



Rapport de DLL - MICRO 332
Semestre de printemps 2021 - BA VI

Conception d'un package pour un capteur de température



Encadrant :

Prof. SUBRAMANIAN Vivek

Auteurs :

BOTHNER Selina	DOS SANTOS Luca
DOUHANE Ambrine	FURST Nelson
JACQUILLAT Audrey	KOHLER Raphael
PILLET Maxime	SCHRAMM Arthur

Table des matières

1	Pré-considérations	3
1.1	Capteur de température de poche sans fil	3
1.2	Assemblage des composants sur le PCB : technique de "pick and place"	3
1.3	Emballage du capteur : fabrication additive	3
2	Méthodes	4
2.1	Fixation de la résistance manquante sur la PCB : procédure pour le "pick and place" .	4
2.2	Conception et fabrication du package	5
2.2.1	Choix des matériaux	5
2.2.2	Choix de la méthode de fermeture	5
2.2.3	Choix du design	6
3	Résultats	7
4	Discussion	8
4.1	Design du package	8
4.2	Performance du PCB	9
5	Conclusion	9

1 Pré-considérations

1.1 Capteur de température de poche sans fil

Les capteurs de température sont intégrés dans de très nombreux produits et touchent divers domaines : du secteur médical, à l'automobile jusqu'au milieu domestique. Afin de les intégrer au mieux à ces objets de la vie courante, ils doivent être sans fils, légers et leur taille doit être minimisée ; c'est pour cette raison que l'utilisation d'un Printed Circuit Board (ou PCB) est largement justifiée dans ce genre d'application. Communément utilisés pour tout types de capteurs, ils permettent de connecter des composants électroniques à une échelle microscopique.

1.2 Assemblage des composants sur le PCB : technique de "pick and place"

La déposition de la résistance sur le PCB a été effectuée en salle blanche. En effet, les composants du PCB étant de très petites tailles, il semble indispensable de travailler dans un environnement adapté, dans lequel la concentration des particules dans l'air est contrôlée. La technique utilisée, appelée "pick and place", est automatisée et assure ainsi une grande précision de placement.

1.3 Emballage du capteur : fabrication additive

Dans notre cas, il a été question de concevoir et fabriquer un emballage pour le capteur en utilisant la technique de fabrication additive et de "Fused Deposition Modeling (FDM)". La fabrication additive a pour avantage premier de pouvoir réaliser des designs complexes qui ne sont pas réalisables, ou plus difficilement, avec les méthodes de fabrication traditionnelles (moulage, fraisage, pliage, etc. ...). De plus, cette technique de fabrication permet de minimiser les délais de production et de réduire considérablement le nombre de pièces, et ainsi de créer des objets qui ne nécessitent pas ou peu d'assemblage. Enfin, une telle technique réduit la quantité de matériaux perdus pour la fabrication, à la différence des techniques de fabrication soustractives.

