



Le génie pour l'industrie

RAPPORT DE RÉALISATION

Dans le cadre du cours
Projet Spéciale
ELE791-01

Soumis aux responsables

Jean-François Boland
Christian Belleau

Par

David Caron
Benoit Malenfant
Amber Louie

7 novembre 2023

Table des matières

1.	Présentation du projet	3
	Introduction de Rove	3
	Introduction de RoboGuard	3
2.	Fonctionnements	4
	Utilisation de Rove en mission	4
	Problèmes connus et solutions	4
	Performances.....	5
3.	Réalisation	6
	Conception fonctionnelle de RoboGuard.....	6
	Choix de composants	7
	Conception du PCB	18
	Optimisation de la taille du PCB.....	19
	Commande, Durabilité et empreinte carbone du PCB	20
4.	Conformité – Tests et validation	21
	Tests de continuité.....	21
	Intégration et Test du Raspberry Pi avec RoboGuard	22
	Bruit sous les lignes de tensions	24
	Test des thermistances	26
5.	Contrôle de projet.....	28
6.	Évaluation subjective	29
7.	Continuation et conclusion	30
	Continuation	30
	Conclusion	32
8.	Bibliographie.....	33
9.	Annexe	34
	Tableau de composantes :	34
	Schématique de RoboGuard	35
	Photo de RoboGuard – 2D	40
	Photo de RoboGuard – 3D	41

1. Présentation du projet

Introduction de Rove

Rove représente le plus récent des prototypes développés par l'équipe Capra, une avancée majeure dans le domaine de la robotique appliquée aux opérations de recherche et de sauvetage. Pensé pour être robuste, polyvalent et modulaire, Rove est créé afin de fonctionner dans les environnements les plus imprévisibles. Sa conception modulaire, avec le "top box" adaptable et la "base mobile" tout-terrain, permet une grande flexibilité opérationnelle. L'ensemble est optimisé pour répondre aux conditions extrêmes de terrain et de climat que Rove pourrait rencontrer en mission.

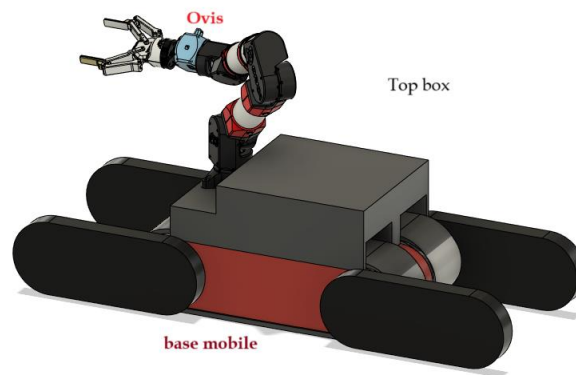


Figure 1 – Modèle de Rove simplifié

La base mobile de Rove est la fondation sur laquelle repose sa polyvalence. Elle est équipée de quatre palmes conçues pour surmonter divers obstacles, ainsi que de deux laves centrales pour permettre une grande mobilité. Le compartiment central rouge représente le cœur de Rove, où se situe le projet RoboGuard. C'est dans ce segment que les batteries, les contrôleurs de moteurs, une caméra, l'antenne, l'ordinateur de bord élémentaire et le bouton d'urgence trouvent leur place, formant ainsi une sorte de système nerveux du robot permettant des fonctions de base.

Introduction de RoboGuard

RoboGuard est le projet en cours qui a pour vocation de renforcer les capacités de sécurité de Rove. Ce système est conçu pour être intégré dans le compartiment central de la base mobile, devenant ainsi le gardien des fonctionnalités vitales du robot. RoboGuard assure une surveillance constante des variables critiques telles que l'humidité interne, la température et le niveau des batteries, tout en facilitant une communication sans faille entre tous les composants de Rove.

2. Fonctionnements

Rove est un robot de recherche et de sauvetage avancé, doté d'une mobilité polyvalente grâce à ses quatre palmes et deux lames centrales qui lui permettent de franchir des obstacles variés. Au cœur de sa conception se trouve un compartiment central qui contient tous les éléments vitaux : des batteries, des contrôleurs de moteur, une caméra, l'antenne pour la communication sans fil, un ordinateur de bord élémentaire, ainsi qu'un bouton d'urgence. La base mobile de Rove intègre le projet RoboGuard pour la surveillance interne, qui veille à la maintenance et à la sécurité opérationnelle en surveillant l'humidité, la température, et le niveau des batteries, tout en coordonnant la communication entre ses sous-systèmes.

Utilisation de Rove en mission

Lors des opérations sur le terrain, Rove est un acteur essentiel. Il est déployé depuis une station de base et peut être contrôlé à distance ou fonctionner en modes autonomes. Sa conception modulaire lui permet d'être équipé pour divers objectifs, notamment la détection de radiation, de gaz, de chaleur, etc., ce qui est crucial pendant les missions.

Surveiller les signes vitaux est essentiel, car cela permet aux opérateurs de s'assurer que Rove fonctionne dans les paramètres optimaux et d'éviter toute défaillance qui pourrait être critique lors d'une mission. Les signes vitaux de Rove, tels que la température interne et le niveau de la batterie, sont des indicateurs de l'état de santé du robot. Ils permettent de détecter les problèmes avant qu'ils ne causent un dysfonctionnement du robot et requièrent une réparation à la suite d'une mission. Cela est particulièrement important dans des situations où l'échec de la machine pourrait mettre en danger des vies humaines ou entraver une mission de sauvetage. Par conséquent, une surveillance constante garantit que Rove reste un outil fiable et efficace pour les interventions d'urgence, capable de naviguer dans des zones à haut risque et de fournir des données vitales aux équipes de sauvetage pour une évaluation rapide et une prise de décision éclairée.

Problèmes connus et solutions

L'expérience avec notre prototype précédent, Markhor, a révélé une série de défis techniques significatifs. Les essais ont montré que Markhor éprouvait des difficultés dans des environnements ardues, notamment face à des terrains avec de fortes élévations, provoquant une sévère augmentation dans la température des moteurs au point de les endommager irréversiblement. De plus, l'absence d'étanchéité limitait les zones dans lesquelles Markhor pouvait opérer. Un autre point faible identifié était l'utilisation de batteries de type « Milwaukee » qui s'avéraient inadéquates pour nos besoins en raison de leur manque de puissance.

En réponse, nous avons apporté d'importantes améliorations à Rove, en le rendant étanche et en substituant ses batteries par des modèles au lithium polymère plus adaptés. Markhor souffrait également d'un manque de système de surveillance de son état, ce qui entraînait parfois son utilisation et pouvait aller jusqu'à l'autodestruction, sans que les opérateurs s'en rendent compte. Il arrivait que Markhor soit retourné avec un moteur hors service et une des six batteries « Milwaukee » endommagée, augmentant ainsi la charge sur les cinq autres.

Pour remédier ces défauts, RoboGuard a été conçu pour surveiller tous les aspects susceptibles d'affecter l'intégrité de Rove.

Performances

La performance de RoboGuard, un composant critique de Rove, se mesure par son efficacité à atteindre les objectifs fixés avec le moins d'intervention humaine possible. Il est crucial d'effectuer des tests pour s'assurer que RoboGuard réagit correctement aux seuils prédéfinis, déclenchant l'arrêt d'urgence du système en cas de nécessité. Si RoboGuard ne parvient pas à activer cet arrêt d'urgence lors de conditions critiques, comme une chute inacceptable de la tension de la batterie, cela signifierait que le composant ne remplit pas sa fonction essentielle. Ainsi, une évaluation exhaustive des différents états opérationnels de RoboGuard est indispensable pour confirmer sa fiabilité dans toutes les situations envisageables lors des missions de Rove.

3. Réalisation

Conception fonctionnelle de RoboGuard

Comme mentionné plus haut, l'ancien prototype de Capra, Markhor, contenait plusieurs faiblesses qui pouvaient mener à son autodestruction. Rove vise à être plus optimisé afin d'éliminer ces erreurs, cependant Capra a appris de ce prototype et veut faire une lecture de l'état de vie du robot. RoboGuard a donc comme objectif de regarder tous les éléments dans le robot qui peuvent le mener à son autodestruction. L'équipe a dressé une liste des éléments qui peuvent mener le robot à sa destruction, voici cette liste :

1. Lecture d'humidité :

Le robot devra être étanche. Lorsqu'il sera utilisé dans un endroit humide, celui-ci devra rester sec à l'intérieur. La sélection d'un capteur d'humidité adéquat devra être faite.

2. Lecture de cellules de batterie :

Le robot sera muni de batteries au lithium-polymère, cela le rend plus à risque d'avoir un feu à l'intérieur suite à une mauvaise utilisation de la batterie ou une défaillance. L'équipe devra trouver un moyen de faire la lecture des cellules afin d'avoir une bonne idée de l'état de la batterie.

3. Lecture du courant de sortie de la batterie :

Une trop grosse quantité de courant de sortie de la batterie pourrait l'endommager. Afin de faire la détection d'une trop grosse sortie de courant, l'équipe devra trouver un moyen de faire la lecture de cette quantité de courant.

4. Lecture de température des moteurs :

La température des moteurs peut monter encore plus facilement que sur l'ancien prototype étant donné que ceux-ci seront placés à l'intérieur du robot et scellés afin de garder une étanchéité. L'équipe devra donc trouver une manière de lire la température des moteurs. De plus, cette manière doit être la moins encombrante possible afin de ne pas encombrer les autres éléments de la base mobile.

5. Lecture de l'état des modules de contrôleur de moteur

Pendant les configurations de PID, il arrive quelquefois que l'équipe logicielle/électrique puisse détruire les contrôleurs de moteurs. Rarement, il arrive aussi d'avoir des erreurs logicielles qui envoient un signal qui pouvait détruire les contrôleurs de moteur. Afin de simplifier le déverminage de Rove, l'équipe devra trouver un moyen de détecter si les contrôleurs de moteurs sont encore fonctionnels.

6. Gestion de l'arrêt d'urgence

L'équipe devra trouver un moyen de faire en sorte que l'arrêt d'urgence arrête toute l'alimentation du robot. Cette décision devra prendre en entrée l'état de RoboGuard, l'état du bouton d'urgence, l'état d'un arrêt d'urgence à distance ainsi que l'état du second ordinateur de bord plus puissant qui sera prochainement dans la « top box ».

7. Communication à distance

L'équipe devra aussi trouver un moyen de faire en sorte que RoboGuard soit capable de communiquer à distance afin d'avoir l'entrée de l'arrêt d'urgence qui est à distance.

8. Petit connecteur/facteur de forme

Afin de réduire le plus possible l'espace utilisé par le projet, l'équipe devra trouver un moyen de rendre le projet avec le plus petit facteur de forme.

Choix de composants

Pour sélectionner judicieusement les composants clés de RoboGuard, l'équipe a élaboré un cadre de sélection stratégique qui a guidé leur prise de décision en alignement avec les exigences de Capra. Ce cadre a pris en compte des critères essentiels tels que le coût, les dimensions, la fiabilité et la complexité de l'utilisation. Voici la liste des problèmes ainsi que les solutions auxquelles l'équipe a pensé :

Lecteur d'humidité

Lecture d'humidité	
Option #1	Capteur intégré dans un composant
Option #2	Capteur externe
Option #3	Capteurs à absorption d'infrarouges (IR)

Capteurs intégrés dans un composant : Un capteur intégré dans un composant est un capteur d'humidité qui est directement incorporé à l'intérieur d'un dispositif ou d'un composant électronique. Ces capteurs sont souvent conçus pour des applications spécifiques et peuvent être utilisés dans diverses industries. Ils mesurent généralement l'humidité relative de l'air ou la teneur en eau dans un matériau. L'avantage de cette option est l'intégration d'un système de communication telle que le I2C qui est souvent utilisé. Il suffit d'appeler une commande afin d'avoir de diverses informations. De plus, ces composants mesurent souvent plus que l'humidité.

Capteurs externes : Un capteur externe est un dispositif séparé qui est placé à l'extérieur du composant ou de la zone que vous souhaitez surveiller pour l'humidité. Ces capteurs sont souvent portables ou montés à l'extérieur des boîtiers pour surveiller l'environnement. Ils peuvent être utilisés de manière polyvalente pour surveiller diverses conditions d'humidité dans différentes applications. Cependant, leur installation nécessite un espace supplémentaire et des câbles pour connecter le capteur au système de mesure. Il serait possible de regarder une accumulation d'eau directement dans le bas du robot en utilisant cette solution.

Capteurs à absorption d'infrarouges (IR) : sont principalement utilisés pour détecter la présence d'eau plutôt que pour mesurer l'humidité relative de l'air. Ces capteurs mesurent l'absorption de l'eau à certaines longueurs d'onde d'infrarouge pour déterminer la quantité d'eau présente dans un matériau ou un environnement donné. Par conséquent, ils sont plus appropriés pour la détection de l'eau que pour la mesure de l'humidité de l'air.

En gardant nos exigences en tête, voici l'évaluation qui a été faite par l'équipe. Prendre note que tout a été évalué sur une note de 0 à 5, 5 étant le meilleur score possible et 0 étant le pire score possible.

Lecture d'humidité				
# Option	1	2	3	4
Coût	4	2	2	--
Dimensions	5	1	1	--
Fiabilité	5	2	2	--
Complexité	3	3	3	--
Total	17	8	8	0

On peut donc voir que le capteur intégré a gagné étant donné qu'il n'est pas typiquement cher chez Digikey (dans les dizaines de dollars) il est très petit, il est fiable une fois bien programmé. L'équipe pourra aussi déterminer si le robot est encore étanche une fois dans des zones plus humides et non seulement détecter la présence d'eau dans le robot. De plus, l'utilisation de circuit intégré pourra mener à la détection d'autres substances dans le robot telle que du gaz.

