

HAUTE ÉCOLE D'INGÉNIEUR DU VALAIS

REPORT NAME

COURSE NAME

Author Name
22 janvier 2022

Table des matières

1 Partie mécanique	2
1.1 Banc de test	2
1.1.1 Fausse neige (confettis)	3
1.1.2 Canon à confettis	3
1.2 Boitier	7
1.2.1 Vitre	7
1.2.2 Premier prototype	8
1.2.3 Version finale du boitier	9
1.2.4 Module électronique	12
1.2.5 Bras de fixation	13
1.2.6 LoRaSnow Testbox	14
1.3 Synthèse des résultats	15

Chapitre 1

Partie mécanique

Dans le but d'effectuer une série de tests avec les capteur choisis, il a fallu simuler un environnement similaire aux conditions réelles. Le premier défi est de simuler de la neige en plein été. Etant donné que des canons à neige ou autres dispositifs équivalents n'étaient pas disponibles, de la fausse neige a dû être fabriquée. Cependant, simuler des chutes de neige implique des importantes salissures. Un banc de test a donc été mis en place pour effectuer ces tests de manière propre. Pour simuler la neige qui tombe, un canon à confettis a permis de le faire. Ces mesures ont grandement aidé à l'avancement du projet.

Le deuxième grand défi est de compacter toute l'électronique dans un boîtier pouvant résister aux intempéries. Une carte de développement, une carte d'extension, des batteries ainsi que d'autres composants doivent être à l'abri dans ce boîtier. Pour assurer des mesures fiables et la survie de l'électronique, l'étanchéité du boîtier est nécessaire. La simplicité du démontage est aussi recherchée, elle permettra aux personnes de gagner du temps lors du montage ou de la maintenance.

1.1 Banc de test

Durant l'étape de recherche, deux méthodes de mesure ont été retenues. Cependant, les possibilités pour attester de leur bon fonctionnement sont restreintes. Afin d'avoir un espace pour effectuer des tests volatiles sans impacter nos collègues, un banc d'essai a été mis en place.

Il est nécessaire que ce banc de test soit assez grand pour que trois personnes puissent effectuer des essais avec les capteurs choisis. Les nuages de confettis générés ne doivent en aucun cas gêner les autres personnes présentes dans la salle de classe. Une cage avec une base de 2m par 1.5m et 1.5m de haut a été développée. La figure 1.1 montre les étapes de conception de ce banc de test.

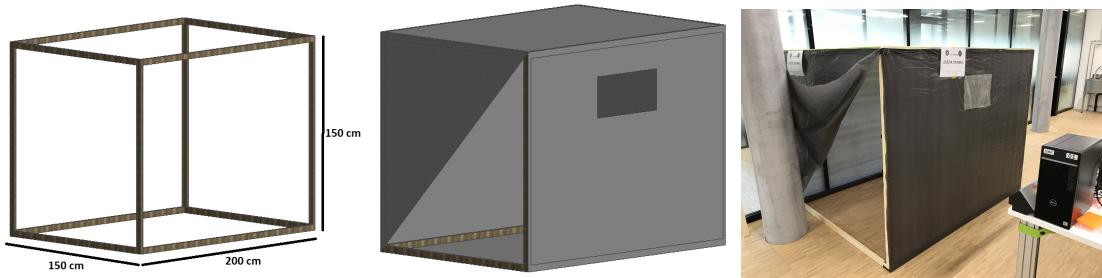


FIGURE 1.1 – Encombrement de la structure de test

Comme des essais doivent être réalisés dès les premières semaines du projet, la structure a dû être rapidement construite. Une structure en bois a donc été retenue pour sa simplicité de montage. Les façades de la cage ont été réalisées avec des bâches de protections épaisse que nous avons aggrafé sur

la structure. Les planches ont été assemblées à l'aide d'équerres en métal et de vis à bois.

Afin d'avoir une bonne rigidité, la structure aurait pu être triangulé avec des poutres en bois. Cependant, le banc de test étant exposé à quasiment aucune contrainte mécanique, la rigidité ajoutée par les bâches de protections est largement suffisante. Cette configuration nous a permis d'économiser du temps et de l'argent.

1.1.1 Fausse neige (confettis)

Problématique

Simuler de la neige en plein été représente un défi supplémentaire. La température ne jouant pas en notre faveur, la solution retenue est d'utiliser des confettis blancs. À la suite d'une commande impossible de confettis (rupture de stock), nous avons rapidement dû trouver une autre solution.

Méthode

La première idée envisagée consiste à regarder dans les bacs des perforatrices automatiques situées dans les imprimantes de l'école. Malheureusement ces derniers étaient vidés régulièrement. La quantité trouvée était plus qu'insuffisante.

La deuxième solution, celle qui a été retenue, est d'utiliser la déchiqueteuse du secrétariat. Cette démarche n'était pas des plus écologique, mais elle a permis de pouvoir créer les confettis rapidement. Un paquet de feuille blanche a été détruit pour fabriquer un carton plein de lamelle blanche s'apparentant à des confettis ou de la grosse neige.

Le remplissage du carton à la figure 1.2 a pris environ une heure.

