement suffisamment grand pour y résister.

La **piste résistive** 5a14 est un autre élément critique dans la conception du variateur. En effet, des déteriorations au niveau de cette pièce pourrait entraîner des conséquences néfastes sur le bon fonctionnement du produit. La valeur résistive de la pièce doit changer au minimum au cours du temps afin de garder une performance constante. Les pistes doivent donc garder une épaisseur constante malgré une utilisation régulière. Pour ce faire, il faudra donc jongler entre conductivité et résistance à l'usure, afin de trouver un compromis satisfaisant en fonction des performances attendues, ce qu'il est possible de faire en choisissant soigneusement les matériaux constituant la piste résistive.

Ce sont toutes ces exigences qui permettent d'expliquer le choix des matériaux faits pour chaque pièce de l'interrupteur, matériaux que l'on peut retrouver dans le tableau des pièces en 1.3.2.

## 2 Implémentation

### 2.1 Processus utilisé pour les principaux éléments identifiés dans la partie I

Dans cette partie, nous allons traiter des différents processus nécessaires à la fabrication des composants-clés de notre interrupteur à intensité variable.

#### Moulage par injection :

Pour les pièces 1, 5a1, 5a4, 5a6, 5a7, 5a9 et 5a12, le moulage par injection a été le processus utilisé pour usiner ces pièces. En effet, il est possible d'observer des traces d'éjecteurs de taille et en quantité différentes sur chacune de ces pièces. On le voit notamment sur les exemples ci-dessous :

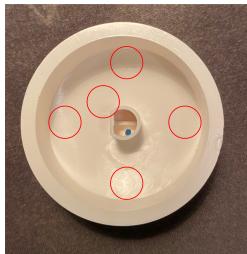


Figure 10: Traces des éjecteurs sur 1



Figure 11: Traces des éjecteurs sur 5a2

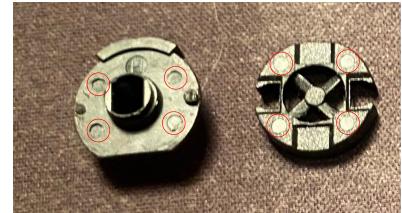


Figure 12: Traces des éjecteurs sur 5a9 et 5a4

Figure 13: Traces des éjecteurs lors du moulage par injection

#### Formage à froid / Enroulement :

Pour les pièces 5a3 et 5a4, les ressorts ont été obtenus après un processus de formage à froid où les fils ont été enroulés autour d'un mandrin afin de leur donner la forme souhaitée.



Figure 14: Ressorts obtenus par formage à froid et enroulement

#### Fraisage / perçage / cintrage :

Pour les pièces 5a5, 5a8 et 5a13, les procédés qui semblent avoir été utilisés sont le fraisage et le perçage. En effet, les détails des pièces ne dépassant pas l'ordre du demi-millimètre et au vu de l'état de surface des pièces, d'autres méthodes comme le découpage laser ou avec jet d'eau semble contre-productives dans ce cas. De plus, les différentes pattes de la pièce 5a13 ont probablement été pliées par cintrage.



Figure 15: Contacts métalliques obtenus par fraisage et perçage

#### Estampage :

La rondelle conique 5a11 semble avoir été produite par estampage. En effet, ce genre de pièces étant communément produit en grande quantité par ce biais et au vu des tolérances peu importantes dans notre application, l'estampage est probablement utilisé ici pour usiner la rondelle conique.



(a) Dessous de la Rondelle conique

(b) Dessus de la Rondelle conique

Figure 16: Rondelle conique réalisée par forgeage

#### Usinage de la piste résistive :

Enfin, en ce qui concerne la piste résistive, l'usinage de celle-ci se fait en plusieurs étapes. Tout d'abord, le substrat isolant fait de papier phénolique est usiné dans la forme souhaitée par estampage. Ensuite, au moyen d'un pochoir et d'un pistolet pulvérisateur, le nickel et un mélange de carbone-polymères sont pulvérisés sur le substrat. Après une étape de séchage dans un four à haute température, on vient souder les contacts métalliques à la piste résistive.

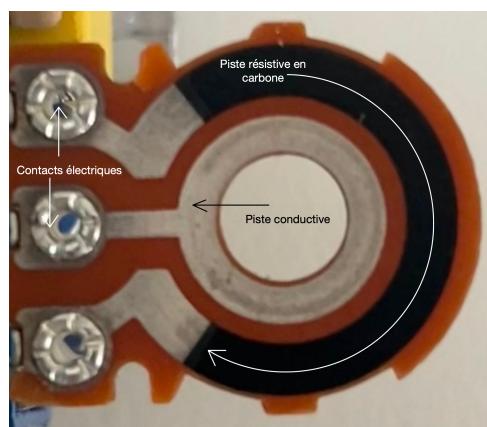


Figure 17: Piste résistive réalisée par usinage

## 2.2 Séquence d'assemblage

Sur la base de l'exercice de démontage de notre interrupteur, nous vous proposons la solution d'assemblage qui nous semble la plus cohérente. Le montage de la partie inférieure du potentiomètre et la partie supérieure peuvent être faite séparément. Une fois, le module de variation assemblé, on peut finaliser l'assemblage du produit complet.

1. On soude tous les composants électriques au PCB.

On passe ensuite à l'assemblage de la partie inférieure du potentiomètre :

2. La partie inférieure du boîtier 5a12 est collé au PCB, puis les pâtes métalliques 5a13 sont insérées et collées dans les espaces prévus à cet effet.



Figure 18: Étape 2

3. L'accroche au fond de 5a12 est graissée et la rondelle d'appuie conique 5a11 est placé dans l'accroche, avec la face creusée qui regarde le plafond.

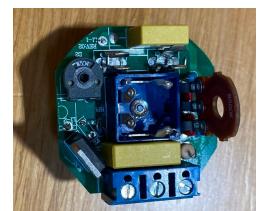


Figure 19: Étape 3

4. On peut ensuite assembler 5a10, 5a8 et 5a9 avant de replier les pattes de 5a13. C'est le contact entre les parties circulaires de 5a13 et 5a8 qui empêchent la rotation entière de l'interrupteur.

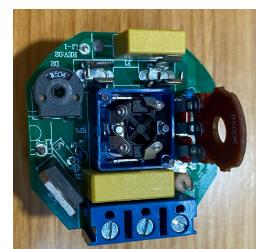


Figure 20: Étape 4

5. On vient ensuite placer la partie en croix de 5a7 dans la partie prévue à cet effet de 5a9, puis on vient fermer ce compartiment avec la partie intermédiaire du boîtier 5a6.