2 Méthodes

2.1 Fixation de la résistance manquante sur la PCB : procédure pour le "pick and place"

1. Préparation des paramètres de "pick and place" : utilisation de la "MAIN CAMERA"

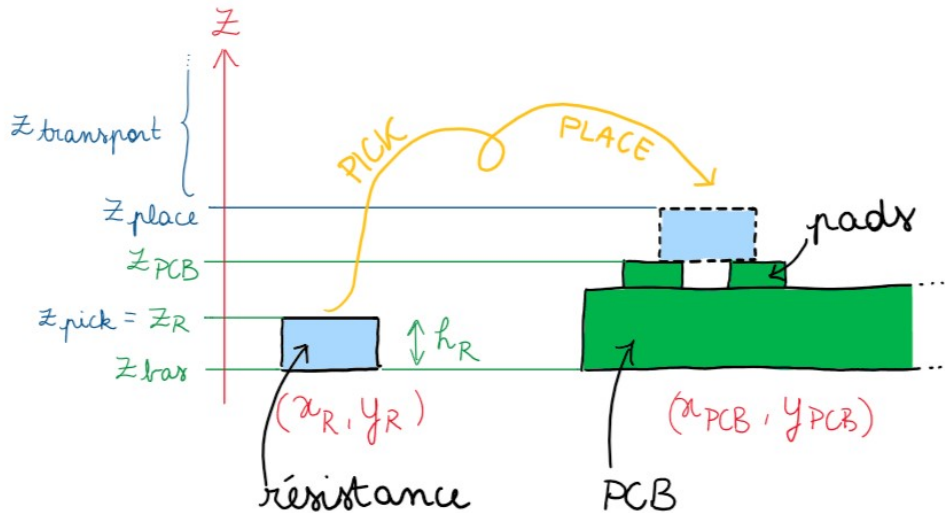


FIGURE 1 – Schéma de la résistance et du PCB, associés à leurs variables mesurées (vert) et calculées (bleu)

- (a) Alignement des composants
- (b) Définition des coordonnées en x et y des positions de "pick" (x_R, y_R) et de "place" (x_{PCB}, y_{PCB})
- (c) Définition de la coordonnée en z des positions de "pick" et de "place"
 - Mesure de la hauteur de la résistance à l'aide du guizmo : $h_R = z_R - z_{bas}$
 - Définition de la coordonnée en z du haut du PCB
 - Calcul de la coordonnée en z de la position de "pick" : $z_{pick} = z_R$
 - Calcul de la coordonnée en z de la position de "place" : $z_{place} = z_{PCB} + h_R$
- (d) Choix des paramètres de déplacement du guizmo depuis le "pick" vers le "place" :
 - Pression de l'air : paramètre responsable de l'aspiration de la résistance (afin de la porter) par le guizmo
 - Coordonnée en z de transport de la résistance dans l'air : $z_{transport}$
 - Vitesse de déplacement : doit être raisonnablement choisie afin de minimiser le temps de la procédure tout en s'assurant que la résistance ne se décroche pas du guizmo lors du transport, à cause d'éventuels frottements avec l'air.

2. Dépôt de la couche d'adhésion

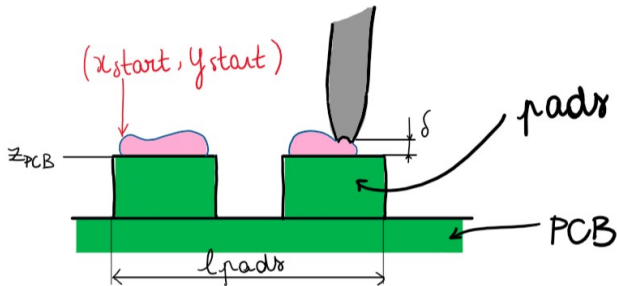


FIGURE 2 – Schéma de la déposition de la couche d'adhésion et des paramètres associés

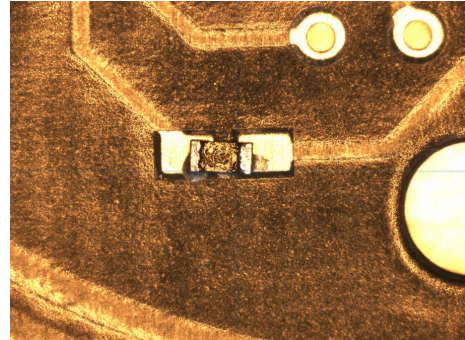


FIGURE 3 – Placement de la résistance sur la couche d'adhésion lors du TP

- Définition des coordonnées en x et y de la position de départ pour la déposition de la couche d'adhésion : (x_{start}, y_{start})
- Mesure de la distance séparant les deux pads : l_{pads}
- Définition de la coordonnée en z à laquelle le guizmo déposera l'adhésif : la coordonnées ne doit pas correspondre exactement à z_{PCB} car cela ne laisserait pas d'espace à l'adhésif pour s'échapper de la pointe du guizmo lors de la déposition. Afin que la déposition soit réussie, une marge δ en hauteur doit être ajoutée.
- Intégration des paramètres choisis dans le "Move code" et lancement de la déposition

3. Exécution et finition

- Lancement du programme d'exécution du "pick and place"
- Vérification
- Finition : le PCB est finalement placé pendant 20 minutes au four à 80°C afin de faire les derniers traitements nécessaires sur la couche adhésive et la rendre meilleure conductrice électrique.