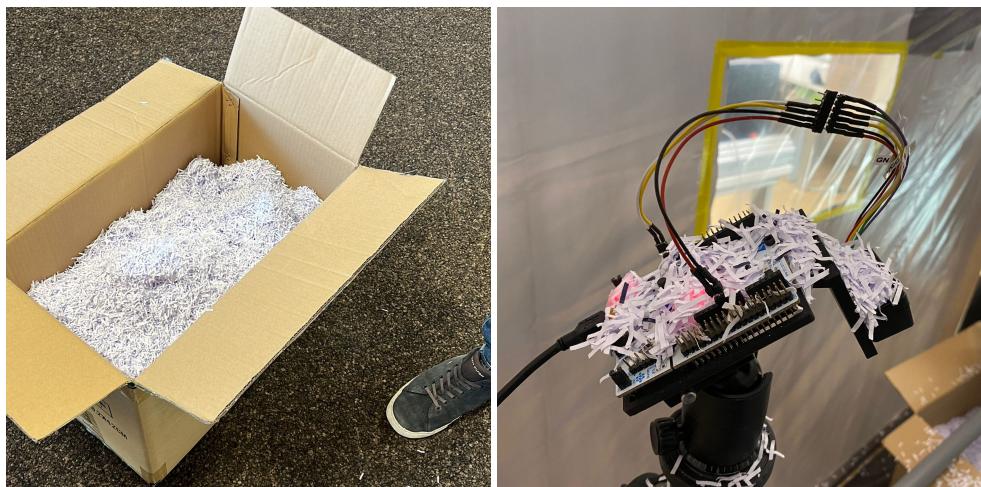


FIGURE 1.2 – Aspect des confettis fabriqués

1.1.2 Canon à confettis

La meilleure solution pour simuler la chute des flocons est de projeter des confettis vers le haut de la manière la plus continue possible. Les premiers essais ont été effectués en les jetant manuellement devant les capteurs. Cependant, un débit constant était nécessaire afin de pouvoir effectuer des séries de mesures et déterminer plus précisément les erreurs.

Principe de fonctionnement

Des recherches concernant des solutions déjà existantes ont été effectuées. Malheureusement, la plupart utilisent un principe d'à-coup d'air comprimé, un effet non désiré. Finalement, un canon avec un débit d'air plus faible a été retenu, fonctionnant par effet Venturi. Le principe de base (inspiré des carburateurs) est, grâce à un débit d'air régulier dans notre cas, d'aspirer des confettis introduits dans un réservoir grâce à une baisse de pression à un endroit précis. La première version est constituée d'un tube principal avec une réduction de section, où on retrouve un débit d'air constant. Les confettis sont stockés dans un réservoir au-dessus de la zone de dépression, d'où ils sont aspirés vers un petit coude, leur permettant de mieux couler dans le tube principal.

Sur le schéma de la figure 1.3, le principe du canon y est représenté. Le débit d'air constant (en noir) arrive au niveau du réservoir, la section diminuant, la pression diminue aussi. Ainsi, un phénomène d'aspiration se produit. De cette manière, un mélange d'air et de confettis est projeté.

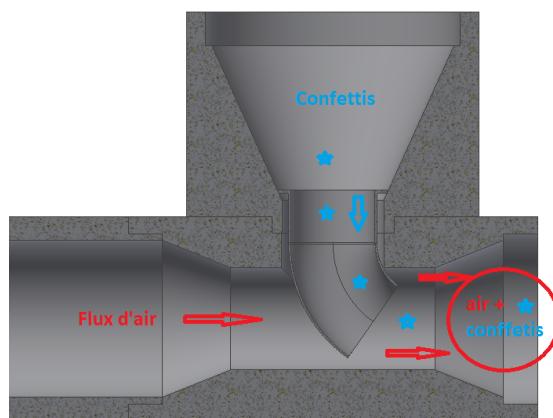


FIGURE 1.3 – Principe du canon à effet Venturi

Cette première version fut rapidement envoyée à l'atelier pour être imprimée afin d'effectuer les premiers tests et les éventuelles corrections du canon. La figure 1.4 montre le tube principal imprimé en PETG grâce à l'imprimante 3D de l'école.



FIGURE 1.4 – Exemple d'impression 3D du canon

Turbine

Un paramètre indispensable est d'avoir une source d'air continue avec un débit satisfaisant. La salle de classe étant équipée d'air comprimé, il suffit de l'utiliser pour avoir un débit d'air constant. Cependant, le bâtiment étant encore en travaux, les raccords d'air n'étaient pas sertis. Une autre solution doit être trouvée. Une turbine alimentée par un moteur à courant continu se trouve être la bonne solution.

Premièrement, ce dispositif est relativement simple. En effet, pour régler la vitesse de rotations, il suffit de changer la tension aux bornes du moteur. Deuxièmement, la mécanique est facilement intégrable au canon. Cette solution permet de ne plus se soucier des problèmes de débit d'air. La figure 1.5 montre la pièce d'adaptation entre la turbine et le tube principal.



FIGURE 1.5 – Turbine DC

Problèmes rencontrés

A la suite d'une série de tests, plusieurs éléments se sont révélés problématiques. Premièrement, les confettis confectionnés ont une tendance à s'enchevêtrer les uns dans les autres, et cela réduit considérablement leurs capacités à couler dans le réservoir. Ce dernier se retrouvait sans cesse bouché. Grace aux tests, le fait d'agrandir le passage des confettis permettra d'avoir un meilleur écoulement et de limiter la formation de bouchons.