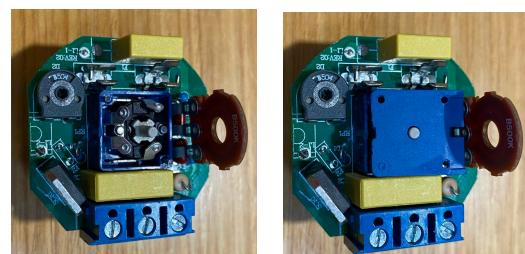


Figure 21: Étape 5

- On peut ensuite placer la piste résistive en alignant l'arbre 5a7 avec le trou central de la piste. On vient ensuite souder les contacts métalliques au PCB.

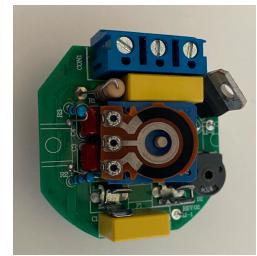


Figure 22: Étape 6

En parallèle, on monte la partie supérieure du potentiomètre :

- On assemble 5a1 et 5a2 en orientant 5a2 comme montré sur l'image X, puis on vient placer le ressort 5a3 le long de l'arbre 5a2.



Figure 23: Étape 7

- On peut ensuite assembler 5a4 et 5a5 en alignant les perçages de 5a5 avec les accroches de 5a4 et les fixer en exerçant une légère pression, sans déformer ou abîmer le contact 5a5.



Figure 24: Étape 8

- On insère alors 5a4 et 5a5 assemblés sur l'arbre 5a2 comme indiqué sur l'image Y.



Figure 25: Étape 9

- Enfin, on peut assembler le potentiomètre, en alignant les deux parties et en venant mettre deux rivets dans les emplacements entourés sur l'image Z.



Figure 26: Étape 10

Une fois le module de variation assemblé, on peut passer à l'assemblage final :

11. On peut alors assembler 4 et 5 en faisant attention à l'alignement des perçages de 4. La fixation se fait au moyen de la rondelle 13 qui est placée le long de la partie filetée de 5, on vient ensuite y visser l'écrou 10 pour assurer le maintien.

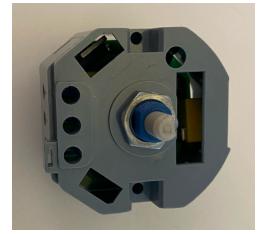


Figure 27: Étape 11

12. On peut alors assembler 4,5 et 6, les accroches de 6 étant flexibles, elles se déforment et viennent se loger dans les encoches prévues dans 4 pour assurer l'assemblage du boîtier.



Figure 28: Étape 12

Une fois le module de variation assemblé, on peut passer à l'assemblage final :

13. On vient ensuite fixer la plaque de support 8 au moyen des deux fixations entourées, sur le boîtier 4. On peut ensuite fixer le support du couvercle 7 sur 8 en respectant le bon alignement et en appliquant une légère pression. Le boîtier et les plaques sont alors maintenus de manière sécurisée grâce aux griffes 9, vis 11 et écrou carré 12 de la manière suivante.



Figure 29: Étape 13

14. On vient enfin encastrer le bouton 1 sur l'arbre 5a2, puis on vient empiler le couvercle du mécanisme 2 et la plaque de finition 3 de telle manière : À noter, que la plaque 3 vient se fixer sur 7 avec une légère pression.



Figure 30: Étape 14

On peut alors évaluer le coût d'assemblage à 0.49085 CHF grâce au tableau récapitulatif suivant :

