

# Tube Pitot déporté

Détection de l'angle d'incidence au décrochage d'un  
avion par mesure de la vitesse et des accélérations

Meven Ricchieri  
2022 - 2023

Numéro de projet : 2230

Responsable : M. Juan José Moreno  
Mandataire : M. Vincent Seguin (pour AMPA)

# Table des matières

<b>1</b>	<b>Cahier des charges</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Pré-étude</b>	<b>2</b>
2.1	Contexte . . . . .	2
2.2	Schéma de principe . . . . .	2
2.3	Schéma bloc détaillé . . . . .	3
2.4	Descriptions des blocs détaillées . . . . .	3
2.4.1	Bloc Générateur (turbine) . . . . .	3
2.4.2	Bloc Capteur de pression . . . . .	4
2.4.3	Bloc Tube Pitot . . . . .	4
2.4.4	Bloc IMU . . . . .	5
2.4.5	Bloc Connecteur USB . . . . .	5
2.4.6	Bloc Module BLE . . . . .	6
2.4.7	Bloc LED bleue . . . . .	6
2.4.8	Bloc MCU . . . . .	6
2.4.9	Bloc Alimentation . . . . .	6
2.4.10	Bloc Appareil Android . . . . .	7
2.5	Design mécanique . . . . .	7
2.6	Estimation du prix . . . . .	8
2.7	Faisabilité du projet . . . . .	8
<b>3</b>	<b>Design électronique</b>	<b>9</b>
3.1	Introduction . . . . .	9
3.2	Générateur . . . . .	9
3.3	LED de signalisation . . . . .	11
3.4	Piles . . . . .	12
3.5	Capteur de pression . . . . .	12
3.6	IMU . . . . .	13
3.7	Module Bluetooth . . . . .	14
3.8	MCU . . . . .	15
3.9	Alimentations . . . . .	17
3.10	Pull-up I2C . . . . .	18
<b>4</b>	<b>Annexes</b>	<b>19</b>

# 1 Cahier des charges

Le but du projet consiste à développer un système permettant de détecter l'angle d'incidence et la vitesse au décrochage d'un avion. La fixation de ce système doit être flexible afin de pouvoir l'installer sur différents types d'avions. L'emplacement de fixation ne doit pas se trouver dans le flux d'air provenant de l'hélice afin d'éviter que la mesure de vitesse ne soit faussée. Il doit également être miniaturisé au maximum afin de produire le minimum de traînée possible et de ne pas dépasser un poids de 500g. Les données acquises par les capteurs doivent être transmises de la partie déportée à un appareil Android se trouvant dans le cockpit de l'avion au travers une communication sans fil. L'appareil Android doit traiter et afficher les données reçues, si possible graphiquement (optionnel).

Le cahier des charges complet se trouve en annexes.

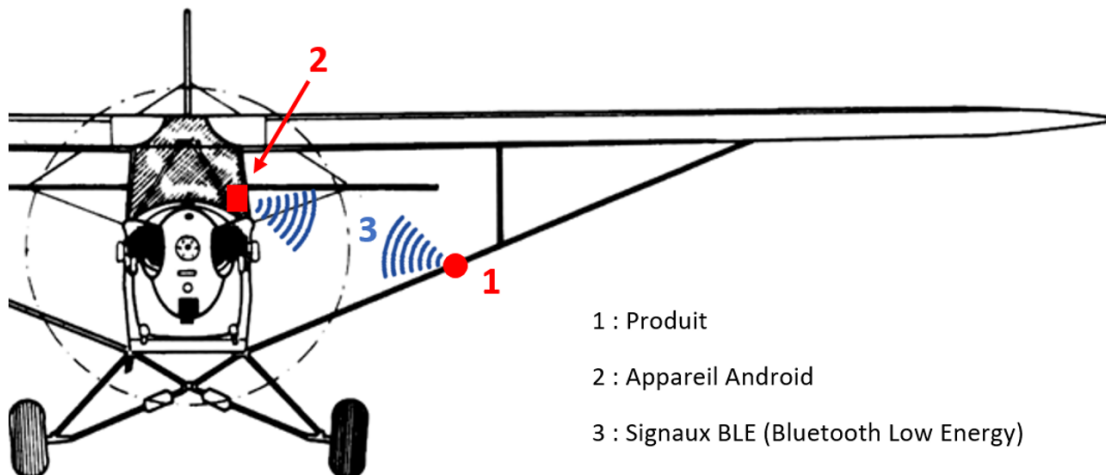
## 2 Pré-étude

### 2.1 Contexte

Cette pré-étude consiste à mener des recherches qui conduiront à une décision de lancer ou non le projet. Cette décision va reposer sur les difficultés de réalisation électrique, mécanique et software. Elle va aussi permettre d'imaginer et de comparer les différentes manières de réaliser les tâches et ainsi choisir la meilleure.

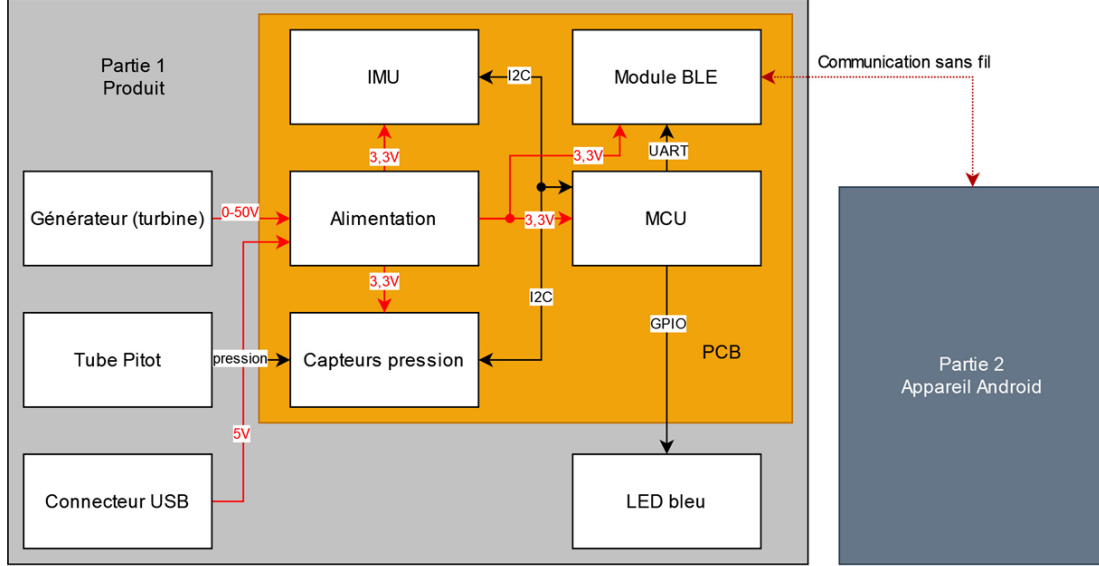
### 2.2 Schéma de principe

FIGURE 1 – Schéma de principe



## 2.3 Schéma bloc détaillé

FIGURE 2 – Schéma bloc détaillé



## 2.4 Descriptions des blocs détaillées

### 2.4.1 Bloc Générateur (turbine)

L'intérêt d'utiliser un générateur comme source d'énergie permet de simplifier l'utilisation du système, il n'y aura aucune maintenance à effectuer ou de batterie à charger. L'énergie cinétique de l'air en mouvement, par rapport à l'avion, va être captée par les aubes de la turbine axée à un générateur, ce qui va produire une tension. Le système va se mettre en marche une fois que l'axe du générateur-turbine aura atteint une certaine vitesse de rotation. Plus la vitesse sera grande, plus la tension générée sera élevée. Un simple moteur DC, va permettre de transformer cette énergie mécanique en énergie électrique. Il est possible d'utiliser d'autres technologies comme les moteurs brushless, qui ont un rendement bien meilleur, mais cela complexifie le circuit et augmente le prix. Dans ce projet, le rendement n'est pas primordial car le système ne consommera que très peu d'énergie.