2.2 Conception et fabrication du package

2.2.1 Choix des matériaux

Nous avons décidé d'utiliser de l'Acrylonitrile Butadiène Styrène (ou ABS) plutôt que de l'Acide polylactique (ou PLA) pour deux raisons principales. D'abord, car la chaleur dans la voiture pourrait ramollir le PLA. En effet, le PLA entame sa transition vitreuse à 50°C [6] contre 90°C pour l'ABS [7]. Au delà de cette température, les plastiques passent d'un état solide à un état caoutchouteux. De plus, l'ABS est plus flexible, plus résistant aux chocs et cassures ainsi que plus durable. Dans notre cas, le système « snap-fit » (voir section 2.2.2) qui s'appuie sur la déformation élastique de notre matériau [5] nous a mené au choix de l'ABS afin d'éviter que les « clips » ne se cassent.

2.2.2 Choix de la méthode de fermeture

Nous avons utilisé le système de fermeture snap-fit (ou emboîtement élastique), système souvent rencontré pour des matériaux polymères. Ce système utilise leurs propriétés de déformation élastique, et

il consiste à légèrement plier un cantilever extrudé placé sur une pièce 1 et l'insérer dans un trou d'une pièce 2. L'extrusion, en tant que barrière, empêche alors les deux pièces de se détacher. L'utilisation d'une telle technique d'assemblage évite l'utilisation de vis ou encore d'adhésifs. De plus, elle n'entraîne pas de contraintes internes dans les deux corps accrochés et permet une résistance aux vibrations de l'assemblage. [5]

2.2.3 Choix du design

Nous avons conçu notre système avec 4 clips pour assurer l'assemblage. Le but a été de trouver un compromis entre la fiabilité de la fixation et la complexité de la pièce conçue. Dans l'hypothèse d'une rupture imprévisible d'un des clips au cours de l'utilisation du capteur de température, 3 points d'attache suffiraient à minimiser le jeu et ainsi à maintenir l'assemblage fixe comme souhaité. Leur longueur a été trouvée empiriquement après plusieurs essais effectués afin de trouver la plus optimale. Il est question d'avoir des clips à la fois flexibles et résistants. Le diamètre de l'anneau est déterminé de telle sorte qu'il puisse se fixer par serrage autour de la tige de l'appui-tête d'une voiture et est donc légèrement inférieur à celui de la tige (figure 4).

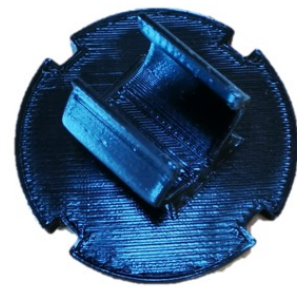


FIGURE 4 – Photo du support du package avec l'anneau pour la fixation

Afin de placer correctement le PCB et de fixer le thermistor face au trou, nous avons fait des petites extrusions dans le couvercle que l'on appelle pin (figure 5). Ces pins font 1.8 [mm] de diamètre, ce qui permet un léger jeu par rapport aux trous du PCB de manière à permettre un montage simple à la main. Nous posons le diamètre du trou sur le couvercle pour le thermistor à 4 [mm] afin que l'entièreté du capteur soit à l'air libre. Nous utilisons le schéma du PCB pour déterminer la position du trou. Le diamètre du couvercle est choisi en se basant sur les dimensions du PCB dont le diamètre est de 32 [mm]. Nous choisissons donc comme rayon intérieur du couvercle 16.5 [mm] afin d'être cohérent avec le jeu laissé sur les pins. Sachant que le PCB et ses composants n'excèdent pas 3 [mm] d'épaisseur, nous prenons 4 [mm] de profondeur pour l'intérieur du package et nous laissons 1 [mm] par précaution.