Lecture de cellules de batterie

Lecture de cellules de batterie	
Option #1	Diviseur de tension analogique
Option #2	Circuit intégré de surveillance de batterie (BMS)
Option #3	Circuit intégré de mesure de tension

Diviseur de tension analogique : Un moyen simple de mesurer la tension d'une batterie est d'utiliser un diviseur de tension constitué de deux résistances. La tension de la batterie est réduite à un niveau plus bas, sûr pour la lecture par un microcontrôleur. La sortie du diviseur de tension est ensuite lue par une entrée analogique du microcontrôleur, et la tension réelle de la batterie est calculée en utilisant une formule mathématique.

$$V_{\text{sortir}} = V_{\text{entrée}} * \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Circuit intégré de surveillance de batterie (BMS) : Les circuits intégrés spécifiques, tels que les BMS, sont conçus pour gérer les batteries Li-Po et peuvent mesurer la tension de chaque cellule de la batterie. Ces circuits intégrés fournissent des mesures précises et sont souvent équipés de fonctionnalités de protection contre les surtensions, les sous-tensions, et la surcharge.

Circuit intégré de mesure de tension : Il existe des circuits intégrés dédiés uniquement à la mesure de la tension. Ces composants peuvent offrir des mesures très précises et sont souvent utilisés avec des microcontrôleurs pour surveiller la tension de certaines traces via des bus I2C, SPI ou une autre interface de communication numérique.

En gardant nos exigences en tête, voici l'évaluation qui a été faite par l'équipe. Prendre note que tout a été évalué sur une note de 0 à 5, 5 étant le meilleur score possible et 0 étant le pire score possible.

Lecture de cellules de batterie				
# Option	1	2	3	4
Coût	5	3	3	--
Dimensions	5	3	3	--
Fiabilité	3	4	4	--
Complexité	4	3	4	--
Total	17	13	14	0

Il est possible de voir que la solution des diviseurs de tension analogiques a été préférée, affichant pratiquement un score sans faille. Cependant, l'inquiétude de l'équipe réside dans la simplicité de l'option, qui n'offre pas de protection. Par conséquent, l'équipe a opté pour cette méthode tout en intégrant des diodes Zener pour sauvegarder l'entrée du microcontrôleur, ainsi qu'un filtre RC pour garantir une mesure de tension plus fiable. Cela n'affecte pas nécessairement la dimension ni le coût de la solution et procure plus de sécurité en l'utilisation de cette option.

Lecture du courant sortie de batterie

Lecture du courant sortie de batterie	
Option #1	Lecture de courant à l'aide de résistance de « mesure »
Option #2	Lecture de courant à l'aide d'un C.I.
Option #3	Lecture de courant à l'aide d'un ampèremètre

Lecture de courant à l'aide de résistance de mesure : La lecture de courant via une résistance de mesure implique l'utilisation d'une résistance de faible valeur placée en série avec le circuit. Le courant traversant le circuit provoque une chute de tension aux bornes de la résistance, qui est proportionnelle au courant en suivant la loi $V = R * I$. Cette tension peut ensuite être mesurée et utilisée pour calculer le courant. L'avantage de cette méthode est sa simplicité et son faible coût. Cependant, la mesure de faibles courants peut être difficile en raison de la petite tension générée.

Lecture de courant à l'aide d'un C.I. : La mesure du courant à l'aide d'un circuit intégré spécialisé offre une solution plus sophistiquée. Ces CI, tels que les amplificateurs de mesure de courant, sont conçus pour détecter et amplifier la faible tension aux bornes d'une résistance de shunt, permettant ainsi une mesure précise du courant. Ces dispositifs peuvent offrir une grande précision, une isolation électrique (dans certains cas), et une facilité d'intégration avec des systèmes numériques. Ils sont idéaux pour des applications nécessitant une grande précision et une facilité de lecture numérique, mais peuvent être plus coûteux que les méthodes simples de résistance de mesure.

Lecture de courant à l'aide d'un ampèremètre : La mesure du courant par détection du champ magnétique implique l'utilisation d'un capteur de courant à effet Hall qui encercle le fil de la batterie. Cette méthode reste relativement invasive et capte le champ magnétique généré par le courant électrique sans nécessiter d'interruption du circuit. La précision de la mesure est liée à la qualité du capteur utilisé.

En gardant nos exigences en tête, voici l'évaluation qui a été faite par l'équipe. Prendre note que tout a été évalué sur une note de 0 à 5, 5 étant le meilleur score possible et 0 étant le pire score possible.

Lecture du courant sortie de batterie			
# Option	1	2	3
Coût	5	3	2
Dimensions	5	4	3
Fiabilité	3	4	2
Complexité	2	4	4
Total	15	15	11

Bien que la résistance de mesure et le circuit intégré aient obtenu le même score, nous préférons le C.I. pour sa compacité et sa facilité d'utilisation. Les C.I. sont petits, optimisant l'espace dans notre dispositif. De plus, leur datasheet détaillée facilite l'intégration et l'utilisation pour tout le monde, en fournissant des instructions précises. Cela accélère le développement et minimise les erreurs. En conclusion, malgré des scores égaux, le C.I. est choisi pour notre projet.

Lecture de température de moteurs

Lecture de température des moteurs	
Option #1	Thermistance
Option #2	Capteur de température à semi-conducteur
Option #3	Capteur de température infrarouge

Thermistance : Une thermistance est un choix courant pour mesurer la température dans des applications embarquées. Sa résistance varie avec la température, permettant une lecture précise. Elle peut être montée sur le PCB et connectée au STM32, qui peut lire la valeur de résistance et la convertir en température. C'est une option économique et assez précise pour des plages de température modérée.

Capteur de température à semi-conducteur : Les capteurs à semi-conducteurs, comme le DS18B20, offrent une bonne précision et facilité d'intégration avec des microcontrôleurs comme le STM32. Ils sont souvent utilisés dans des systèmes embarqués en raison de leur sortie numérique facile à lire et à interpréter par le microcontrôleur.

Capteur de température infrarouge : Pour une mesure sans contact, un capteur de température infrarouge peut être utilisé. Bien que moins commun dans les applications embarquées en raison de sa complexité et de son coût plus élevé, il peut être utile si la mesure directe n'est pas possible. Des capteurs comme le MLX90614 fournissent une interface numérique compatible avec le STM32.

En gardant nos exigences en tête, voici l'évaluation qui a été faite par l'équipe. Prendre note que tout a été évalué sur une note de 0 à 5, 5 étant le meilleur score possible et 0 étant le pire score possible.

Lecture de température des moteurs			
# Option	1	2	3
Coût	5	4	2
Dimensions	5	5	3
Fiabilité	3	4	3
Complexité	4	3	3
Total	17	16	11

L'option de la thermistance pour la lecture de la température des moteurs dans notre projet a été privilégiée principalement pour sa simplicité de câblage et son faible coût. Contrairement à l'option 2 qui nécessite trois fils pour la connexion, la thermistance a l'avantage de n'en utiliser que deux, réduisant ainsi la complexité des fils à passer à travers le robot. Cette simplicité de connexion est un atout majeur dans la conception compacte et efficace de notre robot. De plus, les thermistances sont légèrement moins coûteuses, ce qui est bénéfique pour maintenir le budget global du projet. Donc, la thermistance se distingue par sa facilité d'installation et son économie, tout en répondant adéquatement à nos besoins de mesure de température.

Lecture des contrôleurs de moteur

Lecture des contrôleurs de moteur	
Option #1	Diviseur de tension
Option #2	Détecteur de courant
Option #3	Circuit de détection dans le contrôleur de moteur

Diviseur de tension avec STM32 : afin de vérifier l'état des fusibles des contrôleurs de moteur, nous utilisons un simple système de diviseur de tension. Lorsque le fusible fonctionne, le diviseur de tension reçoit du courant et génère un signal que le microcontrôleur STM32 peut lire. Si le fusible est grillé, le circuit est coupé, le diviseur de tension ne reçoit plus de courant, et le STM32 ne détecte aucun signal, signalant ainsi un fusible défectueux. C'est une méthode rapide et précise pour identifier les fusibles endommagés.

Détecteur de courant : L'utilisation d'un capteur de courant en série avec le contrôleur permet une surveillance automatique et précise des flux de courant pour identifier rapidement toute anomalie, comme un fusible grillé. Intégré au microcontrôleur de RoboGuard, ce système assure un suivi constant de l'état des contrôleurs de moteur, renforçant la sécurité et la longévité du robot.

Circuit de détection dans le contrôleur de moteur : Ce système utiliserait des capteurs électroniques pour détecter automatiquement un fusible grillé. Ces capteurs pourraient être conçus pour surveiller les changements dans le flux électrique ou d'autres paramètres indiquant un fusible défaillant. Bien que potentiellement plus complexe que le diviseur de tension, cette méthode pourrait offrir une surveillance plus détaillée et automatisée.

En gardant nos exigences en tête, voici l'évaluation qui a été faite par l'équipe. Prendre note que tout a été évalué sur une note de 0 à 5, 5 étant le meilleur score possible et 0 étant le pire score possible.

Lecture des contrôleurs de moteur			
# Option	1	2	3
Coût	4	2	2
Dimensions	5	2	4
Fiabilité	3	2	5
Complexité	4	3	2
Total	16	9	13

L'option 1 a été choisie pour la lecture des contrôleurs de moteur dans RoboGuard, car elle offre une solution équilibrée qui surpasse les autres options. Les diviseurs de tensions sont moins encombrants et moins complexes, ce qui est crucial dans la conception compacte de notre robot. L'option 2 est aussi moins pertinente quand aucun courant n'est détecté, c'est-à-dire quand le robot est immobile. L'option 3, bien qu'elle soit fiable, nous restreindrait à des contrôleurs de moteur spécifiques avec détection intégrée, limitant notre choix et flexibilité. En revanche, l'option 1 ne dépend pas d'une telle spécificité, offrant ainsi plus de liberté dans le choix des composants et garantissant une intégration simple et efficace au sein de notre système, tout en conservant une surveillance fiable du fonctionnement des contrôleurs.

Gestion d'arrêt d'urgence

Gestion d'arrêt d'urgence	
Option #1	Arrêt d'urgence à distance
Option #2	Bouton d'arrêt d'urgence physique
Option #3	Interruption via l'interface utilisateur de Capra

Arrêt d'urgence à distance : L'utilisation de la technologie de communication à longue distance pour un arrêt d'urgence permettrait une interruption à grande distance avec un signal fiable même dans des conditions difficiles. Cela serait particulièrement utile dans des scénarios où le robot opère hors de vue ou dans des zones étendues, assurant que l'on puisse réagir rapidement à tout incident, peu importe la distance.

Bouton d'arrêt d'urgence : Un bouton physique E-Stop est l'une des méthodes les plus directes et fiables pour initier un arrêt d'urgence. Ce système éprouvé peut être activé manuellement par un opérateur pour arrêter immédiatement toutes les opérations du robot. Cela assure une réponse instantanée et intuitive en cas de nécessité urgente.

Interruption via l'interface utilisateur de Capra : Cette option permettrait aux opérateurs d'envoyer une commande d'arrêt d'urgence à travers l'interface utilisateur de Capra, qui communiquerait ensuite avec le robot pour déclencher l'arrêt. Cela offre une intégration transparente avec les systèmes de contrôle existants et permet une gestion centralisée de l'arrêt d'urgence.

Gestion d'arrêt d'urgence			
# Option	1	2	3
Coût	3	5	5
Dimensions	4	3	5
Fiabilité	5	5	2
Complexité	3	5	3
Total	15	18	15

L'équipe a opté pour l'intégration complète de toutes les solutions pour améliorer la gestion des arrêts d'urgence dans RoboGuard. Cette démarche vise à maximiser la sécurité. En combinant la technologie de communication à longue distance, un bouton d'arrêt physique et une commande via l'interface utilisateur de Capra, nous assurons une réponse exhaustive et redondante aux urgences. Le système de communication à longue distance permet une transmission efficace des signaux d'arrêt, même hors de vue, surmontant la distance et les obstacles. Le bouton « E-Stop » offre une interruption instantanée et fiable, essentielle pour une intervention manuelle proche du robot. L'interface de Capra, quant à elle, permet un arrêt d'urgence depuis un poste de contrôle centralisé, crucial pour les opérateurs à distance. Ces systèmes garantissent qu'aucune situation opérationnelle ne manque de moyens d'arrêt d'urgence, offrant une protection complète tant pour le robot que pour les humains. Cette

stratégie de sécurité intégrée reflète l'engagement de Capra à maintenir des normes élevées de protection et fiabilité dans ses solutions robotiques.

Communication à distance

Communication à distance	
Option #1	Utilisation de LoRa
Option #2	Utilisation de XBee
Option #3	Utilisation d'antennes et protocole
Option #4	Utilisation 4G/5G

Utilisation de LoRa : LoRa est idéal pour les transmissions sur de longues distances avec une faible consommation d'énergie. Sa capacité à transmettre sur de grandes étendues sans consommer beaucoup d'énergie est un atout majeur, surtout pour les robots qui doivent opérer sur de vastes terrains ou dans des environnements urbains denses.

Utilisation de Xbee : Xbee offre une solution de communication sans fil qui est flexible et facile à intégrer. Xbee est particulièrement utile pour la création de réseaux maillés, où les robots doivent communiquer dans un réseau de dispositifs interconnectés, permettant une couverture étendue et robuste.