$$U_t(V) = \frac{n}{k_n} - R_{mot} * I_L \quad [2] \quad (1)$$

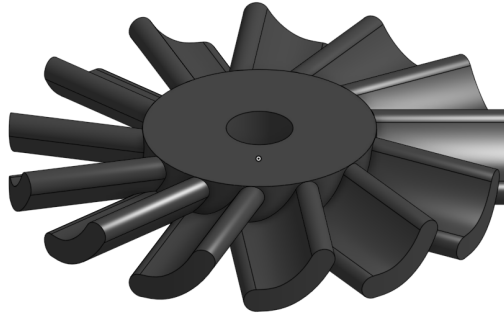
où :

$U_t$	=	Tension aux bornes du moteur DC (V)	
$k_n$	=	Constante de vitesse du moteur DC (rpm/V)	
$R_{mot}$	=	Résistance aux bornes du moteur DC ( $\Omega$ )	Puisque la valeur de la tension générée
$n$	=	Vitesse moteur DC (rpm)	
$I_L$	=	Courant de charge (I)	

réelle est dépendante de la vitesse air de l'avion, celle-ci ne sera jamais stable. Il faudra donc la transformer et la réguler avant de la transmettre aux composants électroniques, ce à quoi le bloc "Alimentation" sera destiné.

N'ayant pas de grandes connaissances dans le dimensionnement et le design de générateur-turbines, des recherches plus poussées seront nécessaires afin de rendre le système performant. Pour me faire une première idée, j'ai dessiné et imprimé une première turbine composée de 13 aubes puis j'ai effectué quelques tests. A l'aide d'un moteur DC, j'ai réussi à générer une tension d'environ 3V à une vitesse de 80km/h.

FIGURE 3 – Turbine de test N°1



#### 2.4.2 Bloc Capteur de pression

Le système sera équipé d'un capteur de pression différentielle qui permettra de mesurer la différence entre la pression statique et la pression totale. *"La pression statique, dans un fluide en mouvement, est la pression que mesure un capteur qui se déplace à la même vitesse que le fluide"* [3]. *"La pression totale dans un fluide (eau, air, etc.) est la somme de la pression statique, de la pression dynamique, et de la densité volumique d'énergie potentielle de gravité"* [4]. Grâce aux valeurs ainsi mesurées, il sera possible de calculer la vitesse du fluide, ce qui correspondra à la vitesse air de l'avion. Pour des vitesses inférieures à Mach 0.3 (200 nœuds), l'effet de compressibilité du fluide peut être négligé [5].

$$v(m/s) = \sqrt{\frac{2 * (p_t - p_s)}{\rho}} \quad [5] \quad (2)$$

où :

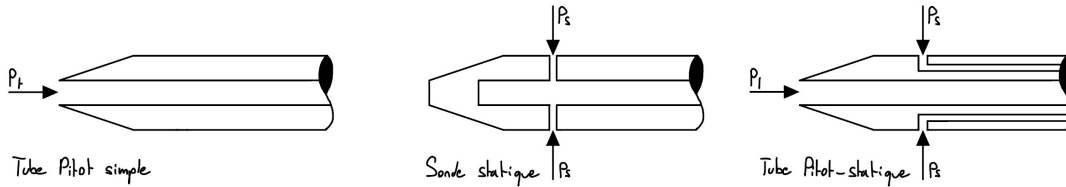
$v$	=	Vélocité du fluide (m/s)
$p_t$	=	Pression totale (Pa)
$p_s$	=	Pression statique (Pa)
$\rho$	=	Masse volumique du fluide ( $kg/m^3$ )

#### 2.4.3 Bloc Tube Pitot

Comme expliqué au point précédent, la vitesse se calcule grâce à la pression statique et totale, pour que le capteur différentielle ait accès à ces deux pressions, il faut ajouter deux entrées d'air. Ces entrées doivent être placées correctement car dans le cas contraire, la vitesse calculée ne sera pas correcte. L'entrée de la pression statique doit être perpendiculaire à l'écoulement local du fluide (non perturbé) alors que celle de la pression totale doit être parallèle à ce flux. Il existe 3 tubes différents, le premier, appelé tube Pitot simple, est simplement un tube perforé en son centre faisant office d'entrée d'air pour la pression totale. Le second, appelé sonde statique, est perforé latéralement permettant

l'entrée d'air pour la pression statique. Le troisième est une combinaison des deux premiers, il dispose d'une entrée pour la pression totale et d'une autre pour la pression statique. L'idéal serait d'utiliser ce dernier car il simplifierait l'implémentation mécanique du système. Les deux sorties du tube seraient reliées au capteur de pression différentielle par des tuyaux. Dans le cas où un tube Pitot simple serait utilisé, il serait nécessaire de perforer le boîtier du produit afin d'avoir accès à la pression statique. La décision du type de tube sera effectuée lors du design mécanique car il n'influence aucunement la conception électronique.

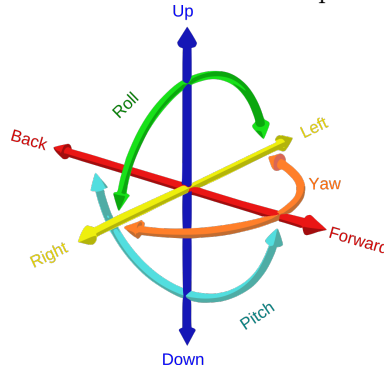
FIGURE 4 – Types de tubes Pitot



#### 2.4.4 Bloc IMU

La centrale inertielle comportera 6 capteurs, 3 gyromètres et 3 accéléromètres. *"Les gyromètres mesurent les trois composantes du vecteur vitesse angulaire (vitesses de variation des angles de roulis, de tangage et de lacet. Les accéléromètres mesurent les trois composantes du vecteur force spécifique. La force spécifique est la somme des forces extérieures autres que gravitationnelles divisée par la masse"* [1]. C'est grâce à ses capteurs qu'il sera possible de détecter le moment où l'avion commence à décrocher. La plupart de ces IMUs ont également un capteur de température intégré, la mesure de cette grandeur peut être intéressante puisqu'elle a une influence sur la valeur de la pression.

FIGURE 5 – Données mesurées par l'IMU



#### 2.4.5 Bloc Connecteur USB

Étant donné que le système n'aura pas de source d'énergie interne, un connecteur USB-C sera implémenté afin de pouvoir tester la communication ainsi que les capteurs, en amont du vol. Il permettra également d'alimenter le système lors de son installation sur l'avion, car il devra être positionné correctement à l'horizontale pour que les mesures soient fiables.

#### 2.4.6 Bloc Module BLE

Le transfert de données entre le produit et l'appareil Android, se fera au travers d'une communication sans fil Bluetooth Low Energy (BLE). Cette variante de Bluetooth permet de réduire significativement sa consommation par rapport au mode normal. Il sera tout de même possible qu'un module permettant de choisir le mode de fonctionnement soit implémenté. Les données transmises du produit à l'appareil Android seront principalement les valeurs lues par les capteurs alors que celle provenant de l'appareil seront plutôt des commandes ou réglages.

#### 2.4.7 Bloc LED bleue

Comme énoncé dans le CDC, la LED bleue va permettre d'indiquer l'état du système. La LED éteinte va signifier que le système n'est pas alimenté. Un clignotement toute les 2 secondes correspondra au système alimenté mais non appairé à un périphérique Bluetooth et finalement, 2 clignotements toute les 2 secondes correspondra à l'état fonctionnel, appairé et transmettant les données. La LED devra être visible de jour donc son emplacement et son intensité lumineuse devront être correctement défini.