Solution apportée

En prenant en compte les problèmes survenu lors des premiers essais, une deuxième version a été modélisée, cette fois-ci avec un réservoir plus grand et un angle de remplissable plus faible. Le coude passe de 28mm de diamètre à 34 mm. Ce dernier est maintenant directement imprimé dans le tube principal afin d'éviter les angles trop saillants qui pourraient causer un blocage, comme le montre la figure 1.6. Afin d'obtenir un coude plus large il a fallu augmenter le changement de section dans le tube principal. Nous aurions eu la possibilité de totalement refabriquer la pièce pour avoir une plus grande aspiration. Cependant, le fait de garder les dimensions de bases permettait de gagner du temps et d'éviter de relancer des impressions 3D inutilement.

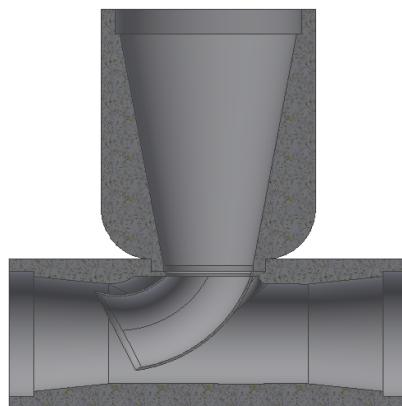


FIGURE 1.6 – Deuxième version du canon

Lors des essais de la nouvelle version, le changement était notable. Le fait d'avoir augmenté le diamètre du coude et de l'avoir imprimé en une fois avec le tube principal a réduit fortement les angles saillants. Les lamelles de papiers continuaient à se coincer de temps en temps mais l'objectif d'avoir un débit constant pendant plus d'une minute a pu largement être atteint. Le canon était même capable s'il était placé réservoir vers le bas d'aspirer les confettis comme un aspirateur et de les rejeter comme de la neige. On peut voir sur la figure 1.7 le canon en action.

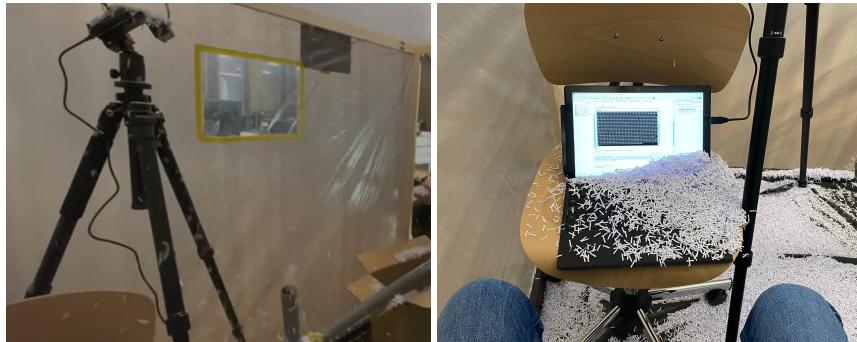


FIGURE 1.7 – Mise en fonction du canon

Pour l'assemblage des différentes pièces du canon, comme ces dernières étaient très bien ajustées et tenaient entre elles, utiliser des colles fortes spécifiques n'a pas été nécessaire. L'utilisation de colle chaude pour garantir un non-détachement et un démontage plus simple a été utilisé. Certaines pièces étant interchangeables, elles ne pouvaient pas être collées. Par conséquent, l'utilisation de scotch pour garantir aucun déboitements a été privilégié. Cet appareil a surtout été conçu dans un but d'effectuer les mesures rapidement et le temps de conception/réalisation était très court. C'est pourquoi la complexité des fixations n'a pas été une priorité. L'objectif qui était d'avoir un débit de neige constant a donc été atteint. La figure 1.8 montre l'assemblage final du canon à confettis.



FIGURE 1.8 – Ensemble final du canon à confettis

1.2 Boitier

L'électronique ainsi que les capteurs doivent être protégés, les mesures se passant en milieu non favorable (neige, pluie, vents...). La conception du boitier devra assurer une bonne étanchéité des composants. Pour cela il faut un boitier sur mesure répondant à beaucoup de critères comme un encombrement optimisé, une fixation permettant de mettre le boitier sur plusieurs styles de support et surtout une simplicité de conception. Garantir une simplicité de conception dans un encombrement limité est un défi complexe.

La configuration de base du boitier était d'avoir un LiDAR et une caméra qui travaillent ensemble, le LiDAR permettant d'avoir une mesure de hauteur de neige et la webcam d'avoir une mesure sur le débit de neige. Une carte de développement ainsi qu'une carte d'extension spécifique doit être intégré. Une batterie permet au système de fonctionner de manière autonome.

1.2.1 Vitre

Le premier défi réside dans le fait d'avoir une partie du boitier transparente tout en gardant ses caractéristiques d'étanchéité, le but étant d'incruster une ou plusieurs vitres pour que les capteurs puissent effectuer leurs mesures sans être perturbé par des problèmes d'eau ou de poussière. La vitre doit rester remplaçable facilement en cas de casse ou d'usure. Un appareil qui est particulièrement étanche et qui permet une vision à travers un boitier est la GoPro. Sur les anciens modèles, la vitre est démontable. Le système qui permet à cette dernière d'être étanche et composé d'un joint qui vient pincer entre les deux surfaces en contact. Le principe étant le même que celui recherché, il a été retenu et adapté. La solution est plus amplement détaillée à la figure 1.9, la vitre en bleu vient pincée sur le joint par la plaque du haut. La pression est maintenue par les vis ce qui garantit l'étanchéité.