Utilisation d'antennes et protocole personnalisé : Cette option réfère à l'utilisation de systèmes d'antennes personnalisés avec des protocoles de communication spécifiques. Cela peut être adapté aux besoins spécifiques du robot, permettant une personnalisation du système de communication en fonction des exigences de performance et de sécurité.

Utilisation de la 4G/5G cellulaire : L'option 4 pourrait être l'utilisation de réseaux cellulaires 4G ou 5G, qui offrent une vitesse de transmission de données élevée et une connectivité presque universelle. Cette option serait bénéfique pour les robots qui nécessitent des transferts de données en temps réel et qui opèrent dans des zones couvertes par des réseaux cellulaires fiables.

Communication à distance				
# Option	1	2	3	4
Coût	4	4	2	3
Dimensions	3	3	2	3
Fiabilité	5	4	3	4
Complexité	2	3	4	2
Total	13	14	11	12

L'option LoRa a été choisie comme la solution de communication à distance privilégiée pour RoboGuard pour plusieurs raisons. Tout d'abord, LoRa excelle en termes de fiabilité malgré que le robot soit sur de longues distances. De plus, celui-ci a une consommation d'énergie basse. Il est particulièrement adapté pour les scénarios où le robot doit opérer de manière autonome sur de vastes terrains. De plus, la technologie LoRa est bien adaptée pour fonctionner dans les

fréquences disponibles en Europe, ce qui est conforme aux réglementations en vigueur et aux infrastructures de communication existantes dans le lieu de nos compétitions.

XBee, en tant que bonne alternative, se positionne très bien aussi avec ses points accumulés. Il a des capacités de création de réseaux maillés robustes et sa facilité d'intégration. Cependant, le système XBee ne peut pas opérer dans les fréquences spécifiques que nous souhaitons utiliser en Europe, ce qui représente une limitation majeure pour notre application. Cette contrainte réglementaire rend XBee moins adapté pour notre projet comparé à LoRa, qui non seulement répond aux exigences techniques, mais est également compatible avec les normes de communication européennes. Ainsi, tout en reconnaissant les forces de XBee, LoRa est retenu comme la solution la plus viable pour garantir une opération sans encombre et conforme aux normes de RoboGuard sur le marché européen.

Petit connecteur/facteur de forme

Pour cette étape, nous avons consulté directement l'équipe mécanique de Capra afin d'obtenir des conseils de leur part. Cette étape doit absolument respecter les critères mécaniques, étant donné que l'espace est très restreint dans la base mobile. L'équipe mécanique nous a conseillé d'utiliser un seul connecteur, et que celui-ci ne soit pas sur un des côtés du PCB. Ainsi, les côtés du PCB seront libres et il y aura plus d'espace pour le placer de manière adéquate. Pour un petit facteur de forme, nous nous sommes penchés sur un connecteur « D-SUB ». Le seul souci qui concernait l'équipe fut la puissance. Les connecteurs « D-SUB » supportent typiquement 5 ampères par contact. Voici les calculs effectués pour nous assurer que ce choix soit adéquat :

$$P_{GPIO} = 44.4V * 3A = 133.2W$$

$$P_{Raspberrypi} = 5V * 3A = 15W$$

$$P_{relai} = 5V * 0.2A = 1W$$

$$P_{I.C} = 3.3V * 0.8A = 2.64W$$

$$P_{Total} = P_{GPIO} + P_{Relai} + P_{Raspberrypi} + P_{I.C}.$$

$$P_{Total} = 133.2W + 15W + 1W + 2.64W = 151.84W$$

$$\text{Cas normal : } A_{Total} = \frac{P_{Total}}{V_{BatterieNominal}} = \frac{151.84W}{44.4V} = 3.4198 A$$

$$\text{Cas pire : } A_{Total} = \frac{P_{Total}}{V_{BatterieMinimal}} = \frac{151.84W}{38.4V} = 3.95 A$$

$$\text{Cas préférable : } A_{Total} = \frac{P_{Total}}{V_{BatterieMaximal}} = \frac{151.84W}{50.2V} = 3.02 A$$

Nous savons donc que dans le pire des cas, où tout est activé, il faudra gérer entre 3.02 et 3.95 ampères. Pour être absolument sûrs, nous avons décidé d'utiliser deux contacts du connecteur afin de répartir la charge. De plus, si l'un des contacts a un problème, l'autre pourra alimenter le circuit.

Conception du PCB

Lors de la conception du PCB pour RoboGuard, nous avons opté pour une approche collaborative en utilisant la plateforme Altium 365, ce qui nous a permis de bénéficier d'une gestion des composants efficace. En accédant à cette librairie, nous avons pu réutiliser des composants déjà achetés dans des projets antérieurs de Capra, assurant ainsi la continuité et la fiabilité dans notre conception électronique.

La stratégie adoptée pour le développement du schéma électrique est inclusive et participative : l'ensemble de l'équipe collaborera pour s'assurer que tous les membres sont alignés et en accord avec le schéma proposé. Cette méthode garantit que tous les aspects critiques du design sont passés en revue collectivement, permettant une compréhension uniforme et une validation croisée des fonctionnalités et des performances attendues. Par la suite, l'équipe pourra passer à la revue avec les chargés du cours.

Une fois le schéma finalisé, la tâche de matérialiser le PCB sera partagée entre David Caron et Amber Louie. Cette répartition des responsabilités a l'avantage de permettre une flexibilité dans les horaires de travail, avec des sessions de travail dédiées où chacun peut se concentrer sur des aspects spécifiques du design physique du PCB. Cette méthode de travail en parallèle maximise l'efficacité et réduit le temps global de développement.

Parallèlement, Benoit Malenfant se concentrera sur le développement logiciel. Il pourra ainsi avancer sur le code nécessaire à l'intégration dans RoboGuard, en préparant le terrain pour une mise en œuvre fluide et rapide une fois le PCB prêt. Cette division du travail assure que toutes les composantes du projet avancent simultanément, optimisant le temps de développement global et permettant une synergie entre les différents membres de l'équipe.

Optimisation de la taille du PCB

L'équipe a dû aussi regarder la grosseur du PCB afin de bien entrer dans l'espace que l'équipe mécanique a réservé à RoboGuard.

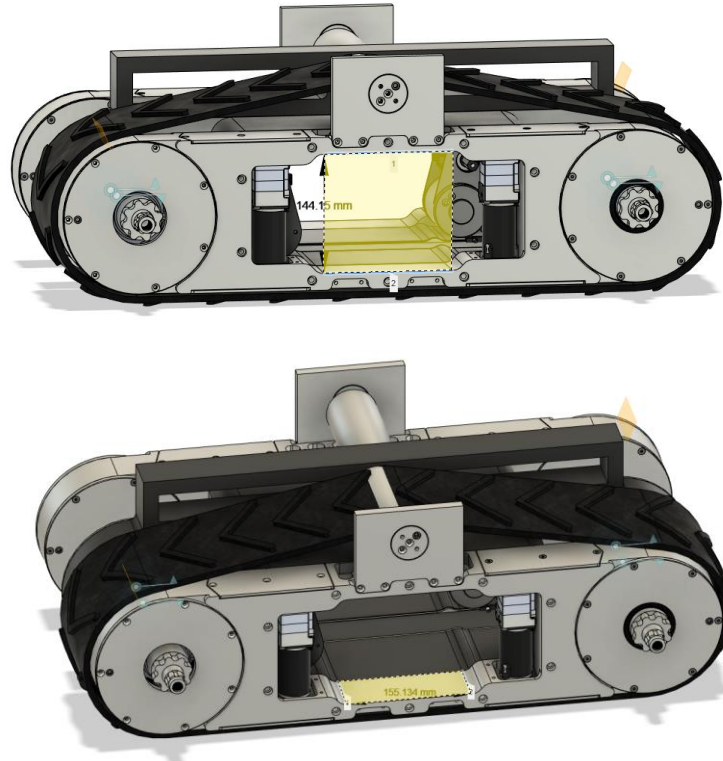


Figure 2 – Modèle d'espace pour RoboGuard

L'espace ci-haut en jaune est l'espace qui a été réservé à RoboGuard. De plus, l'équipe mécanique préfère avoir un espace de 20mm sur la base et le haut afin de pouvoir installer RoboGuard de manière solide. L'équipe devrait donc absolument rendre le PCB d'une hauteur maximale de 104mm. De plus, Capra sait qu'ils aimeraient mettre un 2^e PCB qui va gérer l'état Allumé/Éteint du robot ainsi que les fusibles. L'équipe s'est donc limitée à une largeur maximale de 100mm. De plus, avec un PCB de 100x100mm, nous restons dans les standards de JLCPCB pour avoir la fabrication d'un PCB à faible coût.

Commande, Durabilité et empreinte carbone du PCB

Pour la commande du PCB de RoboGuard, nous avons choisi de recommander avec la compagnie JLCPCB. Cette décision s'appuie sur les expériences positives antérieures où la qualité et la fiabilité des PCB fournis par JLCPCB ont pleinement satisfait nos attentes. Compte tenu de l'importance de respecter un budget restreint pour un club étudiant comme Capra, il est essentiel de trouver un équilibre entre coût, qualité et délai de livraison.

Nous sommes toutefois conscients de l'impact environnemental associé à la commande internationale, notamment l'empreinte carbone liée au transport. Dans un effort pour soutenir les entreprises locales et réduire cet impact, nous avons exploré des options au Québec, en contactant des fabricants tels qu'Optimont, GoLabo et EastWest manufacturing. Malgré notre préférence pour une solution de proximité, les tarifs proposés par ces entreprises locales excédaient de loin notre budget.

David Caron, le capitaine du club, a pris l'initiative d'essayer de créer un partenariat avec ces fournisseurs locaux, espérant pouvoir négocier des termes qui seraient mutuellement bénéfiques. Malheureusement, ces efforts n'ont pas abouti à un accord viable. La réalité financière du club étant ce qu'elle est, nous avons été contraints de prioriser l'aspect économique tout en maintenant une qualité acceptable pour le projet.

En fin de compte, le choix de JLCPCB s'est imposé comme la solution la plus viable pour respecter le budget limité de Capra tout en garantissant une livraison rapide et une qualité de produit sur laquelle nous pouvons compter.

4. Conformité – Tests et validation

Tests de continuité

Afin de déterminer si le PCB est de qualité, un test de continuité a été fait sur celui-ci avant et après la soudure.

Contexte et Objectifs du Test

Afin de s’assurer de la qualité de RoboGuard, une série de tests de continuité a été faite pour vérifier l’intégrité des pistes du PCB post-fabrication. L’objectif était de détecter d’éventuels défauts de fabrication tels que des interruptions ou des courts-circuits sur les lignes, qui pourraient compromettre la fonctionnalité et la fiabilité du robot. Ces tests sont essentiels pour s’assurer que chaque composant du PCB est correctement connecté et qu’il n’y a pas de connexions erronées susceptibles de détruire les performances du projet.

Méthodologie de Test

Les tests ont commencé par une inspection visuelle minutieuse suivie de tests de continuité réalisés avec un multimètre. Chaque piste a été testée individuellement pour confirmer la présence d’une connexion électrique ininterrompue. De plus, nous nous sommes assuré que ces pistes ne sont pas reliées aux pistes de mise à la terre ou d’alimentations. Après avoir confirmé l’intégrité des pistes, l’équipe a procédé au soudage des composants. Afin d’être 100% certains de nos soudures, nous avons refait le test. C’est à ce moment-là que nous avons découvert des courts-circuits sur certaines lignes. Une enquête plus approfondie a révélé que le problème provenait du module LoRa, où une trace passant sous le module avait été exposée à la pâte à souder. Pour résoudre ce problème sans redessiner immédiatement le PCB, nous avons appliqué du ruban Kapton, un isolant résistant à la chaleur, pour isoler la trace concernée de la pâte à souder étalée. À la suite de cette manipulation, nous n’avons plus de courts-circuits.

Conclusion

L’application de Kapton tape s’est révélée être une solution efficace, résolvant le problème de court-circuit et permettant au système de fonctionner comme prévu. Cependant, cet incident a souligné l’importance d’éviter de placer des traces sous des composants tels que le module LoRa, où le risque de contact avec la pâte à braser est élevé. En conséquence, nous recommandons de revoir la conception du PCB pour éliminer toutes les traces inutiles sous le module LoRa afin de prévenir de tels incidents à l’avenir. Cette modification contribuera à renforcer la robustesse de nos PCB et à minimiser le risque de courts-circuits lors des phases de soudure.

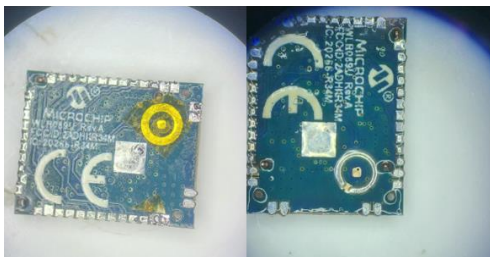


Figure 3 – Module LoRa avec ruban Kapton et sans

Intégration et Test du Raspberry Pi avec RoboGuard

Afin de s'assurer que RoboGuard reste petit et facile à intégrer dans Rove, nous avons fait en sorte que le Raspberry Pi s'adapte directement à RoboGuard afin de prendre le moins de place possible. Un test a été fait afin de s'assurer que le Raspberry Pi n'a pas de morceau qui touche à RoboGuard tout en restant branché sur celui-ci.

Contexte et objectifs du test

Dans le processus de validation de RoboGuard, un test crucial a été l'intégration physique du Raspberry Pi sur le PCB de RoboGuard. L'objectif était de s'assurer que le Raspberry Pi s'adapte correctement à l'espace et à la configuration du PCB. Cependant, lors de ce test, nous avons constaté que l'alignement des broches d'alimentation 5V du Raspberry Pi ne correspondait pas à celles de RoboGuard en raison d'une inversion des broches du Raspberry Pi.