#### 2.4.8 Bloc MCU

Le microcontrôleur sera obligatoirement un modèle 32Bit du fabricant Microchip. Il va faire le lien entre tous les périphériques implémentés, c'est à dire les composants d'entrées, IMU et capteur de pression et ceux de sortie, module BLE et LED. Selon les recherches effectués précédemment, le microcontrôleur devra au minimum contenir,

- Un module UART pour la communication avec le module Bluetooth
- Un module I2C pour la communication avec l'IMU et le capteur de pression
- Une PIN GPIO pour le contrôle de la LED

#### 2.4.9 Bloc Alimentation

Puisque la grande majorité des composants nécessaires, tel que le PIC ou les capteurs, fonctionnent avec une tensions de 3.3V, il faudra donc que la sortie de ce bloc soit proche de cette valeur. Le générateur va produire une tension bien supérieur à 3.3V, donc la meilleure option est d'utiliser un convertisseur Buck afin de l'abaisser. Il permettra d'avoir un bien meilleur rendement qu'un régulateur linéaire et donc limiter la consommation.

Composant	min	max
Module BLE (consommation non continue)	5mA	10mA
Microcontrôleur	5mA	10mA
Capteur pression différentielle	3mA	4mA
LED (consommation non continue)	10mA	20mA
Centrale inertielle	1mA	3mA
Total	24mA	47mA

La consommation totale devrait se situer entre 24mA et 47mA

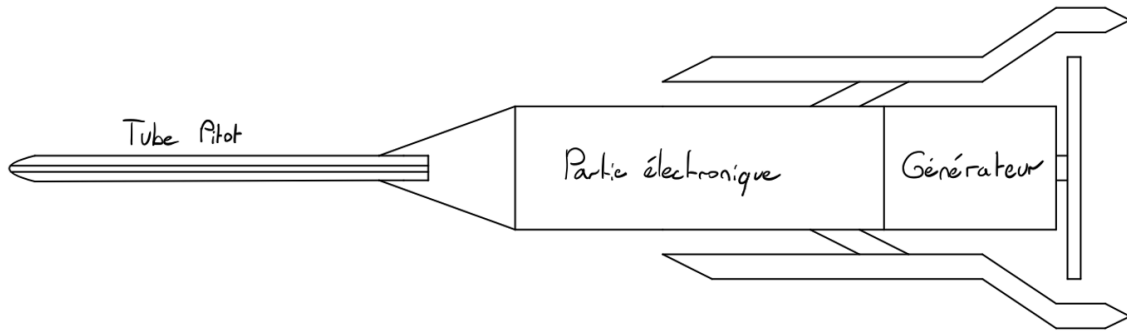
#### 2.4.10 Bloc Appareil Android

Toutes les données obtenues au travers de la communication sans fil seront traitées et affichées sur l'écran de l'appareil. Ces données seront affichées sous forme numérique et dans l'idéal, sous forme graphiques, mais cela reste optionnel. L'application permettra d'envoyer certaines commandes au produit en appuyant sur les différents boutons qui seront affichés. Il sera aussi possible d'ajouter une valeur d'offset aux mesures pour compenser une éventuelle erreur.

### 2.5 Design mécanique

Comme expliqué dans le cahier des charges, l'idée est d'adapter tout le système pour qu'il puisse se trouver dans un cylindre à l'arrière du tube Pitot. Le boîtier et les autres parties mécaniques seront imprimé en une matière plastique selon la disponibilité de matériaux de l'école. L'idéal serait d'utiliser de l'acrylonitrile butadiène styrène (ABS) car ses caractéristiques mécaniques sont bien supérieures à l'acide polylactique (PLA). La grosse difficulté va être de miniaturiser le design du PCB afin de rendre la section du tube la plus mince possible. Le système de fixation sera réalisé grâce à une boule style RAM-Mounts vissé au boîtier.

FIGURE 6 – Premier croquis du design mécanique





## 2.6 Estimation du prix

L'estimation du prix est actuellement difficile car certains choix doivent encore être pris et la disponibilité des composants peut avoir une influence, j'ai donc mis une plage de prix.

Composant	min	max
Générateur (moteur DC)	5.-	50.-
Turbine (ABS)	0.5.-	1.-
Capteur pression différentielle	30.-	70.-
Tube Pitot	0.-	30.-
Centrale inertielle	5.-	12.-
Connecteur USB-C	1.-	3.-
Module Bluetooth	5.-	15.-
LED	0.5.-	3.-
MCU	1.-	3.-
Convertisseur Buck	3.-	8.-
Boîtier (ABS)	1.-	2.-
Boule RAM-Mounts	15.-	25.-
PCB	50.-	75.-
Total	126.-	396.-

Le prix devrait se situer entre 126.- et 396.-

## 2.7 Faisabilité du projet

D'après les informations trouvées, le projet est totalement réalisable. Il y aura sans doute quelques difficultés au niveau du dimensionnement de la partie turbine-générateur.

## 3 Design électronique

### 3.1 Introduction

La partie Design électronique consiste à réaliser le schéma électrique, choisir les composants et réaliser les dimensionnements nécessaires. Certaines modifications ont suivi la présentation de la pré-étude. Ceux-ci concernent :

- la source d'alimentation
- la régulation de tension

### 3.2 Générateur

Selon l'estimation de consommation totale effectuée lors de la pré-étude, il est maintenant possible de calculer approximativement la puissance minimum que le générateur devra délivrer au système.

$$P(W) = U * I \tag{3}$$

où :

$$\begin{aligned} P &= \text{Puissance nécessaire (W)} \\ U &= \text{Tension du circuit (V)} \\ I &= \text{Courant consommé (A)} \end{aligned}$$

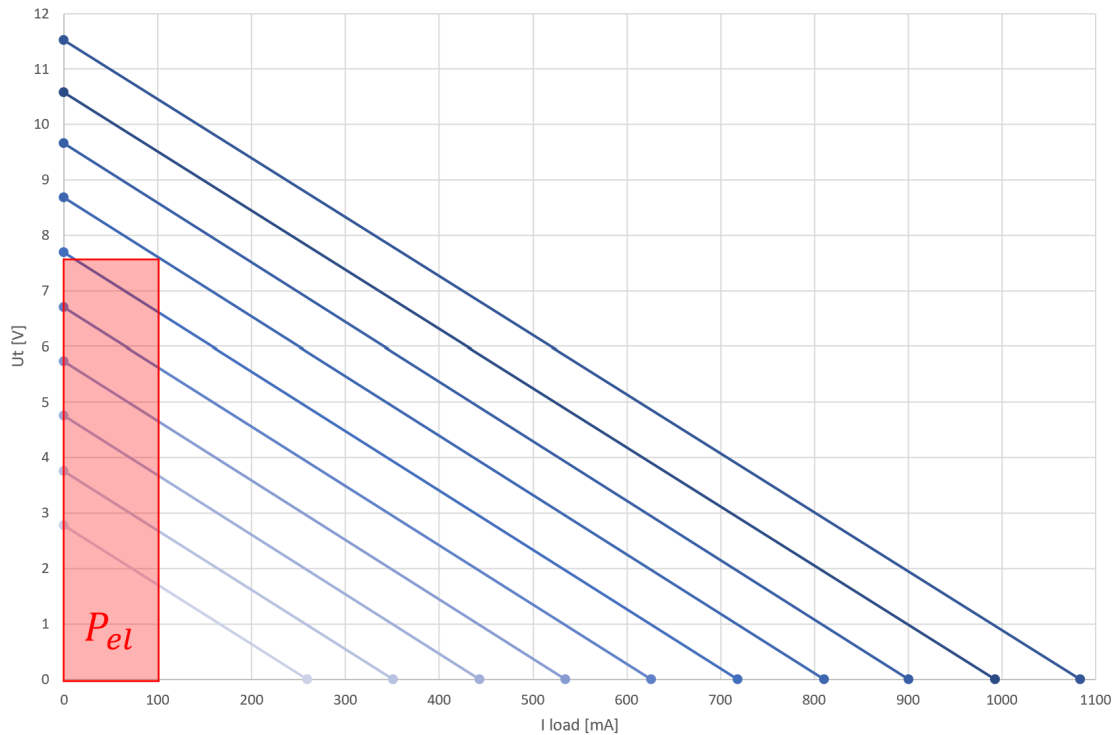
Avec la formule (3) :

$$P(W) = 3.3 * 0.047 = 0.1551W = 155mW$$

Les 155mW correspondent à la puissance maximale approximative consommée après transformation, ce qui signifie qu'il y aura quelques pertes au niveau des abaisseurs de tension. Afin de ne pas avoir de mauvaises surprises, j'ai décidé de prendre une certaine marge, au lieu de 155mW, la puissance sera de 250mW. Cette puissance étant tout de même très faible, le système sera capable de fonctionner même à faibles vitesses tant que la tension minimale est atteinte. Ayant effectué des tests lors de ma pré-étude avec un moteur 3VDC et une première turbine, mon professeur M.Moreno m'en a fourni un différent, RF-370A-15370, fonctionnant jusqu'à une tension nominale de 12VDC. Pour vérifier si ce moteur pourra être utilisé, j'ai réalisé quelques mesures et calculs afin de visualiser les lignes de tension-courant du générateur.