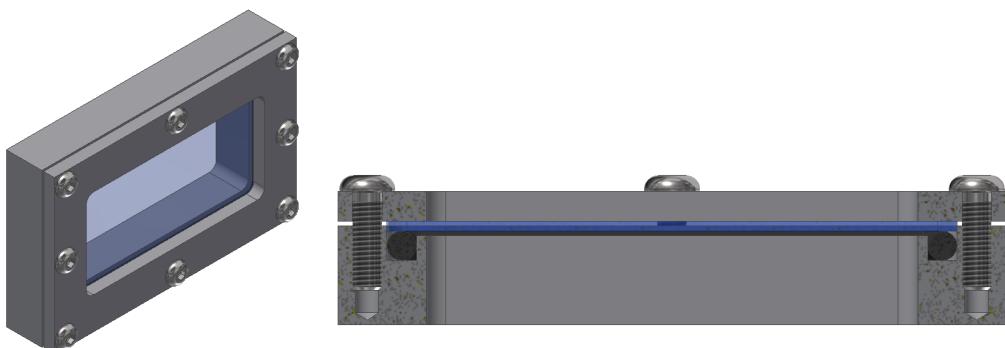


FIGURE 1.9 – Vitre et jointure

Dans le cas où ces pièces sont faites en plastique, l'utilisation de vis auto taraudeuse ou d'insert filetés seraient utilisés. Les vis auto taraudeuses sont plus simple à mettre en place et tout aussi efficace. Dans le cas de pièces métalliques, un simple taraudage suffit. L'utilisation de frein filet est envisageable mais étant donné que la pièce sert un joint élastique, il devrait absorber la plupart des vibrations.

Pour permettre au capteur de faire des mesures, il faut une zone du boitier transparente. Un verre était la solution. Cependant ce n'est pas aussi simple. En effet, le capteur fonctionne dans les infrarouges proches (940nm). Tous les verres ne permettent pas le passage de ces rayons. Sur le graphique de la figure 1.10, la capacité à laisser passer les rayons en fonction de la longueur d'onde est exprimé. Sans étonnement, le verre de quartz est le plus adapté.

De plus, les verres de quartz et de silice offrent une grande résistance aux hautes températures et aux chocs thermiques. Ils ont une grande homogénéité et permettent une excellente transmission de la lumière visible, mais aussi des rayonnements ultraviolets et infrarouges proches¹.

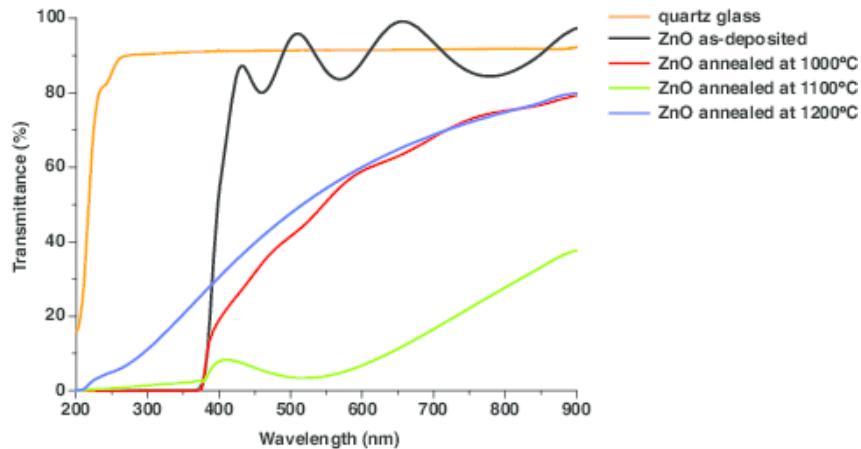


FIGURE 1.10 – Transmittance de différents matériaux

1.2.2 Premier prototype

Ouverture

À la suite de ça, un prototype de boîtier a été réalisé pour se rendre compte de l'encombrement, de la praticité et du design. Il a été choisi de mettre l'ouverture à l'arrière du boîtier, comprenant un système d'étanchéité démontré sur la figure 1.11. Le maintien de la pression sur le joint était fait grâce à quatre vis qui venait directement prendre dans la base du boîtier. Cette manière de fixer permet de ne pas avoir de trou traversant le boîtier. Cette méthode est la même que sur celle utilisé dans de la plupart des boîtiers étanches.

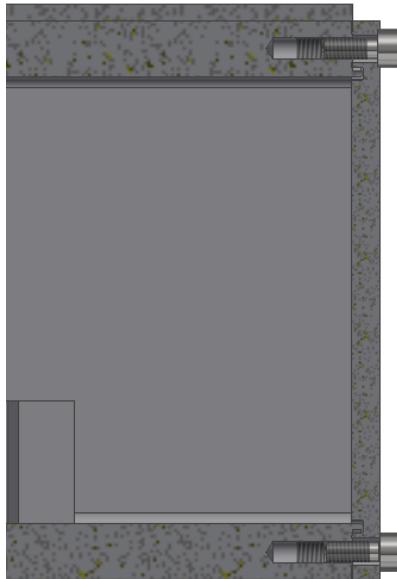


FIGURE 1.11 – Ouverture arrière du boîtier

Encombrement

Comme le boîtier possède un encombrement de 200mm x 100mm x 100mm, il faut une électronique de moyenne taille. La figure 1.12 montre l'espace disponible dans le boîtier, sans les batteries, le capteur et le module d'extension.