Labor cost	CHF's	0.001	Components assembly details												Fitting operation analysis (F)						Cost Assembly Y (in CHF)		
Part ref.	Sub-assembly ref	Part description	Assembly process			Handling operation analysis (H)			Fitting operation analysis (F)			Af	P11	P12	P13	P14	P15	P16	$\Sigma$ Pf	Pa	Total fitting (F+H)	Total cost	
			Ah	P01	P02	$\Sigma$ Po	Pg	Total Handling	P11	P12	P13												
5a14		Piste résistive Commutateur position	1	0.5	0.5	1	0	2												0	2	0.002	
5b		Bonnie	1	0	0.5	0.4	1.9													0	1.9	0.0019	
5c		Condensateurs à haute tension	1	0.25	0.5	0	0.75	0.5												0	1.75	0.00175	
5c1		Condensateur CBB62 X2 0.047 $\mu$ F	1	0.25	0.5	1	0.8	3.8												0	3.8	0.0038	
5c2		Condensateur CBB62 X2 0.15 $\mu$ F	1	0.25	0.5	0.4	1.9													0	1.9	0.0019	
5c3		Triac	1	0.25	0.25	0.4	1.9													0	1.9	0.0019	
5d		Diac	1	0.25	0.25	0.5	1	2.5												0	1.5	0.0015	
5d1		Porte-fusible	1	0.5	1	1.5	0	2.5												0	2.5	0.0025	
5e		Bobine	1	0.25	0	0.25	0	1.25												0	1.25	0.00125	
5f		Support Bobine	1	0.25	0	0.25	0	1.25												0	1.25	0.00125	
5g		Fusible thermique	1	0.25	0	0.25	0.4	1.65												0	1.65	0.00165	
1		Colle entre PCB, 5f, 5f1 et 5g	1	0.25	0.25	0.5	1	2.5											0	0.6	15	18.6	0.0186
5f1		Résistance	1	0.25	0.25	0.5	1	2.5											0	0	0	2.5	0.0025
5f2		Résistance	1	0.25	0.25	0.5	1	2.5											0	0	0	2.5	0.0025
5f3		Résistance	1	0.25	0.25	0.5	1	2.5											0	0	0	2.5	0.0025
2		Soudure sur PCB	1	0	0	0	0	34	0	0	8	0	0.8	0	0	8.8	204.5	247.3	247.3	247.3	247.3	0.2473	
PCB		PCB	1	0	0	0	0	4	1.4										0	0	0	1.4	0.0114
5a12		Boîtier inférieur potentiomètre	1	0	0.25	0.25	0	1.25											0	0	0	1.25	0.00125
5a13		Pattes métalliques	1	0	0.5	0.5	0.6	2.1											0	0	0	2.1	0.0021
1		Colle entre 1 et 2	1	0	0	0	0	0	1	0	0.3	0.1	0.1	0	0	0.4	5	6.4	6.4	6.4	6.4	0.0064	
2		Colle entre 3 et 2	1	0.5	0	0	0	0	1	0	0.5	0.3	0.2	0.2	0	2.1	5	8.1	8.1	8.1	8.1	0.0081	
5a11		Rondelle d'appui	1.5	0.5	0	0.5	0.6	2.6										0	0	0	2.6	0.0026	
3		Déposition rondelle	1	0	0	0.5	0	0	0.5	0	0	0.4	0.2	0.2	0	1.1	0	2.1	0.0021	0	0	2.75	0.00275
5a10		Ressort conique	1.5	0.25	0.2	0.45	0.8	2.75										0	0	0	0	0	0
5a18		Contact métallique	1.5	0.5	0	0.5	0.8	2.8										0	0	0	0	0	0
5a19		Support anti-rotation	1	0.25	0.5	0.75	0	1.75										0	0	0	0	0	0
4		Système anti rot	1	0.25	0.5	0.75	0.2	1.95										0	0	0	0	0	0
5a7		Arbre anti-rotation	1	0.25	0.5	0.75	0	1.75										0	0	0	0	0	0
5a6		Boîtier milieu potentiomètre	1	0.25	0.5	0.75	0	2.5										0	0	0	0	0	0
5		Encapsulation syst anti rot	1	0.25	0.5	0.75	0	1.75										0	0	0	0	0	0
5a1		Boîtier supérieur potentiomètre	1	0.25	0.5	0.75	0	1.75										0	0	0	0	0	0
5a2		Arbre de entraînement	1	0.25	0	0.25	0.8	2.05										0	0	0	0	0	0
5a3		Ressort compression	1	0.25	0	0.25	0	2.05										0	0	0	0	0	0
6		Support lamelles métalliques	1	0.5	0.5	1	0	2										0	0	0	0	0	0
5a4		Lamelles métalliques	1.5	0.5	1	1.2	3.7	0										0	0	0	0	0	0
5a5		Fixation lamelle au support	1	0	0	0	0	2.6										0	0	0	0	0	0
7		Insertion support lamelle sur arbre	1	0	0	0	0	1										0	0	0	0	0	0
8		Encapsulation potentiomètre	1	0.25	0.5	0.75	0	1.75										0	0	0	0	0	0
9		Fixation lamelle au support	1	0.25	0	0.25	0	1.25										0	0	0	0	0	0
10		Insertion + Serrage par écrou	1	0.25	0	0.25	0	1.25										0	0	0	0	0	0
11		Encapsulation module	1	0.25	0.5	0.75	0	1.75										0	0	0	0	0	0
12		Support couvercle plaque du support	1	0.25	0.5	0.75	0	1.75										0	0	0	0	0	0
13		Griffes	2	0.25	0.25	0.5	0	2.25										0	0	0	0	0	0
14		Vis	2	0.25	0.25	0.25	0	2.75										0	0	0	0	0	0
15		Écrous à encinquetteage	2	0.25	0.5	0.75	0	2.75										0	0	0	0	0	0
16		Support couvercle	1	0.25	0.5	0.75	0	1.75										0	0	0	0	0	0
17		Plaque du support	1	0	0	0	0	10.4										0	0	0	0	0	0
18		Fixation support couverte au module	1	0	0	0.5	0	3.9										0	0	0	0	0	0
19		Fixation couverte à plaque du support	1	0	0	0	0	12										0	0	0	0	0	0
20		Sécurisation	1	0.25	0.5	0.75	0	1.75										0	0	0	0	0	0
21		Bouton rotatif	1	0.25	0.5	0.75	0	2.15										0	0	0	0	0	0
22		Couvercle du mécanisme	1	0.25	0.5	0.75	0.4	2.15										0	0	0	0	0	0
23		Plaque de finition	1	0.25	0.5	0.75	0	2.15										0	0	0	0	0	0
24		Insertion + Fixation finale	1	0	0	0	0	8.2										0	0	0	0	0	0
25			13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.014
																							0.4985

Figure 31: Estimation du coût d'assemblage réalisé sur Excel

## 2.3 Analyse des coûts

En formulant quelques hypothèses, qui seront précisées ci-dessous, on peut calculer le coût total de production d'un interrupteur à variation d'intensité en utilisant l'équation suivante :

$$C = C_{\text{bought}} + C_{\text{tooling}} + C_{\text{mm}} + C_{\text{assembly}}$$

Variables	Symboles	Unité
Coût total de l'interrupteur	$C$	CHF
Coût pièces achetées à des entreprises tierces	$C_{\text{bought}}$	CHF
Coût machines et moules	$C_{\text{tooling}}$	CHF
Coût matière première	$C_{\text{mm}}$	CHF
Coût main d'oeuvre pour l'assemblage	$C_{\text{assembly}}$	CHF

Selon nos recherches, l'entreprise Zenitech fabrique toutes les pièces en plastique et achète toutes les pièces non plastiques. En premier lieu, il est nécessaire de déterminer le prix d'achat de chaque pièce. Nous avons effectué des recherches sur des sites marchands et voici les prix que nous avons obtenus.

Selon nos recherches, l'entreprise Zenitech fabrique toutes les pièces en plastique et achète toutes les pièces non plastiques. En premier lieu, il est nécessaire de déterminer le prix d'achat de chaque pièce. Nous avons effectué des recherches sur des sites marchands et voici les prix que nous avons obtenus.

On émet 4 hypothèses concernant certains composants, à savoir le PCB, les griffes de fixation et la rondelle :

- Le prix du PCB a été calculé en fonction de l'aire de celui-ci et du prix du FR-4 au m<sup>2</sup>.
- La référence des griffes étant introuvable, le prix a été déterminé en fonction du poids des griffes et du prix de l'acier inoxydable au kilogramme.
- La référence exacte de la rondelle étant introuvable, le prix de celle-ci a été fixé en étudiant le prix de rondelles similaires.
- Pour la plaque de support, le prix a été fixé en comparant de nouveau avec le prix de plaques similaires dans le même secteur d'activité.

À noter que les fiches produit des divers composants sont disponibles dans les références de ce rapport.