FIGURE 7 – Lignes tension-courant du générateur

Lignes tension-courant du générateur



Le rectangle rouge sur la figure 7 permet de visualiser la puissance électrique. Avec celle-ci nous pouvons savoir quelle tension sera disponible au borne du moteur en fonction de la vitesse de rotation (tension à vide) et du courant consommé. Le rectangle actuel montre que la tension est d'environ 7.8V lorsque la tension à vide est de 8V (environ 3600rpm) avec un courant consommé de 100mA.

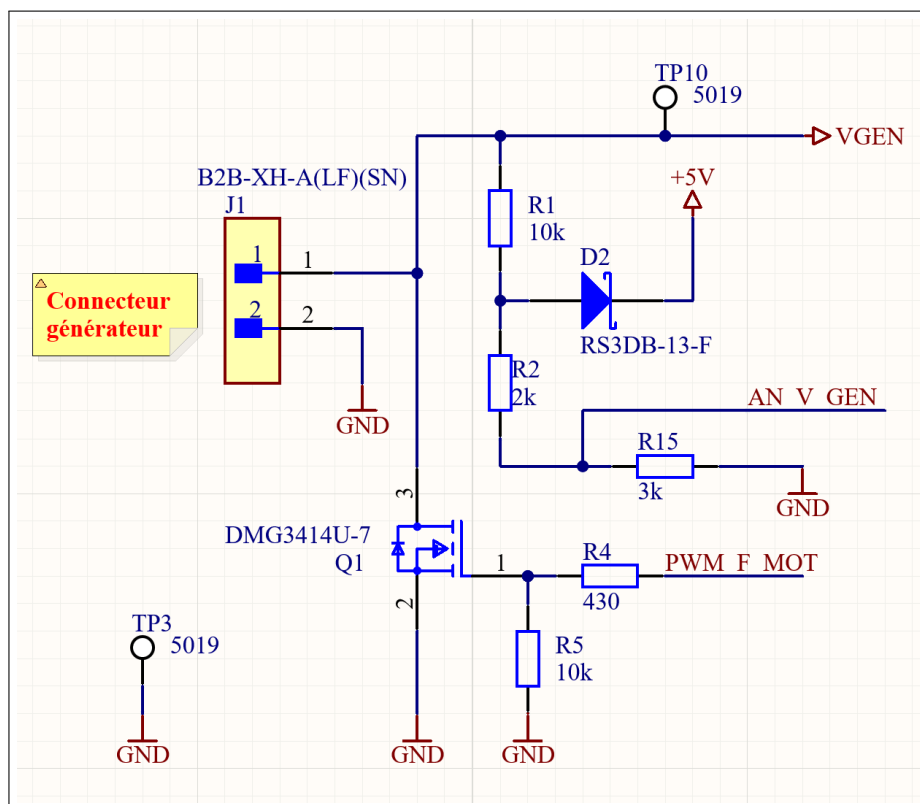
Avec la formule (3) :

$$P(W) = 7.8 * 0.100 = 0.78W = 780mW$$

Avec ce calcul, il est évident que le moteur correspond parfaitement puisque celui-ci devra fournir bien moins de puissance au système. Ce moteur là est plus adapté car il génère une tension supérieurs à la tension après régulation, 3.3VDC.

Le problème de ce moteur est qu'au moment ou sa vitesse est trop élevée, cela peut le dégrader. J'ai donc décidé d'ajouter au schéma un système de freinage. La tension générée par le moteur passera par un pont diviseur avant d'entrer dans une entrée analogique du MCU. Une diode de protection permettra de court-circuiter la surtension lorsqu'elle est trop importante pour protéger le MCU. Une sortie PWM sera connectée à la gate d'un N-MOSFET afin de court-circuiter le moteur afin de le freiner lorsque la lecture de l'entrée analogique indiquera que la vitesse est trop élevée. La tension entrant dans le MCU ne pourra pas dépasser la tension max de 3.3V.

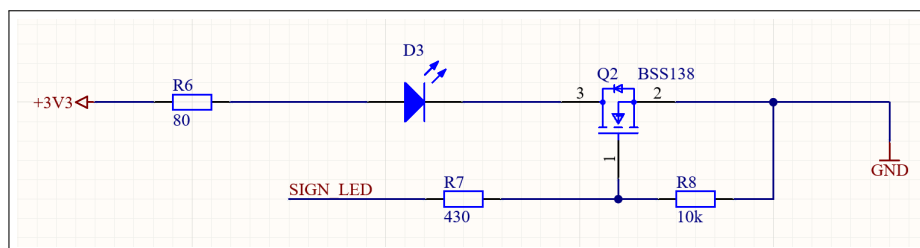
FIGURE 8 – Générateur, circuit de mesure et de freinage



### 3.3 LED de signalisation

La LED de signalisation sera commandée par une GPIO du MCU et permettra d'indiquer l'état du système à l'utilisateur.

FIGURE 9 – LED de signalisation

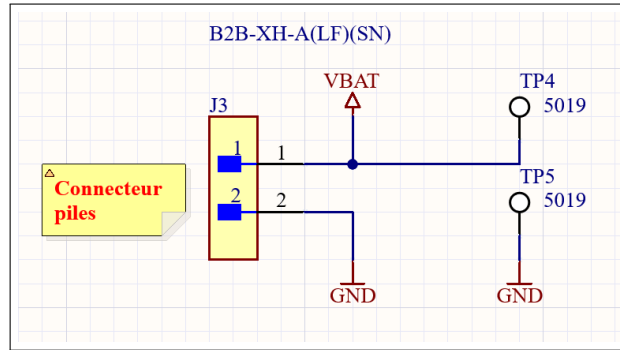


### 3.4 Piles

Suite à la présentation de ma pré-étude, il a été décidé que le produit possédera deux sources d'énergie différentes, l'intérêt est de rendre le système plus flexible. La première source sera celle de base, alimentation par un générateur-turbine, et la seconde sera une alimentation à piles rechargeables.

Les piles seront du type triple A de 1.5V chacune en série pour obtenir 4.5V en sortie. Celles-ci seront placées dans un support à piles cylindrique. La recharges des piles devra se faire séparément.

FIGURE 10 – Connecteur piles



### 3.5 Capteur de pression

Le capteur de pressions différentielles choisi est le HSCMRRN001PD2A3 du fabricant Honeywell. Il s'agit d'un capteur ayant 2 entrées d'air, une pour la pression statique et la seconde pour la pression totale. La communication se fera au moyen d'une liaison série I2C. Le composant ne nécessite pas de dimensionnement particulier au niveau hardware. Son adresse I2C est fixe et est 0b00101000 (0x28).