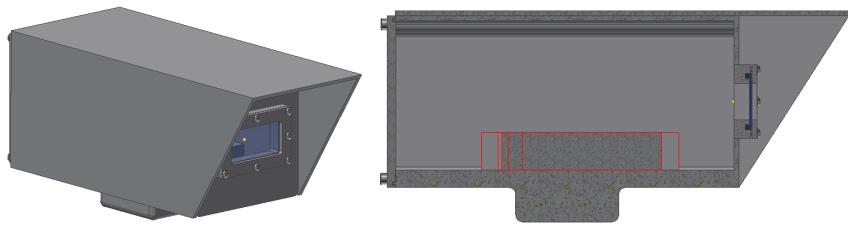


FIGURE 1.12 – Encombrement du boîtier, version 1

En avançant dans le design du boîtier, des difficultés concernant la fixation de l'électronique dans le boîtier se sont manifesté. L'utilisation d'une casquette devenait aussi complexe, car il faut éviter à tout prix d'avoir des perçages traversants. La fixation du bras a été pensée pour se trouver sous le boîtier. Cependant elle aurait aussi pu être prise sur les côtés en englobant la casquette. À la suite de tous ces problèmes, le design a été complètement revisité.

1.2.3 Version finale du boîtier

Le dernier design est inspiré des caméras de surveillance récente. Ce boîtier sera conçu à base de polymère, qui permet de limiter les transferts de chaleurs et les coûts.

Matériaux

Les deux matériaux les plus souvent retrouvés dans l'industrie pour les boîtiers sont l'acrylonitrile butadiène styrène (ABS) et le polycarbonate (PC). Le polycarbonate n'apprécie pas d'être exposé trop longtemps à un environnement humide. Cela pourrait provoquer de l'hydrolyse et dégrader le boîtier. L'ABS quant à lui est très résistant. Il est notamment utilisé pour faire des barques de secours. L'injection de ce polymère est très répandue. Il est notamment utilisé pour fabriquer les briques *Lego*. Ce terpolymère montre une bonne résistance aux chocs jusqu'à -40 °C. Sa température de transition vitreuse se situe aux alentours 110 °C, ce qui est largement suffisant dans notre cas. Le problème de l'ABS est qu'il a une mauvaise résistance aux rayons UV. L'utilisation d'un revêtement de protection UV sous forme de peinture est envisageable. Ce processus permettrait d'augmenter la durée de vie du boîtier. Le prix de l'ABS se situe aux alentours de 3200 euros la tonne¹.

L'aluminium aurait aussi pu être intéressant pour la fabrication de ce boîtier. Cependant la fonderie s'avère plus complexe et plus couteuse que l'injection plastique. Le prix de la matière aurait quasiment triplé. Les caractéristiques du polymère étant parfaitement suffisantes, l'intérêt d'utiliser de l'aluminium n'était donc pas nécessaires.

Ouverture

L'ouverture se fait par en haut à l'aide d'un couvercle amovible. Le système d'étanchéité est le même que les précédentes versions. Le maintien en pression sur le joint est effectué grâce à une fixation dites grenouillère, comme le montre la figure 1.13. La grenouillère dispense l'utilisation d'outils et permet un gain de temps lors de l'ouverture et la fermeture. Cette dernière possède une serrure intégrée pour dissuader de possibles vols.

1. <https://www.polyvia.fr/fr/prix-du-plastique-les-previsions-pour-2022>

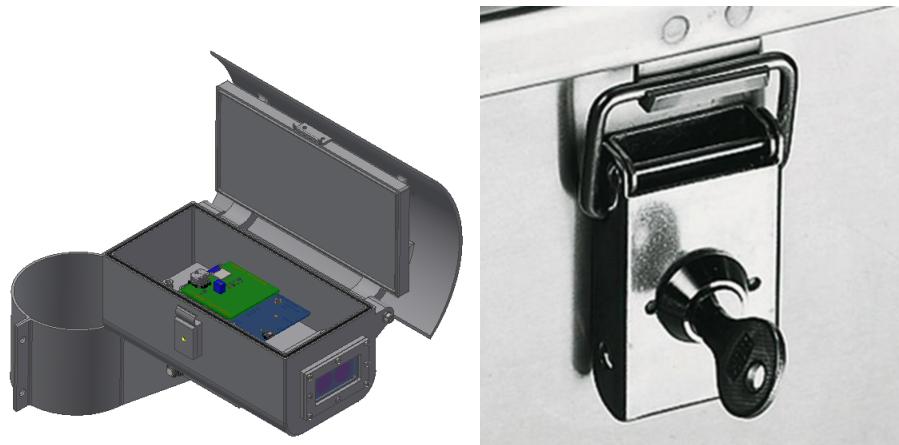


FIGURE 1.13 – Ouverture du boîtier, version 2 (à gauche), grenouillère pour la fermeture (à droite)

Pivot du couvercle

L'une des grandes forces de ce système est son ouverture simplifiée. En effet, le couvercle est fixé comme une trappe. Cette spécificité permet d'avoir un bien meilleur accès à l'intérieur du système. Cette particularité permet pouvoir manipuler aisément les éléments qui se situent à l'intérieur. Le pivot est assuré par un axe (tube) fileté à ses deux extrémités. Deux vis viennent maintenir de chaque côté l'axe afin qu'il ne puisse pas sortir de son logement. Le système d'ouverture est représenté à la figure 1.14.