Méthodologie de Test

Le Raspberry Pi a d'abord été positionné sur RoboGuard pour vérifier son adéquation physique. Cette étape initiale consistait à aligner et à monter le Raspberry Pi sur RoboGuard pour évaluer la correspondance des broches et l'efficacité de la connexion. Lors de cet essai, nous avons remarqué que les broches 5V du Raspberry Pi ne s'alignaient pas correctement avec les broches correspondantes sur RoboGuard. Pour résoudre ce problème, nous avons dû inverser le Raspberry Pi sur RoboGuard pour cette version et faire une révision de RoboGuard le plus vite possible.



Figure 4 – Image du positionnement typique



Figure 5 – Image du positionnement actuel

Conclusion

Cette adaptation inattendue a nécessité une révision de notre méthode de montage pour le Raspberry Pi sur RoboGuard. La solution trouvée, bien que non conventionnelle, a permis une intégration réussie du Raspberry Pi, assurant une connexion électrique appropriée et sécurisée. Malgré que cette version de RoboGuard ne puisse pas être intégrée directement dans Rove, l'équipe peut tout de même l'utiliser afin d'en faire la programmation et prouver son bon fonctionnement. Ce test a souligné l'importance de vérifier minutieusement l'alignement des composants lors de la conception de PCB pour éviter de telles incohérences à l'avenir.

Bruit sous les lignes de tensions

Dans le cadre de notre projet de développement de robotique, une attention particulière a été portée sur la question du "bruit sous les lignes de tensions", un aspect crucial pour assurer le fonctionnement optimal de *Rove*. Cette préoccupation technique est d'une importance capitale, car le bruit électrique dans les lignes de tension peut sérieusement compromettre la performance et la fiabilité de nos composants électroniques sensibles.

Contexte et objectifs du test

Dans le cadre de l'optimisation de *Rove* et *RoboGuard*, un des tests a été de mesurer le bruit sous les lignes de tension de notre convertisseur DC-DC, qui convertit la tension de nos batteries 12S Li-Po (36V à 50.4V) en 5V. Par avant, un problème significatif observé dans notre ancien robot est que nous avions 1V de bruit sous les lignes de tensions de 12 volts. Cela faisait en sorte que le robot était difficile à travailler. Notre objectif était de réduire de manière significative ce bruit dans la conception actuelle. Nous avons fixé un seuil de performance acceptable à moins de 1% de bruit, conformément aux normes de l'industrie.

Méthodologie de test

Pour réaliser ces tests, nous avons suivi les recommandations de « Prodigit Electronics Co., Ltd. » sur la manière de mesurer efficacement le bruit dans la sortie d'une alimentation électrique. Nos moyens étant limités à un oscilloscope Rigol, nous avons dû adapter légèrement la méthodologie. Voici comment il faudrait typiquement procéder :

1. **Utilisation d'un oscilloscope en mode différentiel** : Pour éviter les problèmes de retour à la terre et pour une mesure précise, il est pertinent d'utiliser un oscilloscope avec une entrée différentielle. Cette configuration permet d'isoler le bruit de l'alimentation de tout autre bruit qui peut être induit par l'installation du test elle-même.
2. **Ajout de capacité** : Des capacités supplémentaires de 10uF et de 0.1uF simulant la capacité sur la carte principale peuvent être ajoutées aux bornes du test lors du test pour mieux représenter les conditions réelles d'utilisation.
3. **Bande passante de fréquence** : La bande passante de l'oscilloscope doit être réglée à 20MHz pour capturer avec précision la plage de fréquence pertinente de bruit.
4. **Résistance d'entrée** : Il est essentiel d'utiliser une entrée de 50Ω pour minimiser l'interférence du signal sur l'oscilloscope.

Cependant, comme mentionné plus haut, nous n'avons pas accès à ce genre d'équipement. Nous nous sommes donc limités à faire l'utilisation d'un seul oscilloscope afin de mesurer le bruit et s'assurer que nous sommes sous 1%. Si ce n'était pas le cas, il aurait fallu ajouter de la filtration pour les fréquences observées. Dans notre cas, l'utilisation d'un oscilloscope non différentiel pour mesurer le bruit sous les lignes de tension requiert une attention spéciale sur la longueur retour vers la terre. Un chemin long peut agir comme une antenne, captant des interférences électromagnétiques et introduisant du bruit supplémentaire dans les mesures. De plus, il peut créer des boucles de retour à la terre captant des courants induits par d'autres sources électriques, ajoutant ainsi un bruit significatif. En minimisant la longueur du retour à la terre, on réduit l'impédance et augmente la précision des mesures,

assurant une référence de tension plus stable et fiable, essentielle pour mesurer précisément des signaux faibles comme ceux que nous tentons de mesurer.

Conclusion

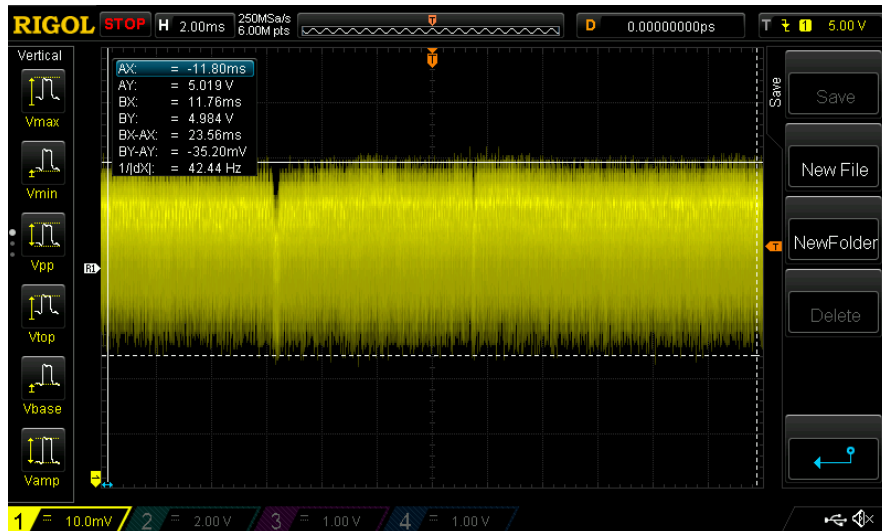


Figure 6 – Bruit sous la ligne 5V

Pour la ligne de 5V, 1% de bruit équivaldrait à 50mV. Avec une mesure de 35.2mV, on peut voir que nous sommes nettement en dessous de ce seuil, ce qui indique une excellente performance. Pour être exactes, nous sommes à environ 0.704% de bruit sous cette ligne.

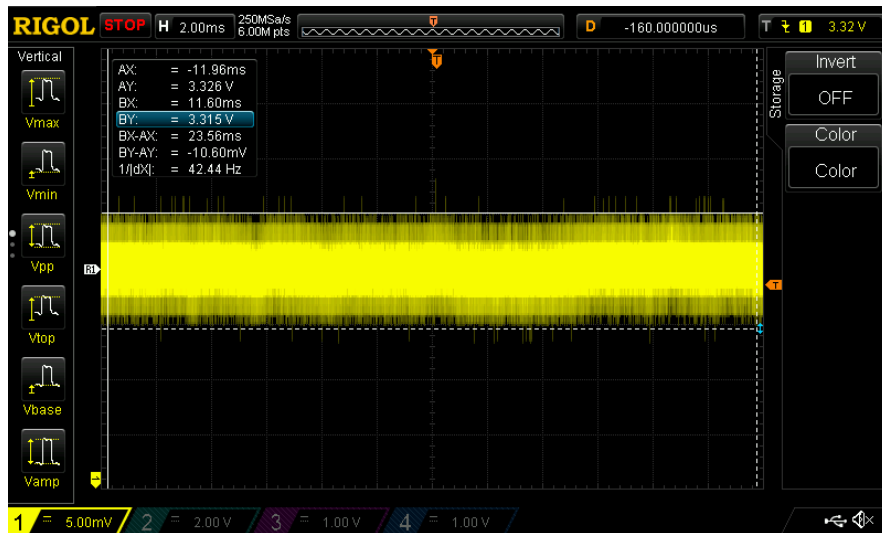


Figure 7 – Bruit sous la ligne 3.3V

En ce qui concerne la ligne de 3.3V, 1% de bruit correspond à 33mV. La mesure est de 10.6mV qui est donc toujours inférieur au seuil que nous nous sommes mis, démontrant une faible perturbation et une bonne stabilité des lignes d'alimentation. Pour être exactes, nous sommes à 0.353% de bruit.

Test des thermistances

Dans le cadre de nos tests de validation pour RoboGuard, nous avons entrepris une série d'essais pour évaluer la précision et la fiabilité de nos thermistances, des composants critiques pour surveiller la température. Pour ce faire, nous avons élaboré un script en C pour ROS (Robot Operating System) capable de convertir les lectures de tension obtenues à partir du pin ADC du microcontrôleur STM32 en degrés Celsius.

Méthodologie de test

Le test a commencé dans une chambre stabilisée à une température ambiante de 23 degrés Celsius. La thermistance a ensuite été placée dans un four à refusion, préalablement réglé à une température de 122 degrés Celsius. Cette méthode nous a permis de simuler une application pratique où la thermistance pourrait être soumise à des changements rapides et significatifs de température, semblables à ceux que RoboGuard pourrait rencontrer lors d'opérations de recherche et de sauvetage dans des environnements extrêmes.

Conclusion

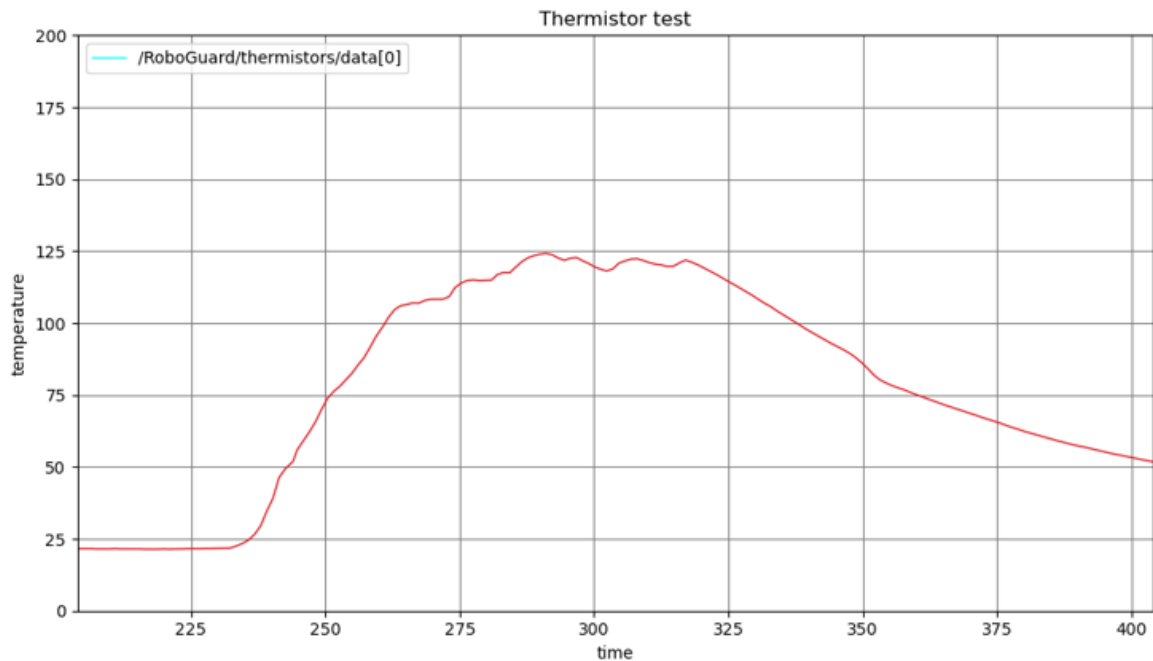


Figure 8 – Graphique de température sur le temps d'une thermistance

La courbe obtenue lors de ce test est représentative de la réponse de la thermistance aux changements de température. Comme nous pouvons le voir, la température mesurée par la thermistance augmente rapidement, reflétant la montée en température du four à refusion, puis se stabilise avant de diminuer progressivement. Il est important de noter que la température se stabilise avec difficulté étant donné que le four est de qualité douteuse. Cependant, c'est le seul outil de travail que nous avons sous la main qui représente une température de moteurs. Cette réponse est conforme à ce que nous attendions et montre une bonne corrélation entre la température réelle et la tension lue par l'ADC, qui a ensuite été convertie avec succès en degrés Celsius par notre code.

Test d'humidité

Dans le cadre de nos tests de validation pour RoboGuard, nous avons entrepris une série de tests pour faire la lecture de l'humidité. Avec cela, Capra pourra détecter la présence d'humidité dans le robot donc détecter si le sceau d'étanchéité est brisé.

Méthodologie de test

Afin de faire des tests pour la lecture d'humidité, notre équipe a dû générer du code qui est compatible avec le BME680 et le STM32. Il a fallu premièrement confirmer la communication avec le module, puis comprendre l'information qu'il nous a envoyée. Par la suite, à l'aide de ROS, nous avons pu mettre les informations données sous forme de graphique.