Product Series	HSC	High Accuracy, Compensated/Amplified
Package	M	SMT (Surface Mount Technology)
Pressure Port	RR	Dual radial barbed ports, same side
Options	N	Dry gases only, no diagnostics
Pressure Range	001PD	±1 psi (differential)
Output Type	2	I2C, Address 0x28
Transfer Function	A	10% to 90% of Vsupply (analog), 214 counts (digital)
Supply Voltage	3	3.3Vdc

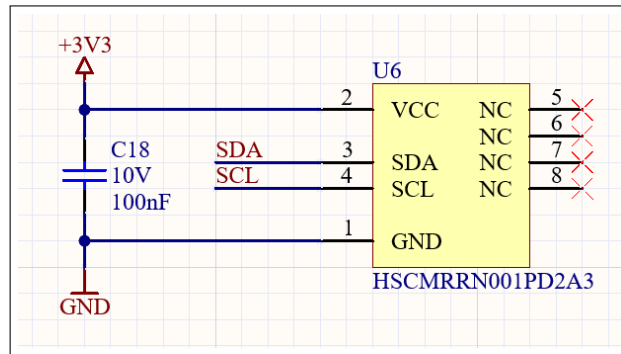
La plage de pression différentielle mesurable de ce capteur est de  $\pm 1$  psi, ce qui correspond à une pression de 6'894,76Pa.

Avec la formule (2) :

$$v(m/s) = \sqrt{\frac{2 * 6'894,76}{1.2}} = 107.197m/s = 385.91km/h$$

En utilisant la formule de la vitesse cité lors de la pré-étude, la vitesse maximale mesurable avec ce capteur est de 385.91km/h.

FIGURE 11 – HSCMRRN001PD2A3

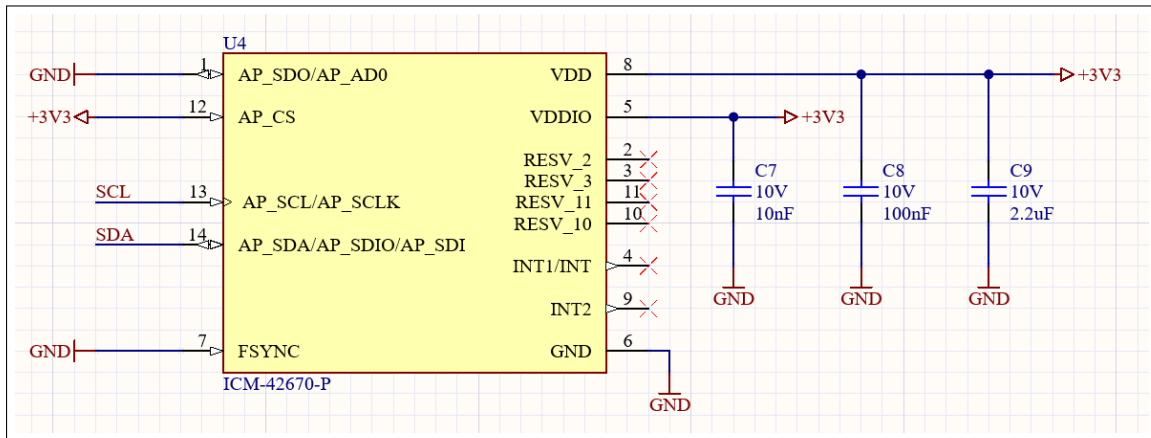


### 3.6 IMU

La centrale inertielle choisie est la ICM-42670-P du fabricant TDK. Il s'agit d'un composant intégrant un gyroscope 3 axes et un accéléromètre 3 axes et ayant une très faible consommation. La communication se fera au moyen d'une liaison série I2C, son adresse est b01101000 (0x68) puisque sa PIN AP\_AD0 est connecté volontairement à la masse.

Au niveau du gyroscope, les axes X, Y et Z ont une plage pleine échelle programmable de  $\pm 250$ ,  $\pm 500$ ,  $\pm 1000$  et  $\pm 2000$  degrés/sec. La plage des accélération en X, Y et Z est également programmable de  $\pm 2g$ ,  $\pm 4g$ ,  $\pm 8g$  et  $\pm 16g$ .

FIGURE 12 – ICM-42670-P



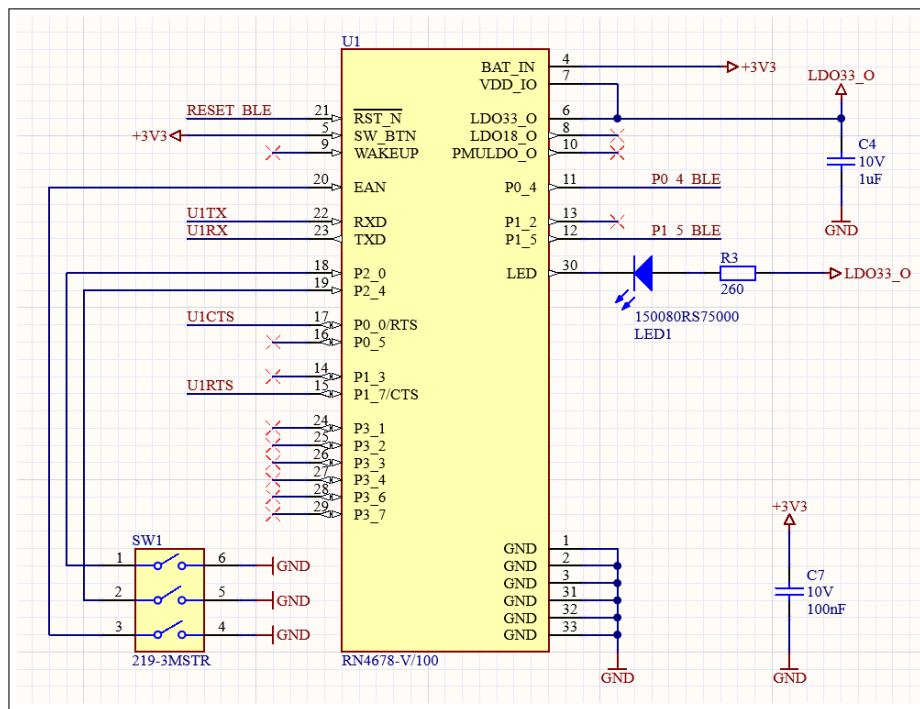
### 3.7 Module Bluetooth

Le module choisi, RN4678-V/100 de Microchip, possède deux technologie, le Bluetooth classique et le Bluetooth low-energy (BLE). Il est possible d'utiliser ce module en mode BLE, classique ou dual. Je l'ai sélectionné car il a été utilisé par plusieurs anciens élèves de l'ETML-ES et donc possède un driver connu et fonctionnel. Le DIP-switch SW1 à 3 entrées permet de modifier le mode opérationnel du module, c'est à dire qu'il est possible le mettre dans un mode fonctionnel, un mode écriture de l'EEPROM et test ou un mode écriture de la flash.

Le Baudrate par défaut du module est de 115200 Bauds d'où la fréquence du microcontrôleur particulière, expliquée au point IMU. La LED va permettre d'afficher l'état du module :

- Standby
- Link Back
- Low Battery
- Inquiry
- Link

FIGURE 13 – RN4678-V/100



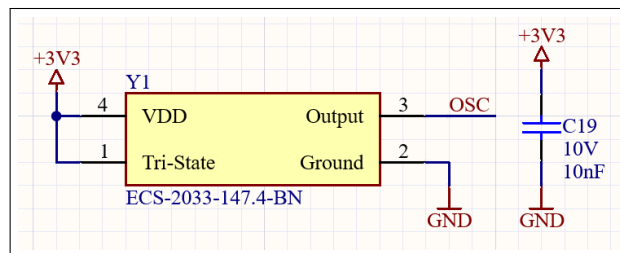
### 3.8 MCU

Le microcontrôleur choisi est le PIC32MX130F064B-I/SS, il possède au total 28 Pins. J'ai choisi celui-là en fonction du nombre d'entrées sorties disponibles mais également car il est en stock à l'ETML-ES. Ses principales fonctionnalités sont affichées dans le tableau ci-dessous.