Référence pièce	Nom pièce	Prix en CHF
PCB	PCB	0.23
5a	Potentiomètre R16P2S	0.45
5b	Commutateur de position	0.62
5c	Bornier pour connexion câble	0.0892
5c1	Condensateurs CI21 (x2)	0.028
5c2	Condensateur X2 (0.047 uF)	0.143
5c3	Condensateur X2 (0.15 uF)	0.194
5d	TRIAC BTA06-600C	1.845
5d1	DIAC DB3	0.042
5e	Porte-fusible et fusible (x2)	1.67
5f	Bobine	1.56
5g	Fusible thermique A8-F AUPO	0.325
5r1,r2,r3	Résistances	0.49
8	Plaque de support	2
9	Griffes (x2)	0.43
10	Écrou	0.36
11	Vis (x2)	0.116
12	Écrou carré (x2)	0.03
13	Rondelle	0.20

Nous trouvons ainsi un coût total pour les pièces achetées à des entreprises tierces de  $C_{\text{bought}} = 10.8222$  CHF

Maintenant, analysons les pièces manufacturées par Zenitech, pour cela nous allons nous baser sur les hypothèses suivantes :

- L'usine étant situé en Chine nous fixons le salaire horaire au salaire moyen chinois soit 3.6 CHF/h.
- Le nombre de ventes par année est de 300 000 par année.
- On estime que les machines ont une durée de vie de 10 ans, de plus, on considère que les moules sont fait en acier prétraité et peuvent être utilisés sur 100 000 cycles.

Comme toutes les pièces en plastiques sont usinées en moulage par injection nous estimons que l'usine possède 2 machines (une pour chaque type de plastique) ainsi que 7 moules. On suppose qu'avec 7 moules, il arrivent à usiner toutes les pièces du variateur à la même vitesse.

Après étude du marché nous posons le prix des machines à 45000 CHF et celui des moules à 10000 CHF par moule, ainsi pour 10 ans d'exploitation, le prix par pièce revient à :

$$C_{tooling} = \frac{C_t}{n} \cdot (1 + E \cdot \frac{n}{n_t}) \quad (10)$$

Ce qui nous donne :

$$C_{tooling} = \frac{2 * 45000 + 7 * 10000}{300000 * 10} \cdot (1 + 30) = 1.653 \text{ CHF} \quad (11)$$

Maintenant, il nous reste le coût des matières premières de chaque pièce à déterminer. Étant donné que tous les éléments en plastique sont ici moulés/injectés, le volume a été mesuré de manière nette car les pertes de matière lors d'une telle procédure sont minimales. Nous employons donc la formule ci-dessous :

$$C_{mm} = m \cdot C_{rm}$$

Variables	Symboles	Unité
Masse nette	m	kg
Coût matière première par kg	$C_{rm}$	kg/CHF
Coût en matière première de la pièce	$C_{mm}$	CHF

En reprenant les matériaux précisés et en appliquant cette formule, nous obtenons le tableau suivant :

Référence pièce	Matériau	Masse nette [g]	$C_{rm}$ [CHF/kg]	$C_{mm}$ [CHF]
1	ABS	33.76	9	0.3038
2	ABS	7.05	9	0.06345
3	ABS	42.3	9	0.3807
4	PP	61.6	1.48	0.09117
6	PP	49.27	1.48	0.0729
7	PP	38.42	1.48	0.0569

Nous obtenons ainsi un coût total en matière première de  $C_{mm} = 0.96892$  CHF.

Enfin nous pouvons calculer le prix total du variateur d'intensité :

$$C = C_{bought} + C_{tooling} + C_{mm} + C_{assembly} = 10.8222 + 1.653 + 0.96892 + 0.49085 = 13.93497 \text{ CHF}$$

Le variateur d'intensité étant vendu à un prix de 19.58 CHF nous pouvons estimer le bénéfice de Zenitech à au moins 5.64 CHF.

De nombreux coûts n'ont pas été pris en considération dans nos calculs, tels que la recherche et le développement, l'administration et tous les salaires des employés travaillant chez Zenitech, mais ce sont des paramètres qui n'ont pas réellement été abordés dans ce cours. Il est donc supposé que le bénéfice réel de l'entreprise soit beaucoup plus bas que 5.64 CHF.

### 3 Analyse critique et Variante

#### 3.1 Points faibles de la fabrication, source possible de défaillance

Les principaux points faibles concernant notre interrupteur à variation d'intensité sont principalement concentrés sur le module de variation et en particulier le potentiomètre. En effet, celui-ci étant la seule partie mécanique du produit étudié, il est plus susceptible de faire face à certaines défaillances relatives à ce type de composant.

Le premier point faible que nous avons pu constater concernant le potentiomètre est l'usure mécanique, point faible directement lié à la durée de vie du produit que l'on souhaite évidemment la plus longue possible. En effet, plus le potentiomètre va servir et plus le contact entre le balai et la piste résistive va se détériorer à cause des frottements et l'usure mécanique liée à l'utilisation du potentiomètre. On pourrait donc imaginer que les matériaux de la piste ou du balai puissent être changés afin de garantir une plus grande durée de vie.

Le deuxième point faible identifié concerne l'environnement dans lequel l'interrupteur est utilisé. Dans des environnements humides ou poussiéreux, de nouveau, le contact au niveau du potentiomètre peut s'en retrouver affecté et directement impacter ses caractéristiques électriques, ce qui pourrait avoir des conséquences néfastes sur le bon fonctionnement et la continuité de la variation.

Le dernier point faible qu'il est intéressant de soulever est le possible effet de charge que l'on peut retrouver dans le potentiomètre. En effet selon la charge électrique appliquée, la résistance de la piste peut-être modifiée de manière non uniforme. Ceci pourrait à nouveau créer des problèmes dans la réalisation de la fonction principale du produit.

#### 3.2 Suggestion(s) d'améliorations et de mesures correctives possibles

Sur la base de l'analyse effectuée en A, suggérez des idées pour résoudre les problèmes identifiés et / ou pour améliorer la fabrication... En ce qui concerne le problème de l'usure, celui peut être résolu de deux manières : en changeant le matériau de la piste résistive ou en changeant de type de potentiomètre.

Il existe, en effet, plusieurs types de matériaux à piste, ayant chacun leurs points positifs et négatifs. On retrouve les potentiomètres à piste : en carbone, métallique, en plastique conducteur, en film métallique ou en CERMET.

De manière générale, toutes ces options sont plus résistantes à l'usure, en particulier les pistes en cermet qui offrent une durée de vie bien plus longue qu'une piste en carbone. Il serait donc possible de remplacer la piste en carbone de notre variateur par une piste en CERMET afin d'augmenter considérablement la durée de vie du produit, bien que cela se fasse à un certain prix plus important que le carbone.