FIGURE 5 – Photo du couvercle du package (un pin est encerclé)

Afin de répartir au mieux la force de flexion subie par l'anneau lors de l'installation du système sur l'appui tête, des congés entre l'anneau et le support sont prévus. Cela permet également une meilleure adhésion entre l'anneau et le support car la surface de contact est plus grande. La déposition du filament d'ABS se doit d'être dans le bon "sens" pour assurer une meilleure rigidité, c'est-à-dire que les strates doivent être verticales pour éviter que les pins et que les clips se brisent pour une charge trop faible.

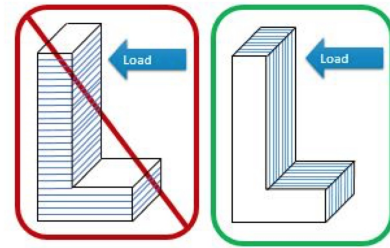


FIGURE 6 – Schéma de l'orientation des strates

3 Résultats

La communication entre le PCB et la "MSPEXP430G2ET board" ne peut pas s'effectuer à plus de 2 [cm] de distance. En considérant aussi le fait que la "MSPEXP430G2ET board" doit constamment être branchée à l'ordinateur, il est difficile d'utiliser le capteur efficacement dans un cas réel. Le tableau 1 montre les différentes mesures effectuées de la température avec le PCB dans des milieux différents où la relation suivante a été utilisée pour la calibration : $T_C = 1.28405 \cdot T_{mesuree} - 79.49626$.

Milieu/objet de la mesure	Température mesurée en °C (avant calibration)	Température en °C (après calibration)
À l'intérieur du bâtiment MED hors du boîtier	82.3	26.2
À l'intérieur du bâtiment MED dans le boîtier	82.7	26.7
Peau	87.9	33.4
Extérieur	74.3	15.9
Sous une tasse d'eau chaude	98.5	47.0
Glaçons	67.1	6.7
Frigo	67.2	6.8
Sèche-cheveux	103.2	53

TABLE 1 – Tableau des mesures de la température effectuées avec le PCB avant et après la calibration

Une différence de mesure est présente selon si nous mesurons à l'intérieur ou à l'extérieur du package. Toutefois, ces variations ne sont ni notables, ni constantes. Nous observons aussi une certaine

fluctuation de température qui peut venir des légères variations de la température dans le temps. (± 0.3 °C). Nous avons également effectué des mesures avec un thermomètre : pour la température en intérieur, nous obtenons 24°C (au lieu de 26.2°C) et pour la température en extérieur, nous avons 15°C (au lieu de 15.9°C). Pour la mesure dans le cas du frigo, nous obtenons 7.2 °C (au lieu de 6.8 °C) et pour le cas du sèche-cheveux, nous avons 49 °C (au lieu de 53 °C). Ces mesures nous ont permis de tracer les courbes présentes en figure 7 et ainsi d'observer la différence entre les valeurs du capteur avec celles d'un thermomètre standard. En comparant ces valeurs, nous constatons que la température mesurée par le PCB est proche de celle donnée par un thermomètre. Les erreurs peuvent venir du thermomètre en lui-même qui a une résolution de 1°C, ou des valeurs données par le PCB qui varient beaucoup dans le temps.