PIC32MX130F064B	Valeur
Pins	28
Program Memory (kB)	64+3
Data Memory (kB)	16
Remappable Pins	20
Timers/Capture/Compare	5/5/5
UART	2
SPI/I2S	2
External Interrupts	5
Analog Comparators	3
USB On-The-Go (OTG)	No
I2C	2
PMP	Yes
10-bit 1 Msps ADC (Channels)	10
RTCC	Yes
I/O Pins	21
JTAG	Yes

La fréquence du microcontrôleur proviendra d'un oscillateur externe de 14.7456MHz afin d'obtenir un multiple du Baudrate du module Bluetooth qui est de 115200Bd de base. 14.7456MHz correspond à  $128 \times 115200\text{Bd}$ .

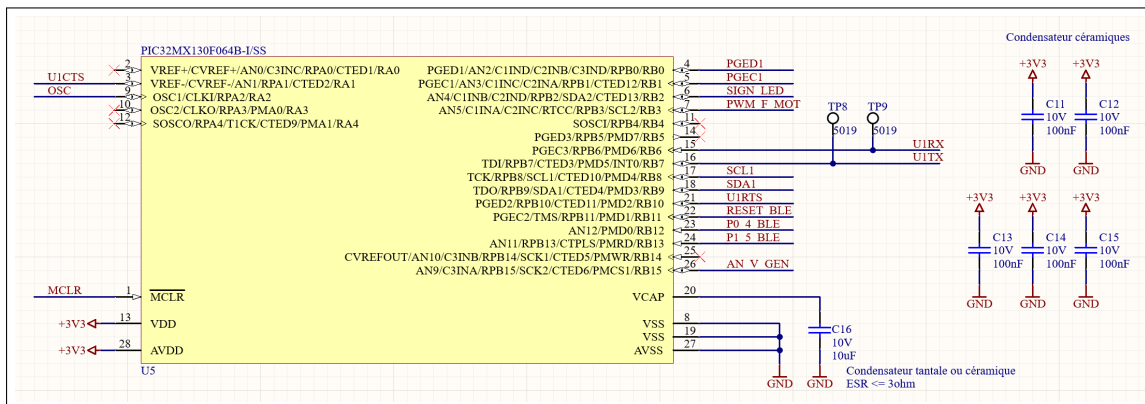
FIGURE 14 – Oscillateur de 14.7456MHz



Les entrées et sorties du microcontrôleur ont été choisies à l'aide de l'utilitaire Harmony de MPLABX. Grâce à celui-ci, il est plus simple de remapper les périphériques correctement.

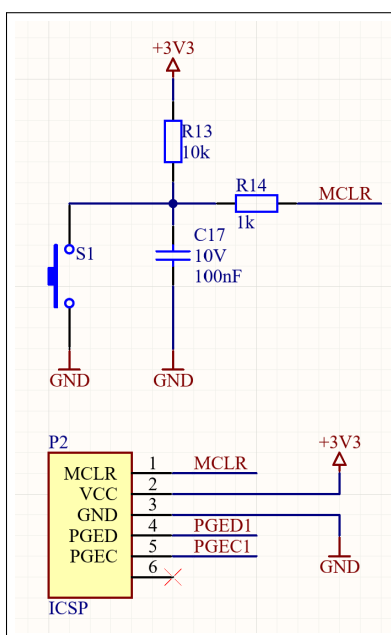


FIGURE 15 – PIC32MX130F064B



Le circuit ci-dessous permet d'une part de programmer le microcontrôleur à l'aide d'un ICD3 ou ICD4 mais également de reset manuellement le MCU dans le cas où il y a un problème lors de la programmation.

FIGURE 16 – Circuit de reset et connecteur programmeur



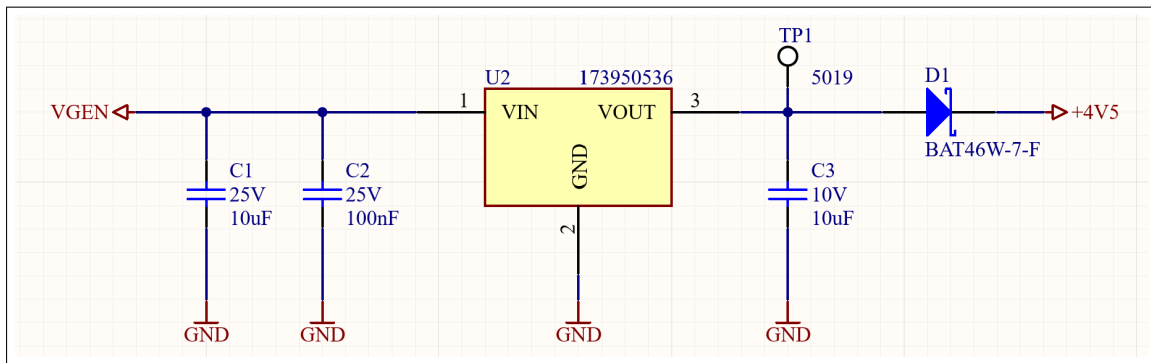
### 3.9 Alimentations

Le circuit d'alimentation sera composé de deux régulateurs de tension. La tension générée par la turbine entrera directement dans le premier régulateur de type Buck. La tension pouvant atteindre plus de 12V, j'ai choisi d'utiliser un régulateur Buck afin de ne pas dissiper toute la tension en chaleur. Sa sortie sera directement connectée à l'entrée du second régulateur. Celui-ci sera de type linéaire car la tension d'alimentation de la centrale inertielle ne doit pas être bruitée afin d'obtenir les mesures les plus précises possible. La diode Schottky permettra d'éviter qu'une tension n'aille dans la sortie du régulateur lorsque le module est alimenté par pile ou par USB et non pas par la turbine.

L'alimentation à découpage Wurth 173950536 est un composant intégrant l'alimentation et ses composants externes dans un même boîtier permettant ainsi de gagner de l'espace sur le PCB. La tension directe de la diode Schottky BAT45W-7-F est de 0.5V avec un courant d'environ 50mA ce qui baisse la tension entrant dans l'alimentation linéaire à 4.5V.

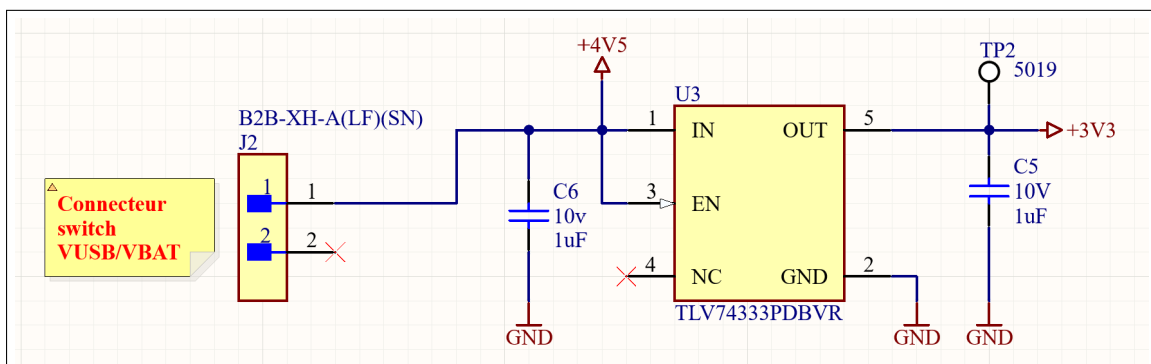
L'alimentation linéaire choisie est la TLV74333PDBVR du fabricant Texas Instrument. Son entrée

FIGURE 17 – 173950536



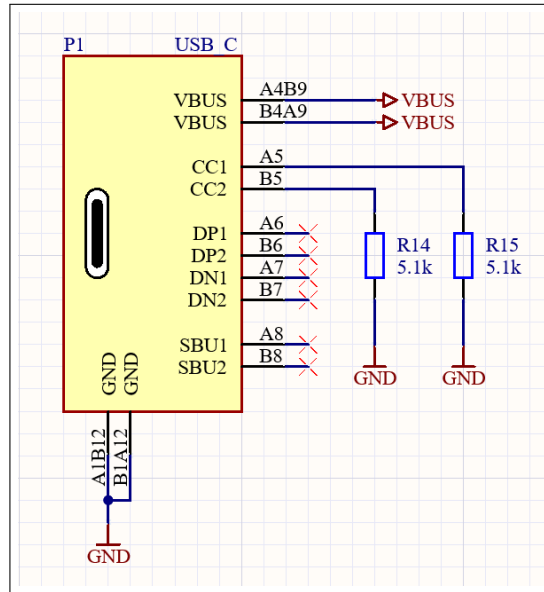
sera connectée à un switch permettant de choisir soit la tension USB soit la tension des piles et comme expliqué précédemment à la sortie de l'alimentation Buck. Dans le cas où le circuit est alimenté au sol par un câble USB, le switch fera office de bouton ON/OFF.