Pour le second problème, à savoir l'environnement de l'interrupteur et les potentiels problèmes liés à celui-ci comme l'humidité ou la poussière, il pourrait être corrigé en portant une attention particulière à l'encapsulation des éléments critiques du produit. En effet, dans le cas du produit choisi par notre groupe, les boîtiers en polycarbonate ou ABS offre une isolation probablement suffisante mais modeste. Peut-être qu'une conception plus étanche permettrait d'obtenir des variateurs plus performants sur le long terme et moins sujets à des erreurs. Il existe plusieurs possibilités envisageables pour répondre à ce besoin : tout d'abord, en utilisant un joint étanche en silicone ou en caoutchouc autour des parties mobiles du potentiomètre ; en appliquant des revêtements hydrofuges sur les composants internes du variateur ; en concevant un boîtier complètement étanche bien que cela semble complexe pour des résultats réellement significatifs. De nouveau, toutes ces solutions ont forcément un coût qu'il faudra prendre en compte lors de la conception du produit.

Enfin, pour le problème d'effet de charge qui peut arriver au sein d'un potentiomètre, on peut envis-

ager plusieurs solutions comme : l'usage de matériaux dissipatifs comme les plastiques, ce qui est déjà le cas dans le produit étudié ; assurer une mise à la terre correcte et conforme pour limiter au maximum l'effet de charge ; appliquer des revêtements antistatiques sur les composants internes du variateur.

### 3.3 Comparaison avec d'autres modèles de conception répondant complètement ou partiellement au même ensemble de spécifications

L'approche qui sera ici considérée sera celle de la comparaison avec un autre modèle d'interrupteur à variation d'intensité mais plus cher que celui étudié précédemment.

Le modèle que nous avons choisi pour la comparaison est l'interrupteur FEDE SOHO.



(a) Variateur d'intensité, modèle SOHO de la marque FEDE (b) Variateur d'intensité de la marque Zenitech étudié lors de ce projet

La première chose à noter à propos de la comparaison entre ces 2 modèles est l'énorme différence de prix qui les sépare. En effet, le prix d'achat du modèle de chez Zenitech est de 19,54 CHF alors que celui de FEDE est à 215,83 CHF, soit plus d'un facteur 12.

Le but de cette section est donc de voir sur quels éléments ces deux variateurs sont différents et l'impact des mêmes éléments sur le prix final du produit.

La première chose que l'on remarque facilement concerne la différence de finition. D'un côté, une finition en plastique ABS, moins cher et plus facile à produire en grande quantité mais avec une finition basique voire bon-marché. De l'autre côté, pour le modèle de chez FEDE, la partie extérieure de l'interrupteur et le bouton sont faits de laiton avec une finition cuivre brossé, matériau beaucoup plus onéreux mais aussi bien plus joli et agréable à l'oeil et au toucher. La différence s'explique tout d'abord par le prix de la matière première des boîtiers, 6650 CHF/tonne pour le laiton et 900 CHF/tonne pour l'ABS. On peut ensuite facilement imaginer que la différence de finition impacte aussi cette partie responsable de la différence de prix.



(a) Laiton



(b) ABS

En creusant un peu plus, on constate que la deuxième chose qui est responsable de la différence de prix se situe au niveau du potentiomètre utilisé.

Dans le modèle de chez Zenitech, le potentiomètre utilisé est un potentiomètre à piste résistive en carbone. Les potentiomètres à piste en carbone offrent de nombreux avantages, notamment sur leur stabilité au cours du temps, leur faible sensibilité aux variations de température ainsi que leur coût abordable. Néanmoins, ils apportent aussi leur lot d'inconvénients, comme leur sensibilité importante à l'usure et leur manque de précision.



Figure 34: Piste résistive en carbone du modèle de Zenitech

Dans le modèle de FEDE, le potentiomètre utilisé est un potentiomètre à piste résistive CERMET. Les pistes CERMET (Céramique et Métal) sont des pistes de meilleure qualité que les pistes en carbone, mais sont aussi bien plus chères. Ces pistes offrent de nombreux avantages tels qu'une haute précision qui faisait défaut aux pistes en carbone, une bonne stabilité thermique ainsi qu'une meilleure résistance à l'usure que les pistes en carbone et une résistance à la corrosion.

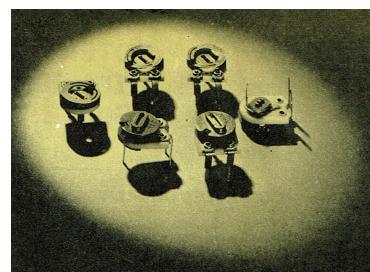


Figure 35: Piste résistive en CERMET

Là où le prix d'un potentiomètre à piste en carbone pour ce type d'application varie entre 1 et 10 CHF, il oscille entre 10 et 50 CHF pour des potentiomètres à piste CERMET en fonction des modèles.

Il est alors aisé de comprendre que le potentiomètre est à prendre en compte lors du choix de produit.

On peut aussi discuter de l'impact de l'encapsulation à la fois du module de variation et celle du potentiomètre. En effet, les potentiomètres et circuits électriques étant sensibles à la poussière et l'humidité, on peut supposer que l'encapsulation du modèle de FEDE est meilleure voire complètement étanche, au vu du prix affiché, ce qui donne un produit final plus performant.

La dernière chose à potentiellement prendre en compte pour expliquer cette différence est analogue à la deuxième raison. En effet, celle-ci concerne les différents composants électroniques utilisés dans le circuit électrique implanté sur le PCB. Il est possible que le design du circuit ainsi que la qualité des composants utilisés influencent la précision et la stabilité du variateur notamment par la génération d'un bruit électrique qui pourrait perturber le changement de variation. Cependant, cette dernière raison reste une hypothèse que nous avons émis en observant le modèle choisi par nos soins et non des faits absolument avérés.

Pour en revenir à la fonction principale de ces deux produits, à savoir contrôler l'éclairage d'une pièce, les deux la remplissent. La proposition de Zenitech est celle d'un produit abordable, à la finition décente mais assez générique et ayant une durée de vie assez limitée. Celle de FEDE est plus chère mais d'une qualité bien supérieure à la finition en plastique de Zenitech et avec une durée de vie incomparable avec l'autre proposition. C'est alors un compromis à faire entre le prix et la durée de vie du produit auquel il faut réfléchir.

## 4 Conclusion

Ce projet nous a offert l'opportunité inédite d'effectuer une analyse exhaustive d'un produit, en explorant en profondeur tous les processus de production mais aussi la réflexion qui les sous-entend. Face à nous-même car sans experts de production, nous avons dû nous appuyer sur les principes enseignés au cours de Manufacturing Technologies et sur notre compréhension des différents procédés, tels que le moulage, l'injection et l'estampage. Notre capacité à identifier ces techniques de fabrication s'est également reposée sur notre bon sens et notre esprit d'analyse face à un exercice de "reverse-engineering" auquel nous n'avions encore jamais été confrontés. Ce dernier nous a donc permis de développer notre esprit critique mais aussi d'apprendre à réfléchir d'une manière différente pour arriver aux termes des attentes.