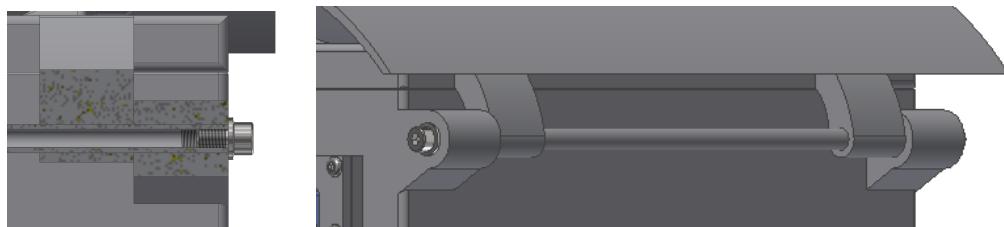


FIGURE 1.14 – Mécanisme du pivot

Fixation de la casquette

La casquette qui se situe sur le couvercle est facilement démontable pour mettre un autre modèle ou la changer en cas de dégradation. Elle est fixée par quatre vis imbus qui viennent se loger dans des inserts situés sur le dessus du couvercle. Les fixations de la casquette sont posées sur le couvercle, cette configuration permet de soulager les efforts sur les supports, comme le montre la figure 1.15.



FIGURE 1.15 – Mécanisme du pivot

Fixation du module

En ce qui concerne la partie intérieure, quatre supports sont intégrés dans le fond du boîtier. Ces derniers sont dimensionnés pour accueillir des inserts plastiques. Toute la partie électronique pourra par la suite venir se fixer sur le dessus. La figure 1.16 montre ces fixations.

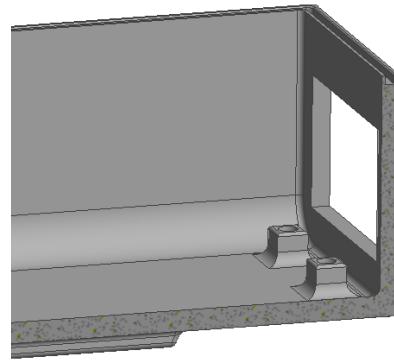


FIGURE 1.16 – Fixation du module

Fixations des supports

La fixation du bras sera assurée par quatre écrous carrés situés sous le boîtier, comme le montre la figure 1.17. Cette solution permet de ne pas avoir à faire de trous dans le boîtier pour maintenir une bonne étanchéité. Ces écrous sont guidés dans une gorge afin d'être maintenus pendant le serrage. Le même principe est utilisé pour fixer des éléments dans les armoires d'automation.

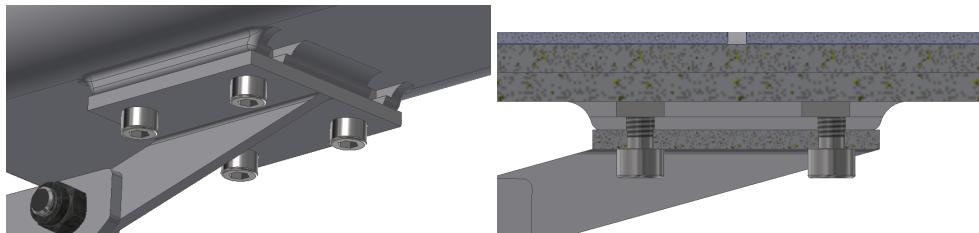


FIGURE 1.17 – Support de fixation du boîtier

1.2.4 Module électronique

Cette partie est consacrée au développement d'un module compact et simple composé de toute l'électronique, comme montré sur la figure 1.18. Ce module est fixé dans le boîtier grâce aux quatre plots de fixations situés dans le fond du boîtier. L'intérêt de concevoir une construction mécanique est de pouvoir soutenir tous les composants pour les empêcher de se déplacer à leur guise. La simplicité recherchée dans sa conception permet aux opérateurs de gagner du temps.

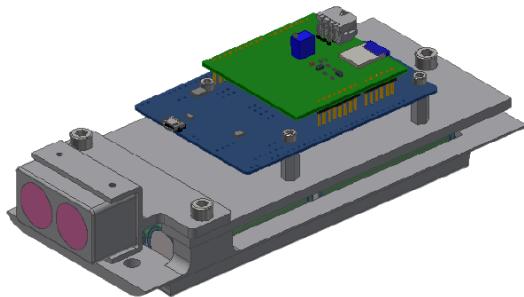


FIGURE 1.18 – Module électronique

Base du support des batteries

La pièce de base est prévue pour accueillir 6 batteries 18650, que l'on retrouve à la figure 1.19. Un espace légèrement plus grand est prévu. L'appellation 18650 signifie que l'élément rechargeable fait un diamètre de 18mm et une longueur de 65mm. Des petites fentes ont aussi été pensées pour faciliter un câblage série/parallèle entre les éléments. Cette pièce est la fondation du module électronique, elle sera naturellement fixée dans le boîtier grâce aux 4 trous de fixations.

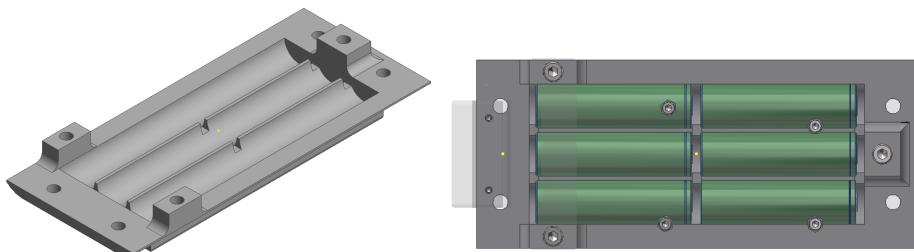


FIGURE 1.19 – Support à batteries

Plaque de fixation et PCB

Au-dessus de la pièce supportant les batteries, une plaque est fixée. Cette dernière est très importante dans l'ensemble. Elle permet grâce aux trois fixations situées aux extrémités de venir bloquer les batteries pour éviter qu'elles ne bougent. Ces trois trous sont prévus pour venir fixer la plaque sur le module du bas. Les quatre autres servent à fixer la partie PCB. Quatre vis à tête fraisée seront insérées dans les trous fraisés afin de venir fixer des entretoises en plastiques. Sur ces dernières, les circuits imprimés pourront être fixé à l'aide de vis en plastiques. Ces composants plastique permettent d'éviter tout risque de court-circuit. La figure 1.20 montre la plaque de fixation et le module électronique monté.