FIGURE 18 – TLV74333PDBVR



Le connecteur USB sera de type C car c'est de nos jours le plus commun pour les nouveaux appareils. Les résistances de 5.1k branchées à la masse servent à indiquer qu'il s'agit d'un USB 2.0, bien qu'il n'y ait pas de communication.

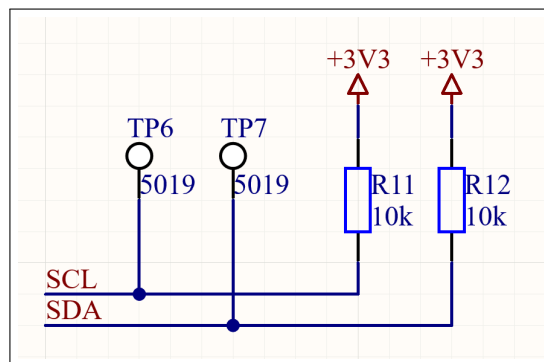
FIGURE 19 – Connecteur USB-C 2.0



### 3.10 Pull-up I2C

Les deux capteurs se trouvant sur le PCB utiliseront le bus I2C pour communiquer avec le MCU. Les deux lignes, SDA et SCL nécessitent l'ajout de pull-up afin de fonctionner correctement. Ces résistances peuvent avoir différentes valeurs en fonction de la vitesse de transmission. Dans ce produit, la communication ne nécessite pas un grand débit, d'où le fait d'avoir mis des résistances de 10k afin de réduire la consommation.

FIGURE 20 – Pull-up I2C



## 4 Annexes

- Références
- Cahier des charges
- Schéma électrique

## Références

- [1] *Centrale à inertie*. fr. Page Version ID : 192388914. Mars 2022. URL : [https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Centrale\\_%C3%A0\\_inertie&oldid=192388914](https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Centrale_%C3%A0_inertie&oldid=192388914) (visité le 07/12/2022).
- [2] *maxon Motors as Generators*. en-US. URL : <https://support.maxongroup.com/hc/en-us/articles/360004496254-maxon-Motors-as-Generators> (visité le 04/12/2022).
- [3] *Pression statique*. fr. Page Version ID : 169954162. Avr. 2020. URL : [https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Pression\\_statique&oldid=169954162](https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Pression_statique&oldid=169954162) (visité le 03/12/2022).
- [4] *Pression totale*. fr. Page Version ID : 198361997. Nov. 2022. URL : [https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Pression\\_totale&oldid=198361997](https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Pression_totale&oldid=198361997) (visité le 03/12/2022).
- [5] *Tube de Pitot*. fr. Page Version ID : 198892898. Nov. 2022. URL : [https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Tube\\_de\\_Pitot&oldid=198892898](https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Tube_de_Pitot&oldid=198892898) (visité le 04/12/2022).

# Projet ETML-ES- Cahier des charges

## Tube Pitot déporté

2230

A remplir par l'initiateur / porteur de projet

<b>Entreprise/Client:</b>		<b>Département:</b>	
<b>Demandé par (Prénom, Nom):</b>		<b>Date:</b>	

A remplir par le gestionnaire de projet (étudiant)

<b>Auteur (ETML-ES):</b>	Meven Ricchieri	<b>Filière:</b>	SLO
		<b>Date:</b>	16.11.2022

## 1 But du projet

Le but du projet consiste à développer un système permettant de détecter l'angle d'incidence et la vitesse au décrochage d'un avion. La fixation de ce système doit être flexible afin de pouvoir l'installer sur différents types d'avions. L'emplacement de fixation ne doit pas se trouver dans le flux d'air provenant de l'hélice afin d'éviter que la mesure de vitesse ne soit faussée. Il doit également être miniaturisé au maximum afin de produire le minimum de trainée possible et de ne pas dépasser un poids de 500g. Les données acquises par les capteurs doivent être transmises de la partie déportée à un appareil Android se trouvant dans le cockpit de l'avion au travers une communication sans fil. L'appareil Android doit traiter et afficher les données reçues, si possible graphiquement (optionnel).