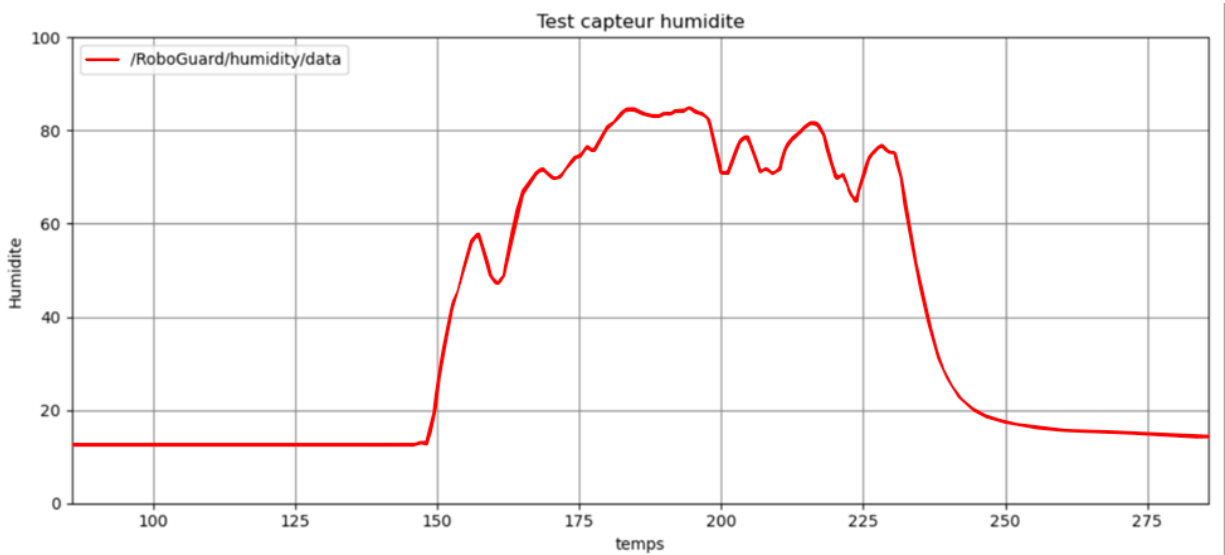


Figure 9 – Graphique du résultat du capteur d'humidité

Conclusion

Afin de générer une variation dans le capteur, nous nous sommes assurés que celui-ci est bel et bien stable dans l'humidité d'une pièce. Puis nous avons introduit un cas extrême où nous avons introduit un thé proche du PCB. Le graphique ci-haut démontre les grosses variations d'humidité que le capteur détecte. Capra espère que ce genre de fluctuations sera suffisant pour voir que le sceau d'étanchéité est brisé dans le cas d'une compétition où il y a de la pluie ou même de la neige.

5. Contrôle de projet

Dans cette section, il est question d'évaluer le déroulement du projet selon les objectifs temporels et des tâches réalisées qu'on a déjà effectué un diagramme de Gantt dans le rapport de conceptualisation. Donc, à partir de celui-ci, nous avons déterminé les tâches et périodes suivantes :

Tâches	Nombres de jours estimées	Nombre de jours réalisés
Rencontre de départ	1	1
Cahier des charges	4	6
Remise Cahier des charges	1	1
Idéalisation du projet	4	6
Détermination microcontrôleur	1	1
Programmation dev-kit	56	68
Recherche de potentielles composantes	12	7
Création du BOM officiel	3	1
Création du schéma du circuit	13	16
Création du schéma du PCB	15	22
Commande et réception des composantes	10	3
Commande et réception des PCB	15	12
Assemblage	3	2
Tests et ajustements	3	2
Programmation du PCB	22	28
Test final	4	4
Création de présentation au client et professeur	28	14
Remise rapport de réalisation et présentation	1	1
Présentation final	1	1

Il est évident que les tâches ont nécessité plus de temps que prévu. En général, le travail a été bien exécuté, et l'équipe s'est toujours réunie le mardi soir et le vendredi après-midi. Toutefois, des divergences d'opinions ont surgi concernant certains choix de conception. De plus, il a parfois fallu attendre les retours de l'équipe mécanique. Actuellement, Capra fait face à une pénurie dans son équipe mécanique. Donc, Capra comporte qu'un seul membre dans ce domaine. Ainsi, lorsque des problèmes nécessitaient l'intervention de l'expert mécanique de Capra, il arrivait que nous attendions quelques jours afin d'obtenir une réponse. Le plus grand retard a été causé par la conception du PCB physique. Nous avons sous-estimé le temps nécessaire pour le routage du PCB, ce qui a considérablement retardé la programmation. Heureusement, nous avons anticipé cela en programmant en parallèle sur un « dev kit ». Cela a simplifié l'intégration du code sur le PCB et permis de tester préalablement certaines lignes de code.

6. Évaluation subjective

Nous avons trouvé quelques pistes d'améliorations qui nous auraient permis d'avoir une meilleure organisation dans l'équipe

1. Avoir des rencontres de 15 minutes préplanifier avec l'équipe mécanique

Afin d'avoir l'équipe mécanique déjà au courant que nous allons potentiellement avoir besoin de son aide pour les dimensions, nous aurions pu préplanifier ces rencontres au lieu de les proposer la journée même et de devoir attendre.

2. Avoir un meilleur œil sur l'échéancier

Nous avons remarqué un peu trop tardivement que nous avons dépassé de quelques jours l'échéancier, ce qui a fait en sorte que nous avons dû travailler à temps double à la suite d'avoir remarqué notre retard. Regarder notre échéancier aurait fait en sorte que nous aurions pu mettre 1 journée de plus pendant la semaine lorsqu'on remarque notre retard au lieu d'en mettre 4 de plus par semaine vers la fin.

3. Demander une revue de conception avec les professeurs

Nous avons sévèrement sous-utilisé l'expertise des professeurs. Nous avons commis quelques erreurs d'inattentions dans la conception du PCB ce qui fait en sorte que nous sommes obligés d'en commander un autre afin d'avoir quelque chose qui est intégrable dans le prochain robot. Les professeurs sont habitués à ce genre d'erreurs et connaissent les erreurs typiques lors de la création d'un PCB. Avoir fait une revue de conception aurait pu faire en sorte d'éviter les erreurs d'inattention.

7. Continuation et conclusion

Continuation

Afin de terminer le projet, il sera fort recommandé de faire les corrections suivantes :

1. Changer le Raspberry Pi de côté :

Afin d'avoir le Raspberry Pi du même côté de RoboGuard, il est essentiel de changer les connexions sur le connecteur du Raspberry Pi.

2. Ajouter une résistance de « pull-up » sur la communication i2C :

Nous avons pensé d'utiliser la résistance de « pull-up » interne du STM32. Cependant, ceux-ci ont une trop grosse résistance. Il serait préférable de prendre une résistance de 10k Ω directement sur les lignes de i2C.

3. Changer les résistances de « pull-up » pour des résistances de 10k Ω pour les thermistances :

Nous avons commis une erreur d'inattention en plaçant une résistance. À la place de mettre une résistance de 10k Ω en pull-up sur notre thermistance, nous avons mis une résistance de 1k Ω . Il serait utile de mettre une résistance de 10k Ω afin d'être dans le milieu de la plage d'utilisation des thermistances sur la page « ADC ».

4. Retirer les diodes Zener pour les ADC de cellules de batterie

Comme les diodes Zener ont un courant de fuite de 7.5 μ A, cela affecte le signal en générant une chute de tension de 1.875V à travers une résistance de 250k Ω . Il est donc crucial de retirer les Zener ou de trouver une alternative pour protéger l'entrée du STM32 sans dégrader le signal.

5. R50 devrait être une 0 Ω pour pull-up a 3V3

Une autre erreur d'inattention, nous devons avoir une résistance de pull-up vers 3.3V et non vers le ground. Nous devons être branchés à 3.3V étant donné que cette broche est la référence externe de l'ADC.

6. Ajouter du déverminage série pour le ST-Link

Il pourrait être nécessaire de faire du déverminage avec le STM32. Afin de faire cela, il pourrait être pertinent de mettre une connexion série au ST-Link.

7. Augmenter la résistance de la LED de débogage sur le STM32

Nous avons ajouté une résistance de 470Ω afin de réduire l'intensité lumineuse de la DEL de débogage. Cependant, cela n'est pas assez. Cette DEL est normalisée à 2mA et a une intensité lumineuse de 100mCd. Dans notre cas, nous envoyons 7mA dans la DEL ce qui est beaucoup trop pour l'intensité lumineuse désiré. Nous visons quelque chose entre 25-100mCd. Donc il serait pertinent de mettre une résistance entre $6.6k\Omega$ et $1.65k\Omega$.

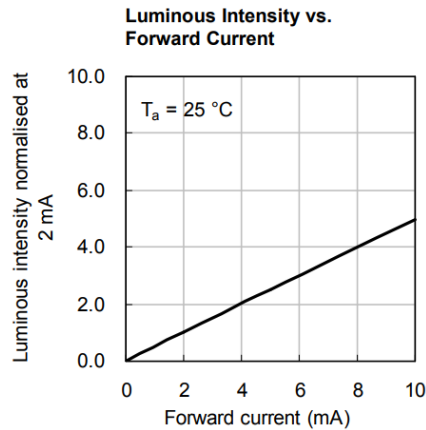


Figure 10 – Graphique sorti de la fiche technique de la LED

8. Ajouter des pattes qui dépassent un peu pour l'IMU afin d'aider la soudure :

Il s'est avéré difficile d'être certain que l'IMU est bien soudé. Étant donné que l'IMU a une légère partie qui peut être soudée sur le côté, il serait possible d'allonger les pattes sur lesquelles il est possible de mettre de l'étain afin de regarder si les soudures sont bien faites.

9. Changer le fusible d'entrée :

Étant donné la présence de nombreux condensateurs, nous avons observé que le fusible grille lorsque nous connectons le projet à notre tension de batterie. Toutefois, il fonctionne correctement lorsque le fusible est remplacé par un fil. Il semble que les condensateurs requièrent un courant très élevé lors de la première alimentation de RoboGuard, ce qui provoque une destruction du fusible en raison du courant d'appel.

Conclusion

Le projet de développement de RoboGuard, intégré à Rove, a représenté un défi technique, mais surtout organisationnel à l'équipe. Au terme de ce projet, nous avons réussi à créer un outil très avantageux pour la prochaine génération de robot de recherche et de sauvetage nommé RoboGuard.

Les aspects les plus remarquables de ce projet résident dans sa capacité à répondre efficacement aux exigences spécifiques des opérations de recherche et de sauvetage. La modularité de Rove, combinée à la surveillance et la protection offertes par RoboGuard, témoigne de notre engagement à améliorer continuellement les capacités de nos robots.

Cependant, le projet a aussi rencontré son lot de défis. Les retards dans la conception du PCB, les ajustements nécessaires pour l'intégration du Raspberry Pi avec RoboGuard et les ajouts de résistances manquantes ont souligné l'importance d'une planification minutieuse et d'une communication efficace entre les équipes. De plus, les contraintes budgétaires et les limites techniques ont imposé des compromis et des choix difficiles, mais ont également stimulé notre créativité et notre capacité à trouver des solutions innovantes.

Nous avons appris de précieuses leçons sur l'importance de la révision de conception, l'anticipation des problèmes et la flexibilité face aux imprévus. Ces expériences nous ont renforcés en tant qu'équipe et ont enrichi nos compétences techniques et organisationnelles.

En conclusion, malgré quelques modifications nécessaires afin d'avoir un produit final, ce projet a été un succès. Les connaissances acquises au cours de ce projet serviront de base solide pour les développements futurs. Nous recommandons de poursuivre une prochaine version de ce PCB, en mettant l'accent sur les améliorations mentionnées dans la section de continuation. L'optimisation des performances et l'intégration de nouvelles technologies vont rendre Rove encore plus efficace dans ses missions cruciales de recherche et de sauvetage.