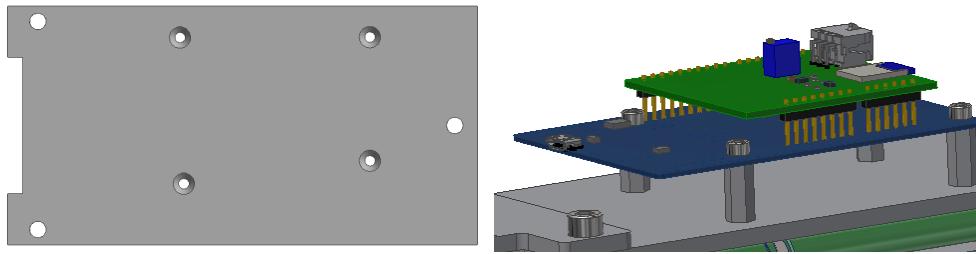


FIGURE 1.20 – Plaque de fixation pour la partie électronique

Support du LiDAR

Le capteur LiDAR ne possède pas de trou de fixation, seul deux fentes sont disponibles pour venir cliper un support sur ce dernier. Le fabricant préconise de le fixer avec des attaches plastiques ou du scotch double face. Ces solutions sont plutôt prévues à des fins de bricolage. Des essais de supports à base de clips ont été réalisé mais l'ajustement de ces derniers était problématique. C'est pour ça que la solution de pincer le capteur à l'aide de vis sans tête est parvenue comme la plus sûre et la plus simple. Le support qui permet de fixer le LiDAR dans la bonne position vient directement se fixer dans les trous de fixations du support à batteries. La figure 1.21 montre sous différents angles le support.

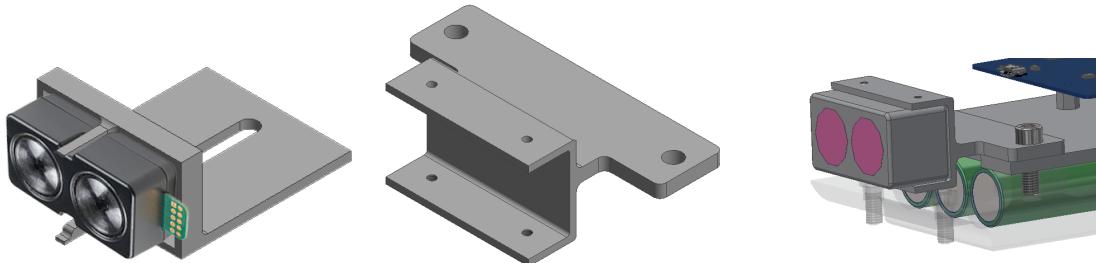


FIGURE 1.21 – Support pour le LiDAR

1.2.5 Bras de fixation

La partie fixation permet d'assurer un positionnement juste et précis de l'ensemble du boîtier. Cette dernière doit pouvoir se faire sur quasiment toutes les surfaces à dispositions comme les murs ou les lampadaires.

Support du boîtier

Le support du boîtier est une partie rigide en aluminium qui vient se visser sous le boîtier à l'aide quatre vis. Cette pièce est en deux parties. La première partie est une plaque carrée ayant les trous de perçage correspondant au boîtier. La deuxième est une autre plaque percée soudée perpendiculairement. Ce perçage permettra de jongler entre les systèmes de fixation désiré. Grâce à cette liaison par boulon, l'inclinaison du boîtier pourra être réglée.

En ce qui concerne le réglage précis de l'angle, un petit cadran autocollant pourrait être rajouté sur le support et une ligne autocollante sur le support du boîtier. Elle permettra de lire la valeur de l'inclinaison du boîtier. Cette petite subtilité permettra de faciliter le montage du boîtier et de pouvoir contrôler si la position est bonne sur le long terme.

La figure 1.22 montre la fixation au boîtier ainsi que le réglage d'angle.

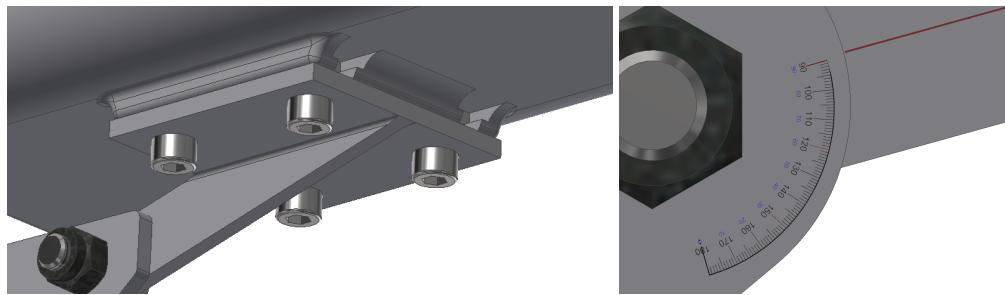


FIGURE 1.22 – Système de réglage de l’élévation

Support mural et tubulaire

L’objectif voulu est de pouvoir fixer le boîtier sur des lampadaires ou des poteaux. Un système de collier de serrage a donc été conçu pour répondre à cette problématique. Les deux arcs de cercle collé entre eux forment un ovale avec une aire plus petite que celle du poteau de fixation. En venant serrer les vis, une force de serrage agira naturellement sur le poteau et le boîtier sera bien fixé. Afin de régler la rotation azimutale, c’est-à-dire autours de l’axe du lampadaire, il suffit de placer le boîtier dans la position voulue. Une fois cette position atteinte, il faut bloquer l’ensemble boulonné. Ce dispositif permet deux degrés de liberté, l’azimut et l’élévation. La figure 1.23 montre les deux supports possibles de fixation.