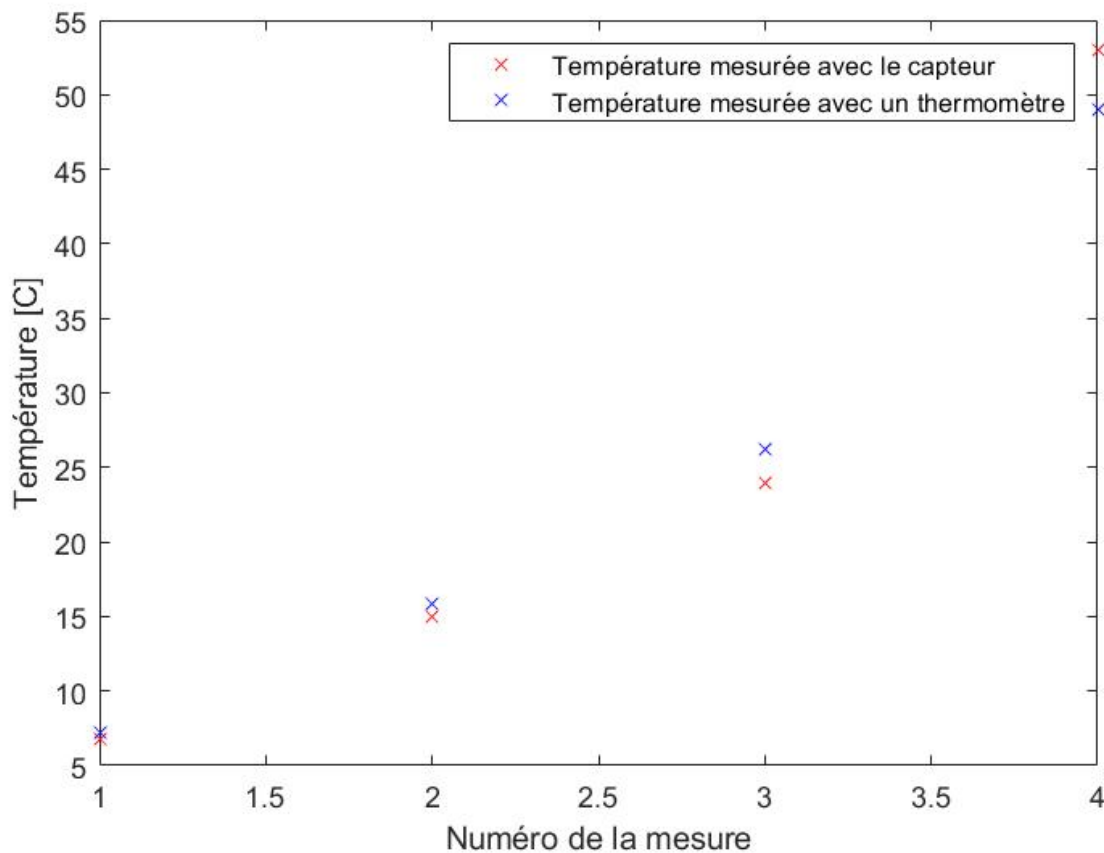


FIGURE 7 – Différence entre les températures mesurées par le capteur et par le thermomètre dans quatre cas différents

4 Discussion

4.1 Design du package

Le procédé d'impression 3D a permis de considérablement réduire le volume de matière utilisé par rapport à un usinage traditionnel. En effet, pour réaliser un design plus ou moins similaire au notre

avec cette seconde méthode, il nous aurait fallu un volume initial de $17.4[cm^3]$ contre $6.42[cm^3]$ pour l'impression 3D (volume de fil utilisé avec un remplissage de 20%). Nous gagnons donc d'un facteur 2.7, et ce, en faisant l'hypothèse que nous disposons de cylindres dans lesquels nous venons travailler la matière. Si nous ne disposons que d'un bloc cubique, le volume de travail passe à $50[cm^3]$, soit 7.8 fois plus de matière qu'en impression 3D ! Nous comprenons alors que ce design est particulièrement adapté à un processus additif. Par contre, si ce design devait être amené à l'étape de production à grande échelle, le choix du procédé de fabrication serait sûrement différent car le temps de mise en oeuvre et l'automatisation devraient entrer en considération.