## **5 Annexe(s)**

Cette partie peut ne pas être nécessaire. Placez ici les informations non-essentielles ou rébarbatives pour la lecture du rapport, mais cependant utiles à connaître pour bien comprendre votre travail.

## Références

Références bibliographiques relatives à vos écrits et remarques.

1. Tableaux pour déterminer les matériaux des pièces en plastique :  
-[https://moodle.epfl.ch/pluginfile.php/3167242/mod\\_page/content/12/Polymer-Periodic%20Table.pdf](https://moodle.epfl.ch/pluginfile.php/3167242/mod_page/content/12/Polymer-Periodic%20Table.pdf)  
-[https://moodle.epfl.ch/pluginfile.php/3167242/mod\\_page/content/12/Plastics\\_identification\\_flow\\_chart.pdf](https://moodle.epfl.ch/pluginfile.php/3167242/mod_page/content/12/Plastics_identification_flow_chart.pdf)  
-[https://moodle.epfl.ch/pluginfile.php/3167242/mod\\_page/content/12/Plastics\\_Identification\\_Flow\\_Chart%202.pdf](https://moodle.epfl.ch/pluginfile.php/3167242/mod_page/content/12/Plastics_Identification_Flow_Chart%202.pdf)
2. Explication résistivité pour le modèle : <https://www.nagwa.com/fr/explainers/636164207926/#:~:text=La%20r%C3%A9sistivit%C3%A9%2C%20F0%9D%9C%8C%20%2C%20du%20mat%C3%A9riaux,est%20la%20longueur%20du%20fil.>
3. Explication tribologie pour le modèle : <https://www.overrc.com/techniques/generalites/tribologie.htm>
4. Évaluation de l'usure par frottement pour le modèle : <https://nanovea.com/fr/evaluation-de-lusure-du-frettage/#:~:text=Le%20taux%20d'usure%20Ka,est%20la%20distance%20de%20glissement.>
5. Fonctionnement et conception potentiomètres :  
-<https://www.electronique-mixte.fr/potentiometre/>  
-[https://www.sonelec-musique.com/electronique\\_theorie\\_potentiometre.html](https://www.sonelec-musique.com/electronique_theorie_potentiometre.html)
6. ABS : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Acrylonitrile\\_butadi%C3%A8ne\\_styrene](https://fr.wikipedia.org/wiki/Acrylonitrile_butadi%C3%A8ne_styrene)
7. Polypropylène : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Polypropyl%C3%A8ne>
8. Carbone amorphe pour piste résistive : <https://syvaco.ch/wp-content/uploads/2022/03/Fiche-explicative-DLC.pdf>
9. Potentiomètre fiche produit: <https://french.alibaba.com/product-detail/Original-Model-16mm-dimmer-pot-500K-1600250151426.html?spm=a2700.7724857.0.0.522b6cd30xQr2V>
10. Commutateur de position fiche produit : [https://fr.made-in-china.com/co\\_chinadaier/product\\_Plastic-Selector-PCB-1-2-3-4-Pole-Rotary-Switches-with-20mm-Handle\\_rgusrseg\\_g.html](https://fr.made-in-china.com/co_chinadaier/product_Plastic-Selector-PCB-1-2-3-4-Pole-Rotary-Switches-with-20mm-Handle_rgusrseg_g.html)
11. Bornier pour câbles fiche produit : [https://www.temu.com/ul/kuiper/un9.html?subj=coupoon-un&bg\\_fs=1&p\\_jump\\_id=895&x\\_vst\\_scene=adg&goods\\_id=601099519858573&sku\\_id=17592230502172&adg\\_ctx=a-d2fc048b-c-660d757b-f-aafe1983&x\\_ads\\_sub\\_channel=shopping&p\\_rfs=1&x\\_ns\\_prz\\_type=-1&x\\_ns\\_sku\\_id=17592230502172&mrk\\_rec=1&x\\_ads\\_channel=google&x\\_gmc\\_account=742384653&x\\_login\\_type=Google&x\\_ads\\_account=5198328713&x\\_ads\\_set=21314472131&x\\_ads\\_id=169520733984&x\\_ads\\_creative\\_id=700272611007&x\\_ns\\_source=g&x\\_ns\\_gclid=EAIAIaIQobChMItcmZhLK8hgMVGT4GAB27TwCSEAQYBSABEgJsEvD\\_BwE&x\\_ns\\_placement=&x\\_ns\\_match\\_type=&x\\_ns\\_ad\\_position=&x\\_ns\\_product\\_id=17592230502172&x\\_ns\\_target=&x\\_ns\\_deviceModel=&x\\_ns\\_wbraid=Cj8KCQjqjeuyBhCPARIuAHduTJr8mTbs9J8kOB43JM1OpbmGscGMi51SSHEjGOTukD70TRbSjt-eAcJlxoCSa8&x\\_ns\\_gbraid=0AAAAAAo4mICEQbrCmbD\\_Nxpc757XdDPEih&x\\_ns\\_targetid=pla-1966373652384&gad\\_source=1&gclid=EAIAIQobChMItcmZhLK8hgMVGT4GAB27TwCSEAQYBSABEgJsEvD\\_BwE](https://www.temu.com/ul/kuiper/un9.html?subj=coupoon-un&bg_fs=1&p_jump_id=895&x_vst_scene=adg&goods_id=601099519858573&sku_id=17592230502172&adg_ctx=a-d2fc048b-c-660d757b-f-aafe1983&x_ads_sub_channel=shopping&p_rfs=1&x_ns_prz_type=-1&x_ns_sku_id=17592230502172&mrk_rec=1&x_ads_channel=google&x_gmc_account=742384653&x_login_type=Google&x_ads_account=5198328713&x_ads_set=21314472131&x_ads_id=169520733984&x_ads_creative_id=700272611007&x_ns_source=g&x_ns_gclid=EAIAIaIQobChMItcmZhLK8hgMVGT4GAB27TwCSEAQYBSABEgJsEvD_BwE&x_ns_placement=&x_ns_match_type=&x_ns_ad_position=&x_ns_product_id=17592230502172&x_ns_target=&x_ns_deviceModel=&x_ns_wbraid=Cj8KCQjqjeuyBhCPARIuAHduTJr8mTbs9J8kOB43JM1OpbmGscGMi51SSHEjGOTukD70TRbSjt-eAcJlxoCSa8&x_ns_gbraid=0AAAAAAo4mICEQbrCmbD_Nxpc757XdDPEih&x_ns_targetid=pla-1966373652384&gad_source=1&gclid=EAIAIQobChMItcmZhLK8hgMVGT4GAB27TwCSEAQYBSABEgJsEvD_BwE)
12. Condensateurs haute tension CI21 fiche produit: <https://french.alibaba.com/product-detail/High-Voltage-Capacitors-CI21-473J-0-1600505490363.html>
13. Condensateur X2 fiche produit: [https://fr.aliexpress.com/item/1005006774517290.html?spm=a2g0o.detail.pcDetailTopMoreOtherSeller.4.665e6wMi6wMiPW&gps-id=pcDetailTopMoreOtherSeller&scm=1007.40050.354490.0&scm\\_id=1007.40050.354490.0&scm-url=1007.40050.354490.0&pvid=0133a050-f68f-49af-ad63-c46352d1a35c&t= gps-id:pcDetailTopMoreOtherSeller,scm-url:1007.40050.354490.0,pvid:0133a050-f68f-49af-ad63-c46352d1a35c,tpl\\_p\\_buckets:668%232846%238107%231934&pdp\\_npi=%40dis%21EUR%211.26%210.99%21%21%211.33%211.05%21%402103872a17170598217824914ed79b%2112000038259732002%21rec%21FR%21%21AB&utparam-url=scene%3ApcDetailTopMoreOtherSeller%7Cquery\\_from%3A](https://fr.aliexpress.com/item/1005006774517290.html?spm=a2g0o.detail.pcDetailTopMoreOtherSeller.4.665e6wMi6wMiPW&gps-id=pcDetailTopMoreOtherSeller&scm=1007.40050.354490.0&scm_id=1007.40050.354490.0&scm-url=1007.40050.354490.0&pvid=0133a050-f68f-49af-ad63-c46352d1a35c&t= gps-id:pcDetailTopMoreOtherSeller,scm-url:1007.40050.354490.0,pvid:0133a050-f68f-49af-ad63-c46352d1a35c,tpl_p_buckets:668%232846%238107%231934&pdp_npi=%40dis%21EUR%211.26%210.99%21%21%211.33%211.05%21%402103872a17170598217824914ed79b%2112000038259732002%21rec%21FR%21%21AB&utparam-url=scene%3ApcDetailTopMoreOtherSeller%7Cquery_from%3A)