8. Bibliographie

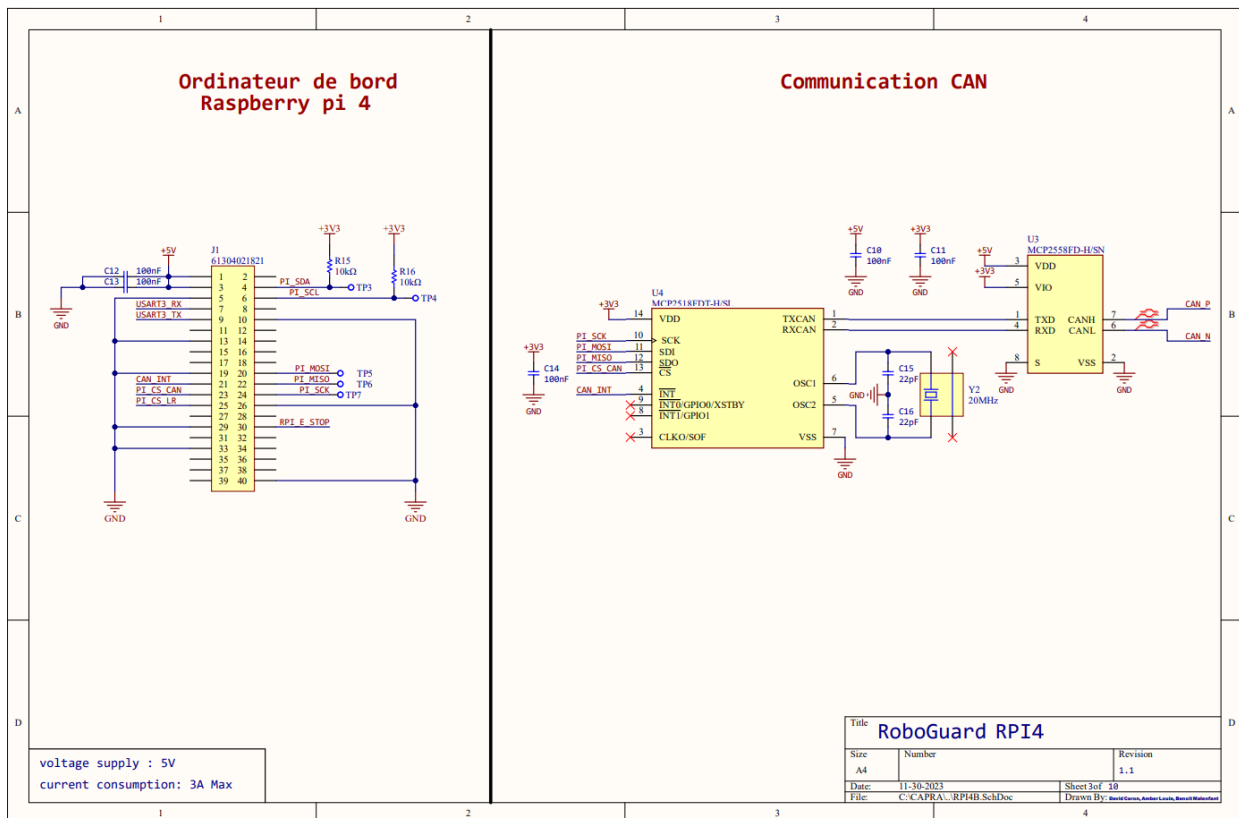
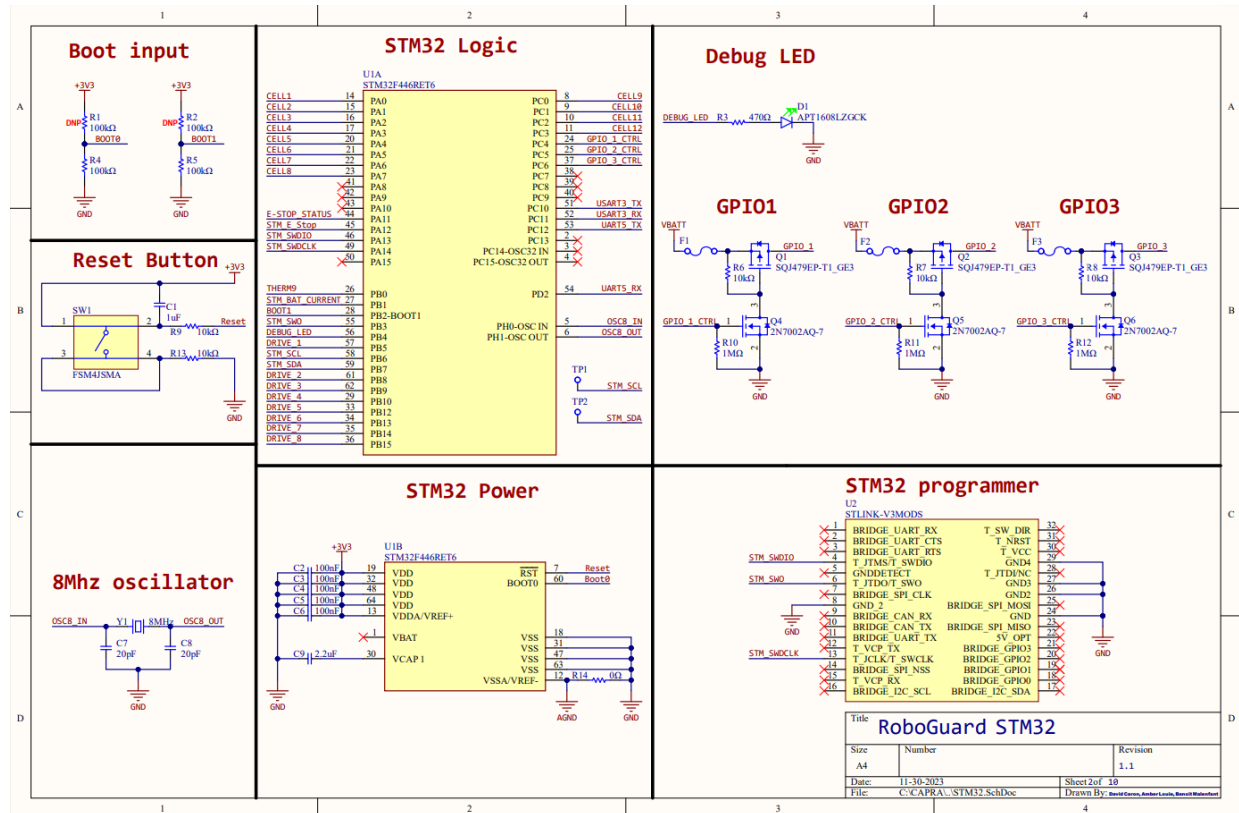
- Raspberry Pi (Trading) Ltd. (2019). Raspberry Pi 4 Model B datasheet (1st ed.).
<https://datasheets.raspberrypi.com/rpi4/raspberry-pi-4-datasheet.pdf>
- Microchip Technology Inc. (2021). WLR089U0 low power LoRa® sub-GHz module data sheet (Preliminary Datasheet DS70005435B) :
<https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/70005435B.pdf>
- STMicroelectronics. (2021). STLINK-V3MODS and STLINK-V3MINI debugger/programmer: Tiny probes for STM32 microcontrollers (UM2502 User Manual, Rev 2):
https://www.st.com/resource/en/data_brief/stlink-v3mods.pdf
- Équipe Capra : <https://www.clubcapra.com/>
- Amphenol ICC (FCI). (Date non spécifiée). Conn D-Sub Plug 50Pos Vert Sldr [Fiche technique du produit D50P24A4GV00LF]. Amphenol-cs : <https://cdn.amphenol-cs.com/media/wysiwyg/files/drawing/c01-8646-0359.pdf>
- STMicroelectronics. (Janvier 2021). STM32F446xC/E: Arm® Cortex®-M4 32-bit MCU+FPU, 225 DMIPS, up to 512 KB Flash/128+4 KB RAM, USB OTG HS/FS, seventeen TIMs, three ADCs, and twenty communication interfaces (Rev 10)
[Datasheet]:<https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/datasheet/65/cb/75/50/53/d6/48/24/DM00141306.pdf/files/DM00141306.pdf/jcr:content/translations/en.DM00141306.pdf>
- Microchip Technology Inc. (2019-2020). MCP2518FD: External CAN FD Controller with SPI Interface (DS20006027B) [Datasheet]. tiré de:
<https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/External-CAN-FD-Controller-with-SPI-Interface-DS20006027B.pdf>
- Microchip Technology Inc. (2016). MCP2557FD/8FD: CAN FD Transceiver with Silent Mode (DS20005533A) [Datasheet]. Tiré de :
<https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/20005533A.pdf>
- Texas Instruments. (Février 2017). TPS54560B-Q1 Convertisseur DC-DC abaisseur de 4,5 V à 60 V, 5 A, avec Eco-mode™ (SLVSBQ2–Février 2017) [Fiche technique]. Récupéré de
<https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps54560b-q1.pdf>
- STMicroelectronics. (Mai 2021). LD1086: Régulateur de tension positive à faible chute de tension ajustable et fixe de 1,5 A (DocID6739 Rev 37) [Fiche technique]. Récupéré de
<https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/datasheet/53/db/00/58/09/98/4b/36/CD00001884.pdf/files/CD00001884.pdf/jcr:content/translations/en.CD00001884.pdf>
- Prodigit Electronics Co., Ltd. (s. d.). Comment tester le bruit provenant de la sortie de l'alimentation électrique. Récupéré de <https://www.prodigit.com/show/how-to-test-noise-from-the-output-of-power-supply.htm>
- Code source de roboguard : <https://github.com/benmalenfant/RoboGuard>

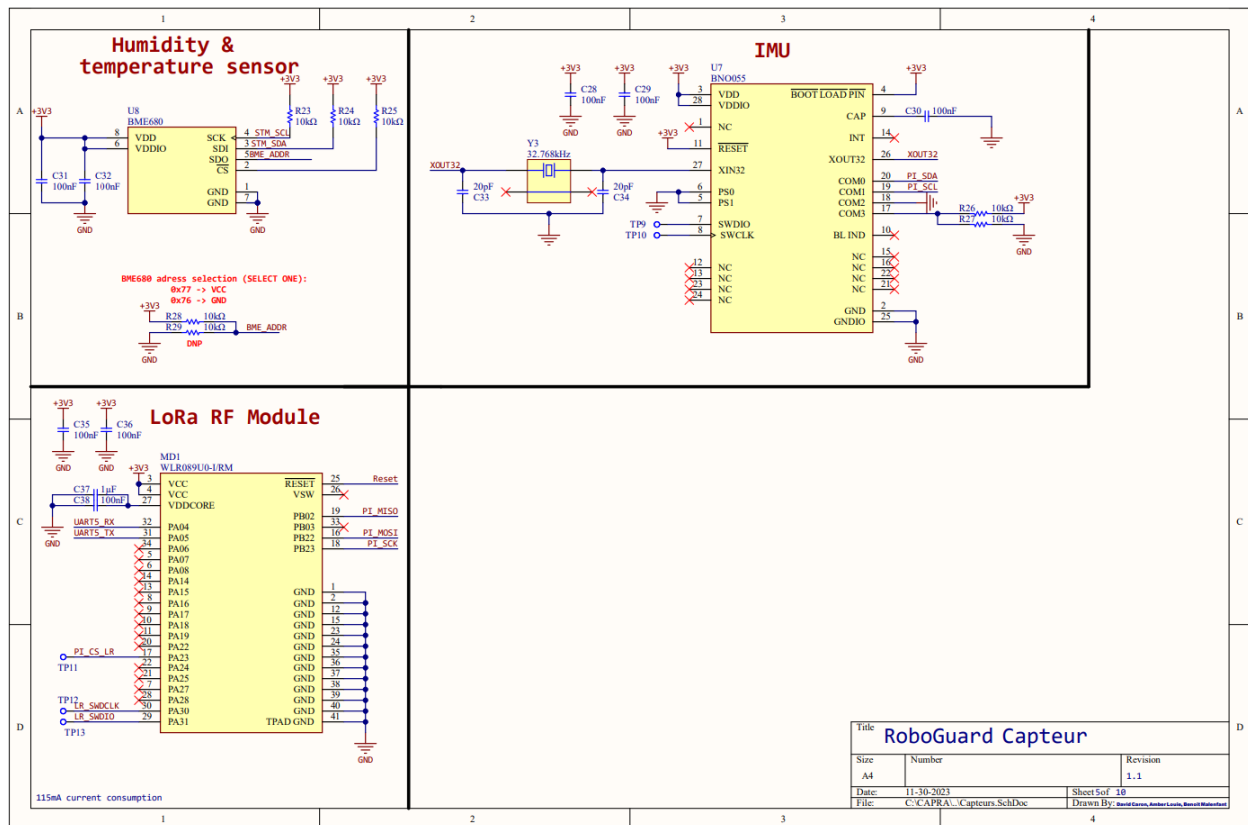
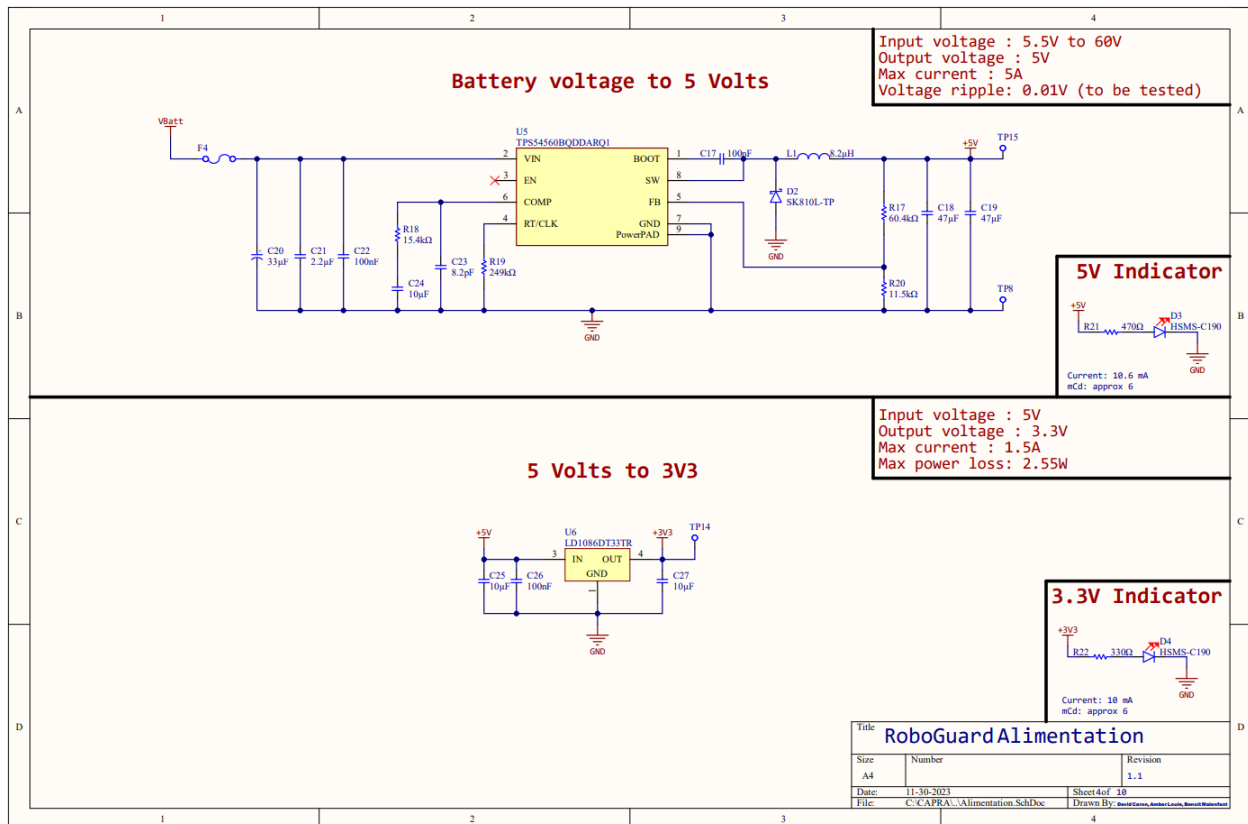
9. Annexe