Une fois le package reçu, nous avons remarqué certaines des limitations de notre design, notamment au niveau des parties censées être élastiques. En effet, le système "snap-fit" et la bague d'accrochage se sont très vite cassés. Le problème vient d'une erreur de communication avec l'assistant en charge de l'impression sur le sens de dépose du fil (voir la section 2.2.3). Celui-ci a été inversé ce qui réduit l'élasticité du mécanisme. En conséquence, les déformations sont reprises par le frottement entre les couches ce qui réduit considérablement les mouvements permis et a finalement conduit à des cassures.

4.2 Performance du PCB

La déposition de l'adhésif s'est déroulée comme prévu mais le "pick and place" de la résistance n'a malheureusement pas marché. L'assistant a donc dû déposer la résistance manuellement mais aucun problème ne semble en avoir résulté. Le capteur fonctionne bien comme souhaité, donc la résistance n'est pas court-circuitée. Bien qu'ayant observé quelques erreurs de précision des mesures au moment des tests, notre design est relativement proche de ce que donne un thermomètre commercial (Hama, Thermo/Hygrometer). Il est difficile de savoir si ces petites imprécisions auraient pu être réduites à l'aide d'une meilleure exécution car nous ne connaissons pas la précision de notre thermomètre de référence.

Il est intéressant de mentionner que la vitesse de réponse de notre PCB est plus rapide que celle du thermomètre commercial. Dans le cadre de notre projet, cette dynamique n'est pas forcément utile mais elle pourrait l'être pour un projet dont l'environnement change rapidement.

5 Conclusion

Le thermomètre répond à nos attentes puisqu'il est suffisamment précis pour l'utilisation que nous en faisons. Notre design de package est fonctionnel, toutefois le modèle imprimé par le TA est trop fragile pour pouvoir se fixer sur un appui-tête. Ce TP nous a permis de nous familiariser avec le fonctionnement des PCB et leur implémentation. De plus, il nous a permis de lier différents domaines abordés lors de nos études, comme la micro-fabrication et la CAO.

Références

- [1] Battery-Less NFC/RFID Temperature Sensing Patch, Texas Instrument (Feb 2016) https://www.ti.com/lit/an/sloa212a/sloa212a.pdf?ts=1609153449779&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Ftool%252FTIDM-RF430-TEMPSENSE
- [2] RF430FRL15xH NFC ISO 15693 Sensor Transponder, Texas Instrument (Dec 2014) https://www.ti.com/lit/ds/symlink/rf430frl152h.pdf?ts=1609126174645&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fproduct%252FRF430FRL152H
- [3] Description and requirements of the course project, Vivek Subramanian (Feb 2021) https://moodle.epfl.ch/pluginfile.php/2883619/mod_resource/content/1/Assignment.pdf
- [4] Building an American Economy to Last : American Competiveness in Manufacturing, John Chu (Aug 2012) <https://www.energy.gov/articles/building-american-economy-last-american-competiveness-manufacturing>
- [5] Snap-fit, Wikipedia (Mar 2021) <https://en.wikipedia.org/wiki/Snap-fit>
- [6] PLA, Wikipedia (Apr 2021) https://fr.wikipedia.org/wiki/Acide_poly lactique
- [7] ABS, Wikipedia (Apr 2021) https://fr.wikipedia.org/wiki/Acrylonitrile_butadiène_styrène
- [8] PLA vs ABS : comparaison des filaments pour imprimante 3D, All3DP (May 2019) <https://all3dp.com/fr/1/pla-vs-abs-comparaison-filament-imprimante-3d/>
- [9] Quel filament choisir? Différences entre le filament PLA et le fil ABS., Prototype 3D (May 2021) <https://prototype3d.fr/fr/content/37-quel-filament-choisir-differences-entre-le-filament-pla-et-le-fil-abs>
- [10] FDM 3D Printing Tips for Designers. Tip 3 – Part Orientation, 3D Print Academy (Nov 2018) <https://www.3dprintacademy.co.uk/fdm-3d-printing-tips-for-designers-tip-3-part-orientation/>