14. TRIAC BTA06-600C fiche produit: <https://www.ecomposant.com/fr/triac/1550-2x-triac-bta06-600c-bta06-600-600v-6a-stmicroelectronics-129tri006-3701177910327.html>
15. DIAC DB3 fiche produit: <https://fr.rs-online.com/web/p/diac/9196497>
16. Porte-fusible et fusible fiches produits :
  - <https://www.e44.com/composants/composants-passifs/fusibles-protections/portefusibles/portefusibles-ci/support-fusible-5-20mm-ci-SF5CI.html>
  - [https://www.manomano.fr/fusible-226?model\\_id=11244892&referer\\_id=702620&loc\\_physical\\_ms=1005811&gad\\_source=1&gclid=EAIAIQobChMIj5q4kLS8hgMVY4toCR1rVAAiEAQYAiABEgI\\_7fD\\_BwE](https://www.manomano.fr/fusible-226?model_id=11244892&referer_id=702620&loc_physical_ms=1005811&gad_source=1&gclid=EAIAIQobChMIj5q4kLS8hgMVY4toCR1rVAAiEAQYAiABEgI_7fD_BwE)
17. Fusible thermique A8-F AUPO fiche produit: <https://www.tme.eu/fr/details/a8-f/fusibles-thermiques/aupo/>
18. Bobine fiche produit et fiche technique: [https://fr.aliexpress.com/item/4000621250641.htm?src=google&src=google&albch=shopping&acnt=248-630-5778&slnk=&plac=&mtctp=&albbt=Google\\_7\\_shopping&gclsrc=aw.ds&albagn=888888&isSmbAutoCall=false&needSmbHouyi=false&src=google&albch=shopping&acnt=248-630-5778&slnk=&plac=&mtctp=&albbt=Google\\_7\\_shopping&gclsrc=aw.ds&albagn=888888&ds\\_e\\_adid=&ds\\_e\\_matchtype=&ds\\_e\\_device=c&ds\\_e\\_network=x&ds\\_e\\_product\\_group\\_id=&ds\\_e\\_product\\_id=fr4000621250641&ds\\_e\\_product\\_merchant\\_id=109368102&ds\\_e\\_product\\_country=FR&ds\\_e\\_product\\_language=fr&ds\\_e\\_product\\_channel=online&ds\\_e\\_product\\_store\\_id=&ds\\_url\\_v=2&albcn=19000710609&albag=&isSmbAutoCall=false&needSmbHouyi=false&gad\\_source=1&gclid=EAIAIQobChMI093u-ba8hgMV2kRBAh3U8SFsEAQYCiABEgL8t\\_D\\_BwE&aff\\_fcid=5670de383c8b4b27b8f27b814a9580d4-1717314539193-06199-UneMJZVf&aff\\_fsk=UneMJZVf&aff\\_platform=aaf&sk=UneMJZVf&aff\\_trace\\_key=5670de383c8b4b27b8f27b814a9580d4-1717314539193-06199-UneMJZVf&terminal\\_id=713ceaedec9d4f63a2a4868021e8e6bb&afSmartRedirect=y](https://fr.aliexpress.com/item/4000621250641.htm?src=google&src=google&albch=shopping&acnt=248-630-5778&slnk=&plac=&mtctp=&albbt=Google_7_shopping&gclsrc=aw.ds&albagn=888888&isSmbAutoCall=false&needSmbHouyi=false&src=google&albch=shopping&acnt=248-630-5778&slnk=&plac=&mtctp=&albbt=Google_7_shopping&gclsrc=aw.ds&albagn=888888&ds_e_adid=&ds_e_matchtype=&ds_e_device=c&ds_e_network=x&ds_e_product_group_id=&ds_e_product_id=fr4000621250641&ds_e_product_merchant_id=109368102&ds_e_product_country=FR&ds_e_product_language=fr&ds_e_product_channel=online&ds_e_product_store_id=&ds_url_v=2&albcn=19000710609&albag=&isSmbAutoCall=false&needSmbHouyi=false&gad_source=1&gclid=EAIAIQobChMI093u-ba8hgMV2kRBAh3U8SFsEAQYCiABEgL8t_D_BwE&aff_fcid=5670de383c8b4b27b8f27b814a9580d4-1717314539193-06199-UneMJZVf&aff_fsk=UneMJZVf&aff_platform=aaf&sk=UneMJZVf&aff_trace_key=5670de383c8b4b27b8f27b814a9580d4-1717314539193-06199-UneMJZVf&terminal_id=713ceaedec9d4f63a2a4868021e8e6bb&afSmartRedirect=y)
19. Écrou carré fiche produit: [https://www.bricovis.fr/produit-ecrou-carre-acier-zingue-blanc-din-562-ecrcar562zn/?gad\\_source=1&gclid=EAIAIQobChMIiN6eyN21hgMVG5hoCR3X0Ag\\_EAQYBCABEgL11vD\\_BwE#ECRCAR03/05/05/1.8](https://www.bricovis.fr/produit-ecrou-carre-acier-zingue-blanc-din-562-ecrcar562zn/?gad_source=1&gclid=EAIAIQobChMIiN6eyN21hgMVG5hoCR3X0Ag_EAQYBCABEgL11vD_BwE#ECRCAR03/05/05/1.8)