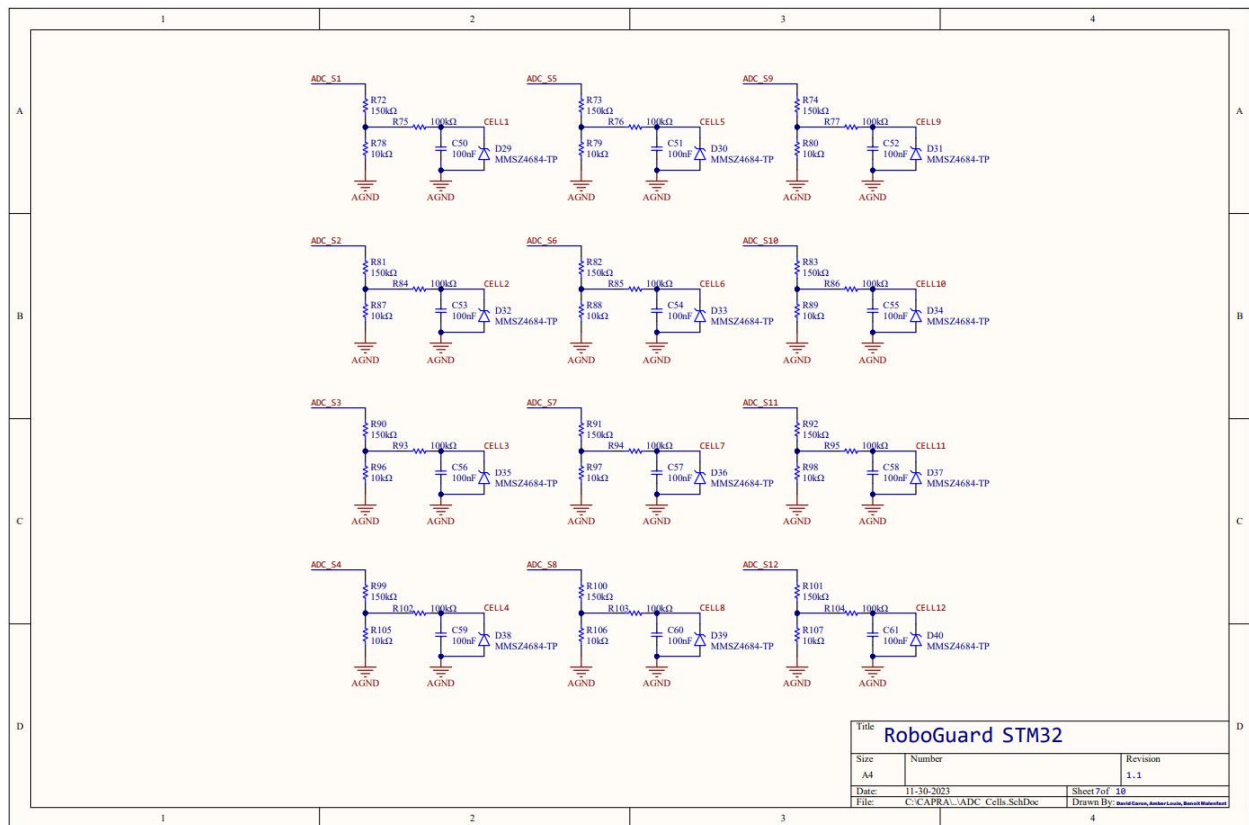
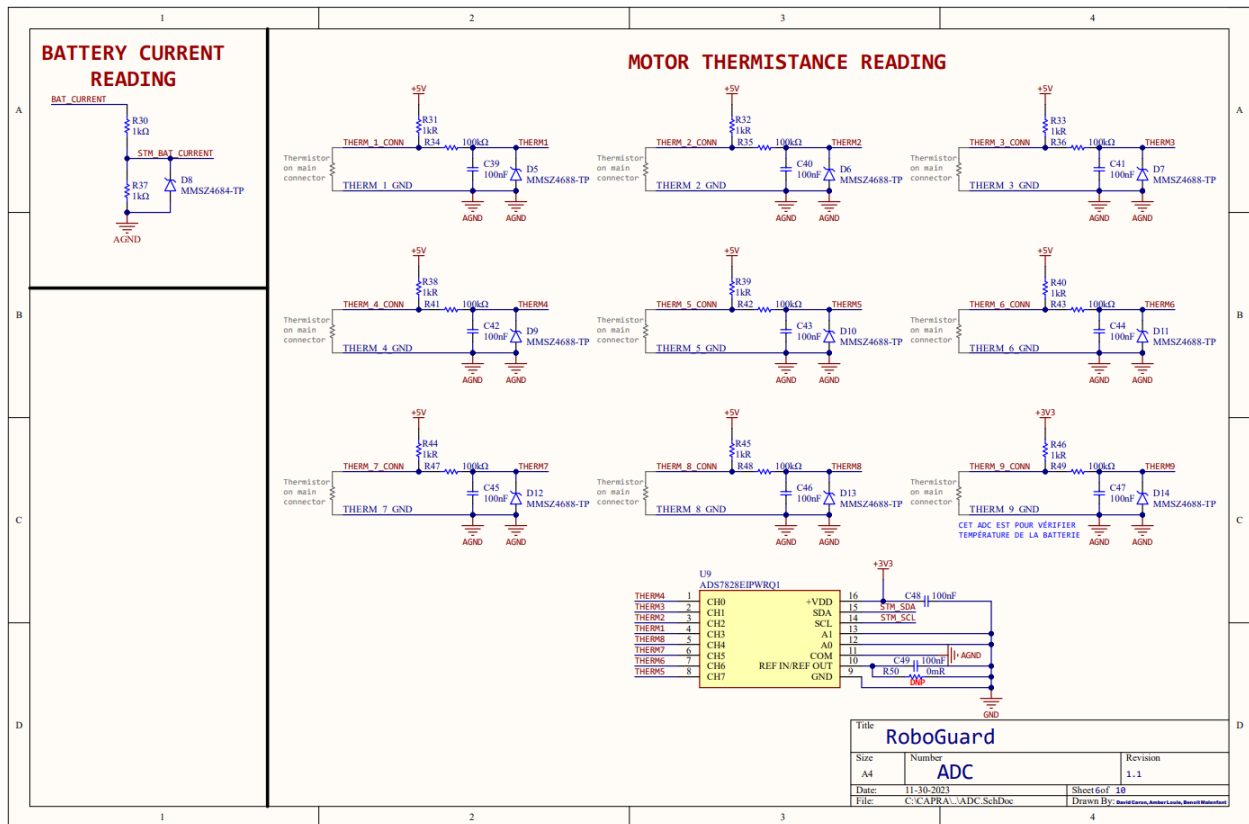
Tableau de composantes :