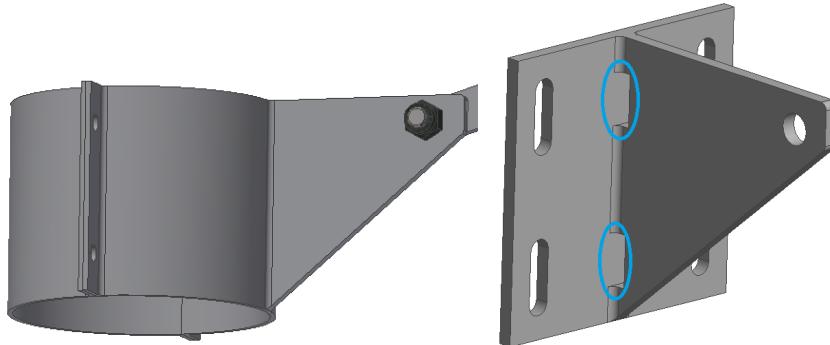


FIGURE 1.23 – Support de fixation tubulaire et mural

Un autre dispositif pour une fixation murale a aussi été pensé. Malheureusement dans cette configuration la rotation azimutale ne peut pas être réglée. Le seul degré de liberté est l’élévation. Les trous en bleus ont été pensés pour passer un éventuel collier de serrage pour un fixation spécial ou un montage provisoire.

1.2.6 LoRaSnow Testbox

Pour savoir si les simulations effectuées correspondaient avec la réalité, il a fallu tester le capteur en condition réelle. Cependant les chutes de neiges sont difficilement prévisibles. Le boîtier final était encore au stade de conception, il a fallu confectionner un élément temporaire pour protéger les composants durant les essais. Le LiDAR a été fixé sous le boîtier à l’aide de la fixation avec les clips. Ce type de fixation n’étant pas convaincant, une attache plastique a été rajouté pour augmenter la force de pincement des clips. Une autre fixation permettait de visser le boîtier sur un trépied. La figure 1.24 montre le boîtier temporaire ainsi que sa fixation.

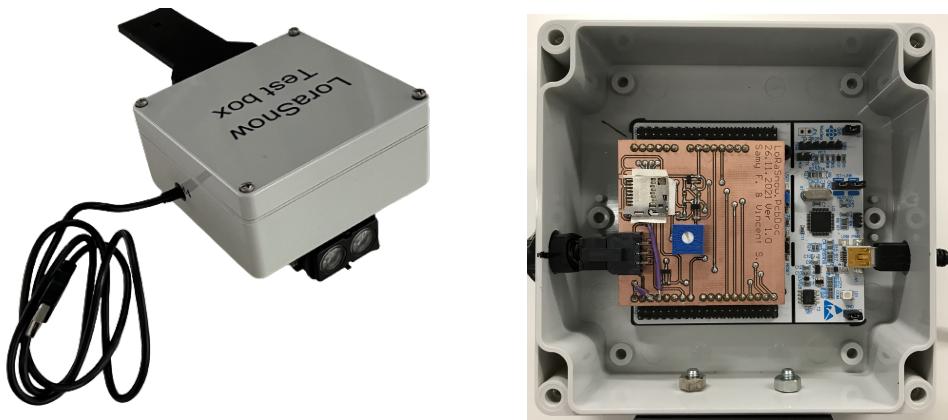


FIGURE 1.24 – LoRaSnow Testbox, intérieur et extérieur

1.3 Synthèse des résultats

Grace à un banc de test comprenant une cage d'essai et un canon à confettis. Plusieurs séries de mesures concluantes ont pu être réalisées. Le débit de neige produit par le canon étant réglable, il augmente les possibilités de mesures. La cage permet de contenir les nuages de confettis sans dégrader les conditions de travaux des autres usagers de la salle.

Différents designs de boîtier ont été imaginés avant d'arriver à la solution finale. L'étanchéité fut la partie plus problématique lors de la conception. L'utilisation de joint torique pincé permit de résoudre ces problèmes. L'ABS étant une matière très simple à injecter, la fabrication des pièces du boîtier serait corollaire. Le support du boîtier permet de régler à la fois l'élévation et l'azimut du boîtier. La partie amovible supérieure permet un très bon accès à la partie du module électronique. Elle se verrouille facilement grâce à une fermeture par grenouillère. L'ouverture est verrouillée grâce à la serrure incrustée dans la fixation.

Le module électronique se fixe simplement dans le boîtier à l'aide de 4 vis. Une structure mécanique permet de maintenir les batteries en place. Au-dessus des batteries, une plaque permet la fixation du capteur Lidar et des PCB. Suffisamment d'espace est prévu autour du module afin de pouvoir disposer aisément le câblage. La simplicité du module permet une manipulation rapide et simple des différents éléments.