20. Écrou fiche produit: [https://www.automation24.fr/ecrou-pflitsch-m10x1-210-5?previewPriceListId=1&gad\\_source=1&gclid=EAIAIQobChMI1Mi8h-G1hgMVhQQGAB333QYUEAQYAyABEgL6YfD\\_BwE](https://www.automation24.fr/ecrou-pflitsch-m10x1-210-5?previewPriceListId=1&gad_source=1&gclid=EAIAIQobChMI1Mi8h-G1hgMVhQQGAB333QYUEAQYAyABEgL6YfD_BwE)
21. Vis fiche produit: [https://fr.aliexpress.com/item/1005004054473664.html?src=google&src=google&albch=shopping&acnt=248-630-5778&slnk=&plac=&mtctp=&albbt=Google\\_7\\_shopping&gclsrc=aw.ds&albagn=888888&isSmbAutoCall=false&needSmbHouyi=false&src=google&albch=shopping&acnt=248-630-5778&slnk=&plac=&mtctp=&albbt=Google\\_7\\_shopping&gclsrc=aw.ds&albagn=888888&ds\\_e\\_adid=&ds\\_e\\_matchtype=&ds\\_e\\_device=c&ds\\_e\\_network=x&ds\\_e\\_product\\_group\\_id=&ds\\_e\\_product\\_id=fr1005004054473664&ds\\_e\\_product\\_merchant\\_id=107746567&ds\\_e\\_product\\_country=FR&ds\\_e\\_product\\_language=fr&ds\\_e\\_product\\_channel=online&ds\\_e\\_product\\_store\\_id=&ds\\_url\\_v=2&albcn=19000710609&albag=&isSmbAutoCall=false&needSmbHouyi=false&gad\\_source=1&gclid=EAIAIQobChMIq4bLweS1hgMVJmpBAh1LugfVEAQYGiABEgIHdPD\\_BwE&aff\\_fcid=f2891e2a8646408db558995595b69d9d-1717086321443-04346-UneMJZVf&aff\\_fsk=UneMJZVf&aff\\_platform=aaf&sk=UneMJZVf&aff\\_trace\\_key=f2891e2a8646408db558995595b69d9d-1717086321443-04346-UneMJZVf&terminal\\_id=713ceaedec9d4f63a2a4868021e8e6bb&afSmartRedirect=y](https://fr.aliexpress.com/item/1005004054473664.html?src=google&src=google&albch=shopping&acnt=248-630-5778&slnk=&plac=&mtctp=&albbt=Google_7_shopping&gclsrc=aw.ds&albagn=888888&isSmbAutoCall=false&needSmbHouyi=false&src=google&albch=shopping&acnt=248-630-5778&slnk=&plac=&mtctp=&albbt=Google_7_shopping&gclsrc=aw.ds&albagn=888888&ds_e_adid=&ds_e_matchtype=&ds_e_device=c&ds_e_network=x&ds_e_product_group_id=&ds_e_product_id=fr1005004054473664&ds_e_product_merchant_id=107746567&ds_e_product_country=FR&ds_e_product_language=fr&ds_e_product_channel=online&ds_e_product_store_id=&ds_url_v=2&albcn=19000710609&albag=&isSmbAutoCall=false&needSmbHouyi=false&gad_source=1&gclid=EAIAIQobChMIq4bLweS1hgMVJmpBAh1LugfVEAQYGiABEgIHdPD_BwE&aff_fcid=f2891e2a8646408db558995595b69d9d-1717086321443-04346-UneMJZVf&aff_fsk=UneMJZVf&aff_platform=aaf&sk=UneMJZVf&aff_trace_key=f2891e2a8646408db558995595b69d9d-1717086321443-04346-UneMJZVf&terminal_id=713ceaedec9d4f63a2a4868021e8e6bb&afSmartRedirect=y)
22. Variateur rotatif compatible: <https://www.amazon.fr/Variateur-rotatif-compatible-LED-B1anc/dp/B01NGTTAK2?th=1>
23. Interrupteur à variateur d'intensité ARTEZO de Zenitech (image erronée): <https://www.entrepot-du-bricolage.fr/p/pr-interrupteur-variateur-rotatif-artezo-blanc-zenitech-1072949>
24. Interrupteur à variateur d'intensité SOHO de FEDE : [https://www.archiproducts.com/fr/produits/fede/variateur-d-intensite-en-laiton-soho\\_505260?culture=fr-fr&persistentculture=true&utm\\_source=google&utm\\_medium=paid&utm\\_campaign=feedpaid\\_fr&modal=8&modal=8&utm\\_source=google&utm\\_medium=paid&utm\\_campaign=feedpaid\\_fr&gad\\_source=1&gclid=EAIAIQobChMI0br79eCFhgMVLa9oCR084wJNEAQYAiABEgKeofD\\_BwE#](https://www.archiproducts.com/fr/produits/fede/variateur-d-intensite-en-laiton-soho_505260?culture=fr-fr&persistentculture=true&utm_source=google&utm_medium=paid&utm_campaign=feedpaid_fr&modal=8&modal=8&utm_source=google&utm_medium=paid&utm_campaign=feedpaid_fr&gad_source=1&gclid=EAIAIQobChMI0br79eCFhgMVLa9oCR084wJNEAQYAiABEgKeofD_BwE#)

25. Conception potentiomètre à pister CEMRMET : [https://www.radiocollection.be/fr/MBLE21  
\\_fr.html](https://www.radiocollection.be/fr/MBLE21_fr.html)