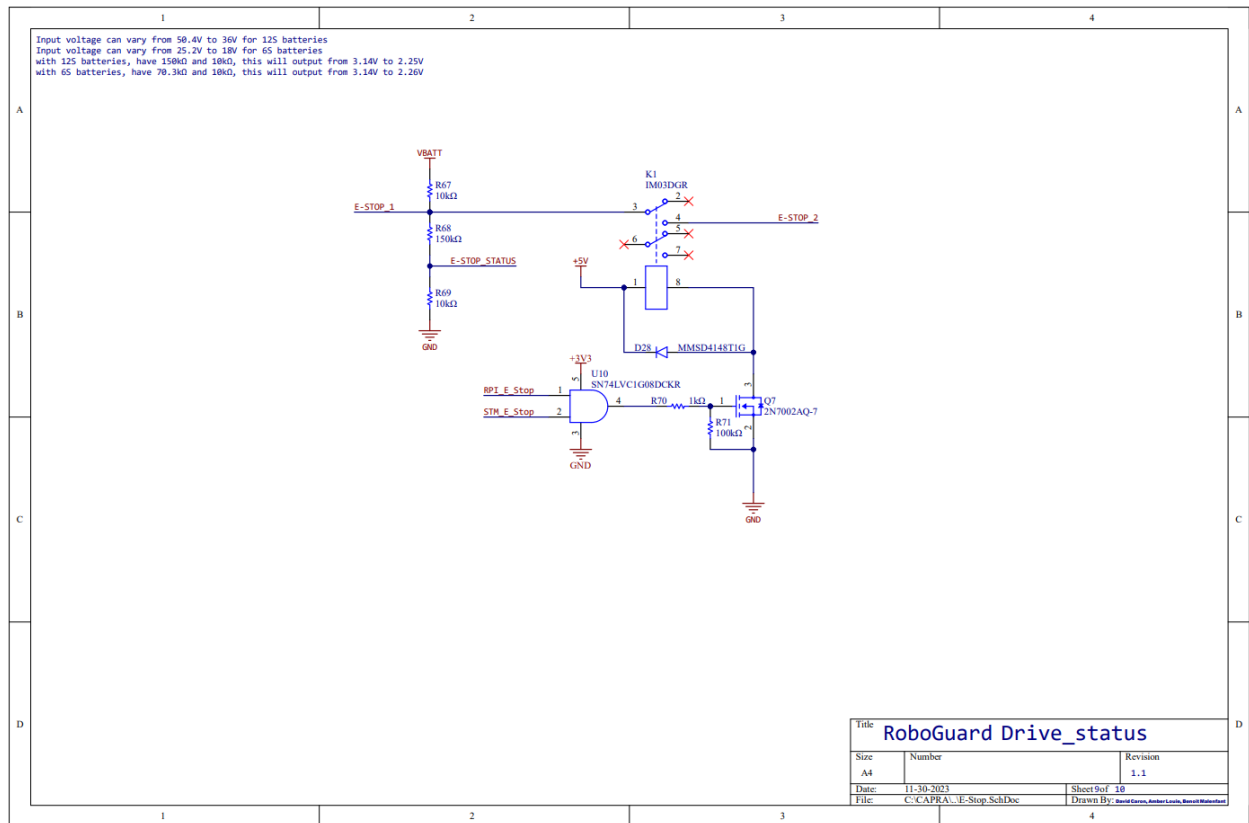
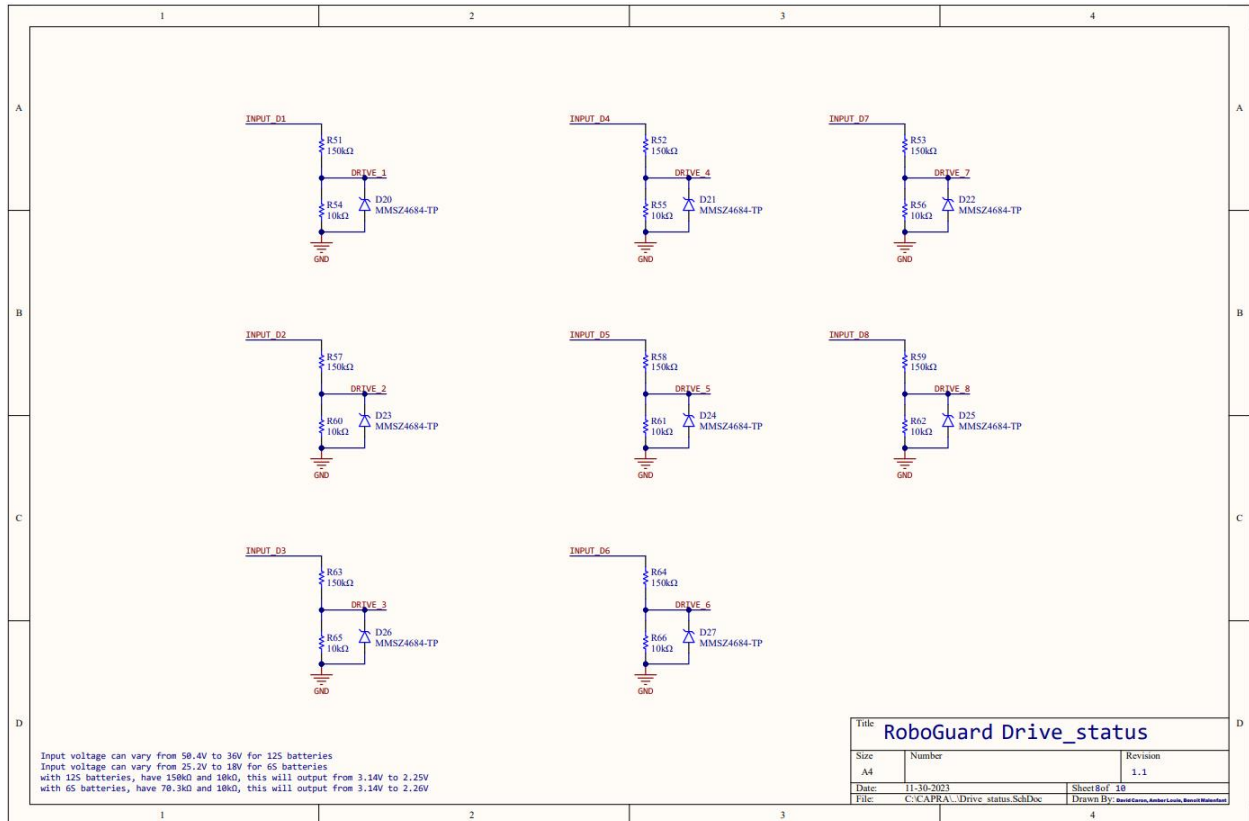
Index	Qty	Part Number	Description	Customer Reference
1	2	311-3485-1-ND	CAP CER 1UF 16V X7R 0603	C1, C37
2	50	1276-1033-1-ND	CAP CER 0.1UF 50V X7R 0603	C2, C4, C5, C6, C7, C11, C15, C18, C23, C28, C29
3	1	10-EEF-FN1K330PCT-ND	CAP ALUM 33UF 20% 80V SMD	C3
4	1	1276-1040-1-ND	CAP CER 2.2UF 16V X5R 0603	C8
5	4	1276-1187-1-ND	CAP CER 20PF 50V COG/NP0 0603	C9, C10, C33, C34
6	1	311-1344-1-ND	CAP CER 0.1UF 50V X7R 0603	C12
7	1	399-C1206C104KMREC7800CT-ND	CAP CER 1206 0.1UF 63V X7R 10%	C13
8	2	1276-1023-1-ND	CAP CER 22PF 50V COG/NP0 0603	C16, C17
9	2	490-6539-1-ND	CAP CER 47UF 16V X5R 1210	C19, C20
10	1	445-4497-1-ND	CAP CER 2.2UF 100V X7R 1210	C22
11	1	478-10807-1-ND	CAP CER 8.2PF 50V COG/NP0 0603	C24
12	3	490-7202-1-ND	CAP CER 10UF 25V X5R 0603	C25, C26, C27
13	1	754-1934-1-ND	LED GREEN CLEAR 25MMD	D1
14	1	SK810L-TPMSCT-ND	DIODE SCHOTTKY 100V 8A SMC	D2
15	2	516-1422-1-ND	LED RED DIFFUSED CHIP SMD	D3, D4
16	1	MMSD4148T1GOSCT-ND	DIODE GEN PURP 100V 200MA SOD123	D5
17	5	150-MIMAD1108E3/TR13CT-ND	TVS DIODE 75VWM 16SOIC	D6, D7, D8, D9, D10
18	9	MMSZ4688-TPMSCT-ND	DIODE ZENER 4.7V 500MW SOD123	D11, D12, D13, D15, D16, D17, D18, D19, D20
19	21	MMSZ4684-TPMSCT-ND	DIODE ZENER 3.3V 500MW SOD123	D14, D21, D22, D23, D24, D25, D26, D27, D28, D29
20	3	F1456CT-ND	FUSE BRD MNT 1A 63VAC 63VDC 1206	F1, F2, F3
21	1	SF-1206S200M-2CT-ND	FUSE BOARD MOUNT 2A 63VDC 1206	F4
22	1	D50P24A4GV00LF-ND	CONN D-SUB PLUG 50POS VERT SLDR	J1
23	2	609-3695-1-ND	CONN HEADER SMD 10POS 1.27MM	J2, J3
24	1	26-U.FL-R-SMT-1(01)CT-ND	CONN U.FL RCPT STR 50 OHM SMD	J4
25	1	732-61612102121405CT-ND	WR-SMB PCB CONNECTOR SMT JACK	J5
26	1	732-61304021821-ND	WR-PHD 2.54 MM DUAL SOCKET HEADE	J6
27	1	PB1172CT-ND	RELAY TELECOM DPDT 5A SV	K1
28	1	732-1207-1-ND	FIXED IND 8.2UH 6.25A 20MOHM SMD	L1
29	1	150-WLR089U0-I/RM-ND	RF TXRX MODULE U.FL SMD	MD1
30	3	SQJ479EP-T1 GE3CT-ND	MOSFET P-CH 80V 32A PPAK SO-8	Q1, Q3, Q5
31	4	2N7002AQ-7DICT-ND	MOSFET N-CH 60V 180MA SOT23	Q2, Q4, Q6, Q11
32	2	311-470GRCT-ND	RES 470 OHM 5% 1/10W 0603	R1, R22
33	26	311-100KHRCT-ND	RES 100K OHM 1% 1/10W 0603	R2, R3, R6, R7, R32, R33, R34, R38, R39, R40, R4
34	31	311-10.0KHRCT-ND	RES 10K OHM 1% 1/10W 0603	R4, R5, R10, R11, R24, R25, R26, R27, R28, R50,
35	3	311-1.00MHRCT-ND	RES 1M OHM 1% 1/10W 0603	R8, R9, R14
36	12	311-1.00KHRCT-ND	RES 1K OHM 1% 1/10W 0603	R12, R13, R29, R30, R31, R35, R36, R37, R41, R42
37	21	311-150KHRCT-ND	RES 150K OHM 1% 1/10W 0603	R15, R16, R47, R48, R49, R53, R54, R55, R59, R60
38	1	311-60.4KHRCT-ND	RES 60.4K OHM 1% 1/10W 0603	R18
39	2	311-0.0HRCT-ND	RES 0 OHM JUMPER 1/10W 0603	R17, R102
40	1	2019-RK73H1JTTD1542FCT-ND	RES 15.4K OHM 1% 1/10W 0603	R19
41	1	13-AC0603FR-07249KLCT-ND	RES SMD 249K OHM 1% 1/10W 0603	R20
42	1	311-11.5KHRCT-ND	RES 11.5K OHM 1% 1/10W 0603	R21
43	1	311-330GRCT-ND	RES 330 OHM 5% 1/10W 0603	R23
44	1	450-1129-ND	SWITCH TACTILE SPST-NO 0.05A 24V	SW1
45	1	497-15376-ND	IC MCU 32BIT 512KB FLASH 64LQFP	U1
46	1	497-STLINK-V3MODS-ND	ST-LINK V3 PROG FOR STM32	U2
47	1	MCP2558FD-H/SN-ND	IC TRANSCEIVER 1/1 8SOIC	U3
48	1	MCP2518FDT-H/SLCT-ND	IC CAN CONTROLLER SPI 14SOIC	U5
49	1	296-45534-1-ND	IC REG BCK SPLIT RAIL ADJ 8SOPWR	U6
50	1	497-3446-1-ND	IC REG LINEAR 3.3V 1.5A DPAK	U7
51	1	828-1058-1-ND	IMU ACCEL/GYRO/MAG I2C 28LGA	U8
52	1	828-1077-1-ND	SENSOR GAS/HUM/PRES/TEMP I2C OUT	U9
53	1	296-24101-1-ND	IC ADC 12BIT SAR 16TSSOP	U10
54	1	296-11602-1-ND	IC GATE AND 1CH 2-INP SC70-5	U11
55	1	XC2076CT-ND	CRYSTAL 8.0000MHZ 20PF SMD	Y2
56	1	2151-RH100-20.000-10-1010-TRCT-ND	CRYSTAL 20.0000MHZ 10PF SMD	Y3
57	1	XC1307CT-ND	CRYSTAL 32.7680KHZ 6PF SMD	Y3
58	4	732-10549-ND	Hex Standoff Threaded M2.5x0.45 Steel 0.433" (11.00mm)	STANDOFF PI
59	4	36-29300-ND	M2.5x0.45 Pan Head Machine Screw Slotted Drive Steel	VIS PI
60	9	BC2380-ND	THERM NTC 10KOHM 3984K RING LUG	--
61	1	ARF2170-ND	CBL ASSY U.FL UMCC PLG-PL 1.772"	--
62	1	609-5866-ND	CONN D-SUB HOUSING RCPT 50POS	--
63	50	609-1475-ND	CONN D-SUB SOCKET 20-24AWG CRIMP	--

Schématique de RoboGuard









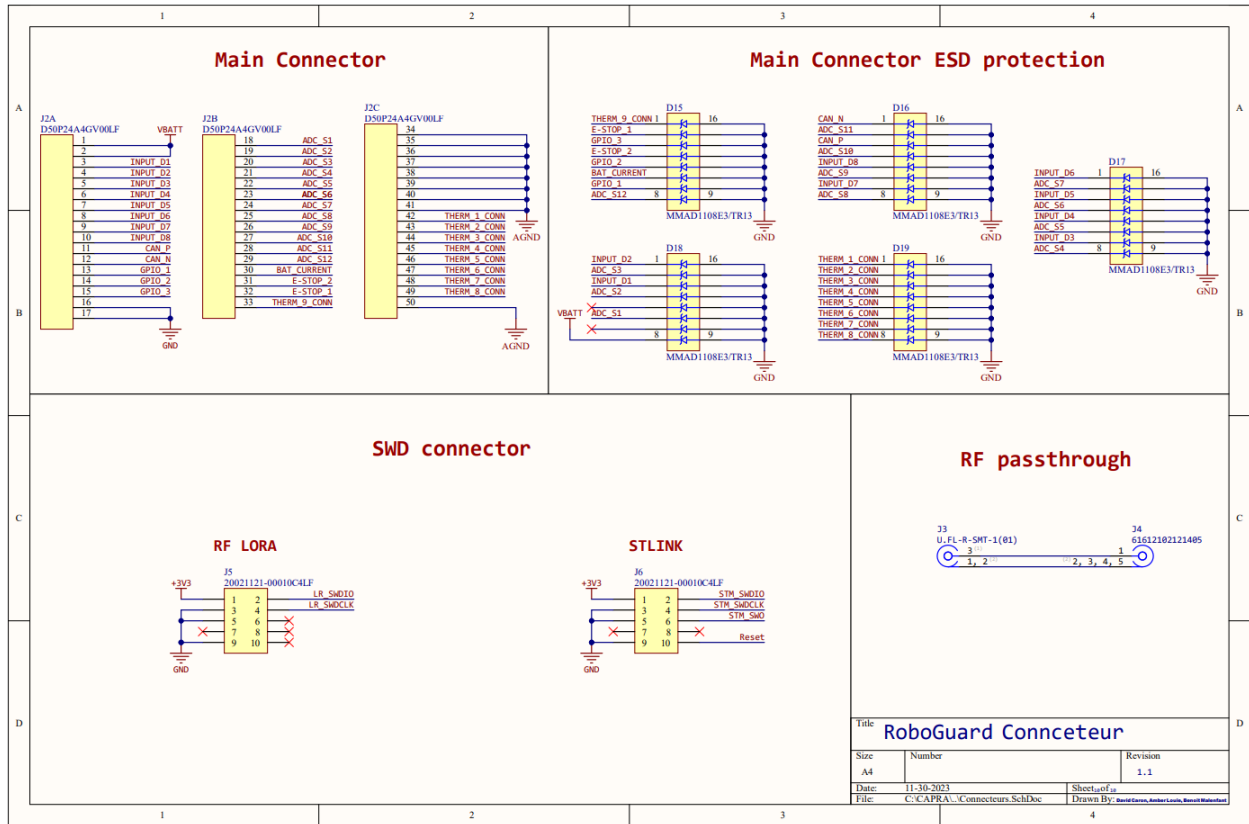


Photo de RoboGuard – 2D

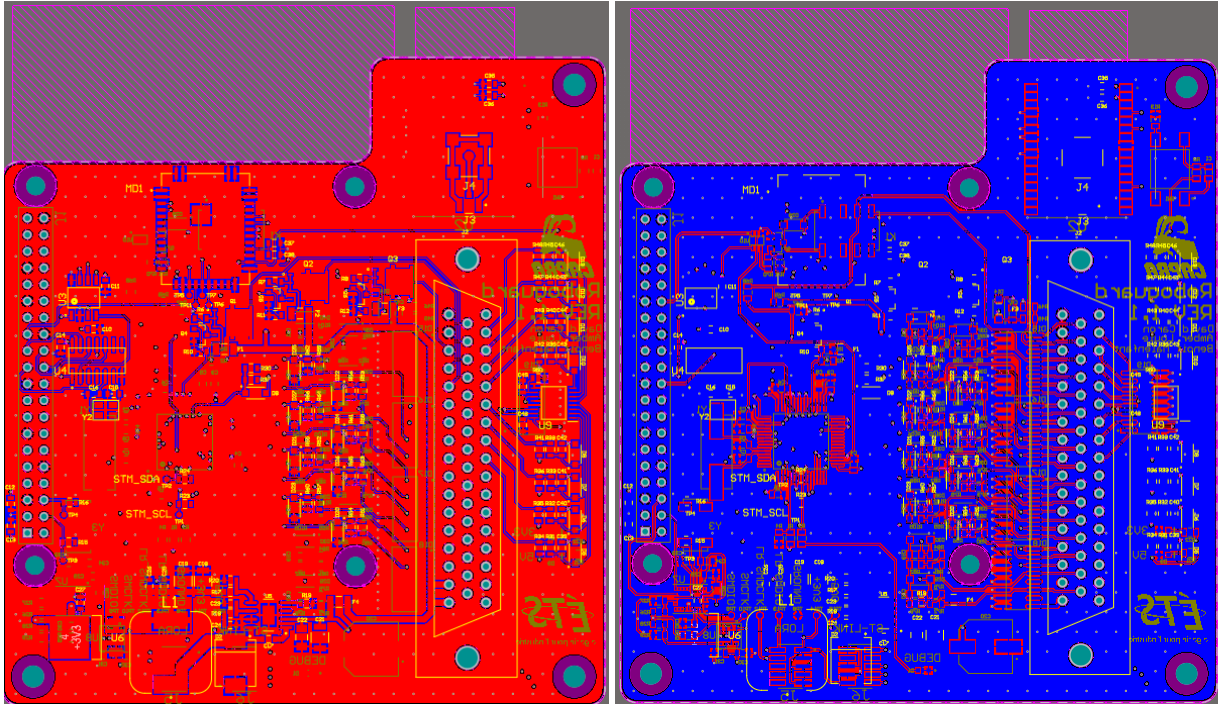


Photo de RoboGuard – 3D