### 1.1 Schéma de principe

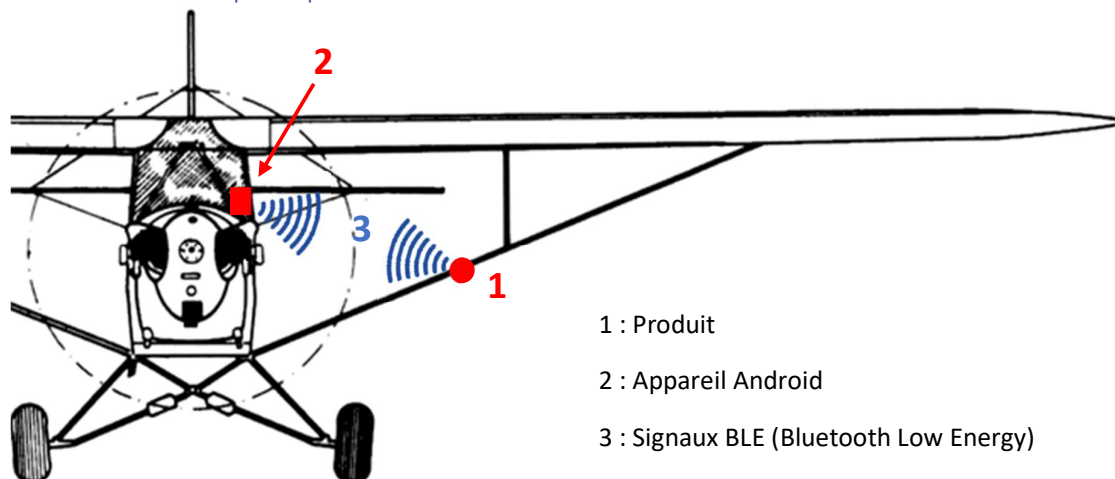


Figure 1 -

## 2 Spécifications du projet

### 2.1 Schéma bloc

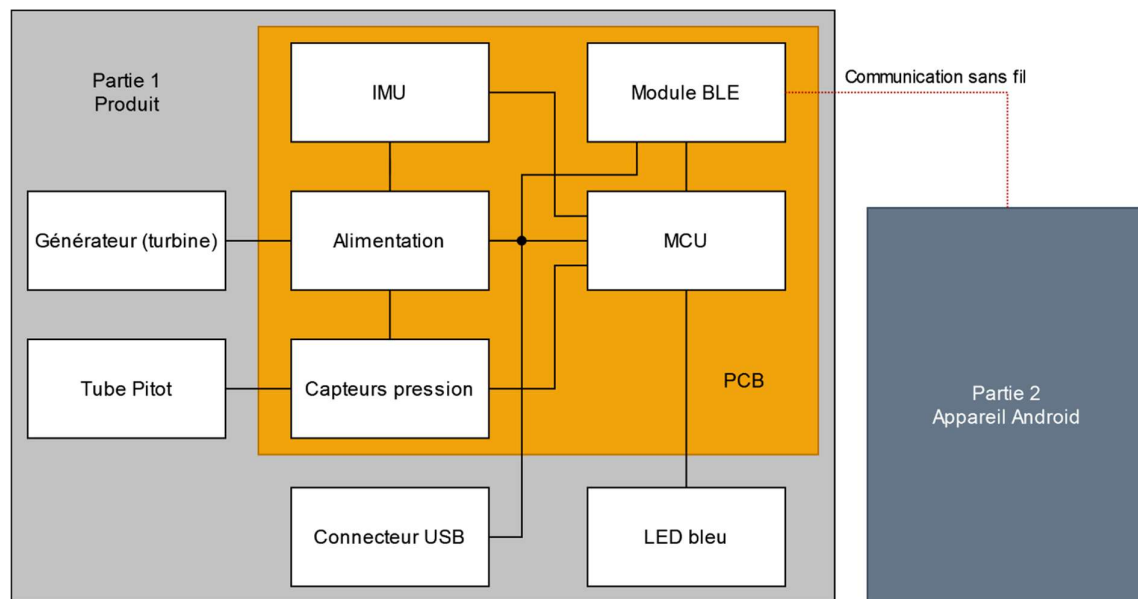
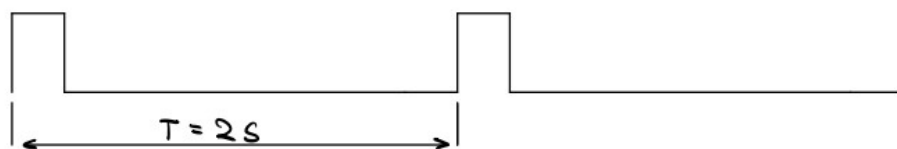


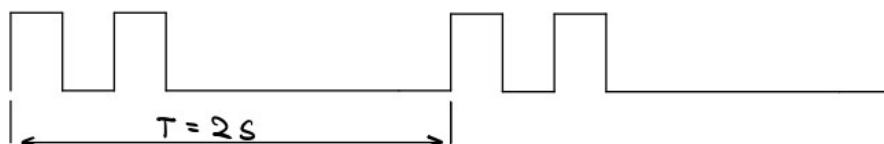
Figure 2 - Schéma bloc

#### 2.1.1 Descriptions simple des blocs

- Générateur (turbine), l'idée est d'intégrer un générateur-turbine, montés à l'arrière du produit (voir Figure 3) afin de générer l'électricité nécessaire au système. Dans le cas où la réalisation mécanique de cela serait trop difficile, une batterie ou pile serait l'alternative.
- LED bleu, permettra d'indiquer l'état du système à un moment donné, elle devra être visible depuis l'intérieur du cockpit. Le comportement sera le suivant :
  - LED éteinte, le système non alimenté.
  - Simple clignotement à une fréquence de 0.5Hz, le système n'est pas appairé à un périphérique Bluetooth.



- Double clignotement à une fréquence de 0.5Hz, le système est appairé à un périphérique Bluetooth et fonctionnel.



- Connecteur USB, le connecteur permettra d'alimenter le système afin de le tester lorsqu'il est au sol.
- Tube Pitot, servira d'entrée d'air pour les capteurs de pression.
- Capteurs pression, ces capteurs liront les valeurs de la pression statique et totale pour ainsi calculer la vitesse air.
- Alimentation, l'alimentation transformera la tension provenant de la source d'énergie en une tension régulée et stable.
- IMU, la centrale inertielle servira à mesurer les vecteurs des vitesses angulaires et les accélérations.
- MCU, le microcontrôleur va être le cerveau du produit, il sera responsable de commander tous les autres composants.
- Module BLE, le module Bluetooth Low Energy permettra d'établir une communication basse consommation entre le produit et l'appareil Android. C'est par le biais de cette liaison que seront transmises toutes les données.
- Appareil Android, l'appareil recevra, traitera et affichera les données sur son écran. Il permettra également d'envoyer des commandes tels que la fréquence d'envoi ou d'autres paramètres.

Les blocs seront décrits en détail dans la pré-étude.

## 2.2 Croquis du produit

L'intégration du système se fera dans un cylindre à l'arrière du tube Pitot comme représenté ci-dessous (vue en coupe). Dans le cas où la vitesse de rotation du générateur est trop élevée, l'ajout d'un carénage permettrait de diminuer la vitesse du flux d'air en augmentant la section de sortie par rapport à l'entrée. La fixation se réalisera à l'aide d'une boule style RAM-Mounts.

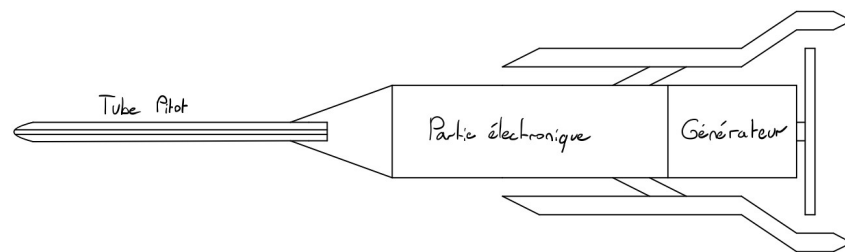


Figure 3 - Croquis du produit (vue en coupe)

## 3 Tâches à réaliser

- Pré-étude
- Dimensionnement, design et réalisation du schéma
- Commande des composants et du matériel
- Réalisation du PCB
- Design de l'assemblage mécanique avec fixations
- Montage du PCB
- Réalisation du software du MCU et de l'application Android
- Impression 3D ou usinage de la partie mécanique
- Mise en service et tests



## 4 Deadlines principales

- 16 novembre 2022 : Début du projet
- 07 décembre 2022 : Rendu de la pré-étude
- 14 décembre 2022 : Présentation de la pré-étude
- 25 janvier 2023 : Rendu du design
- 01 février 2023 : Présentation du design
- 22 mars 2023 : Rendu des fichiers de fabrication PCB
- 14 juin 2023 : Rendu de toute la documentation finale
- 21 juin 2023 : Présentation finale

### 4.1 Planning

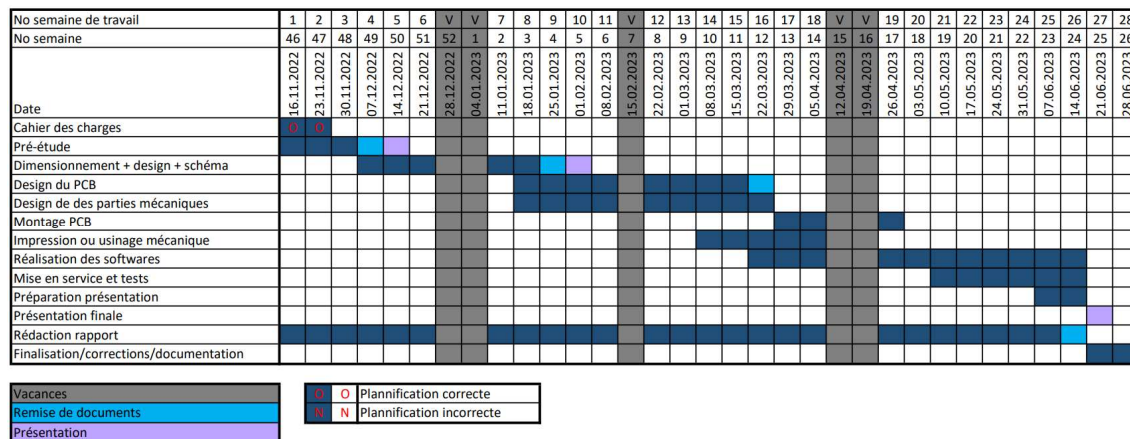
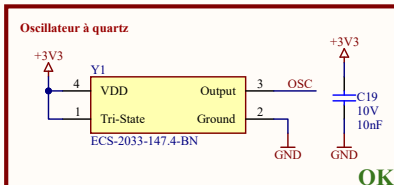
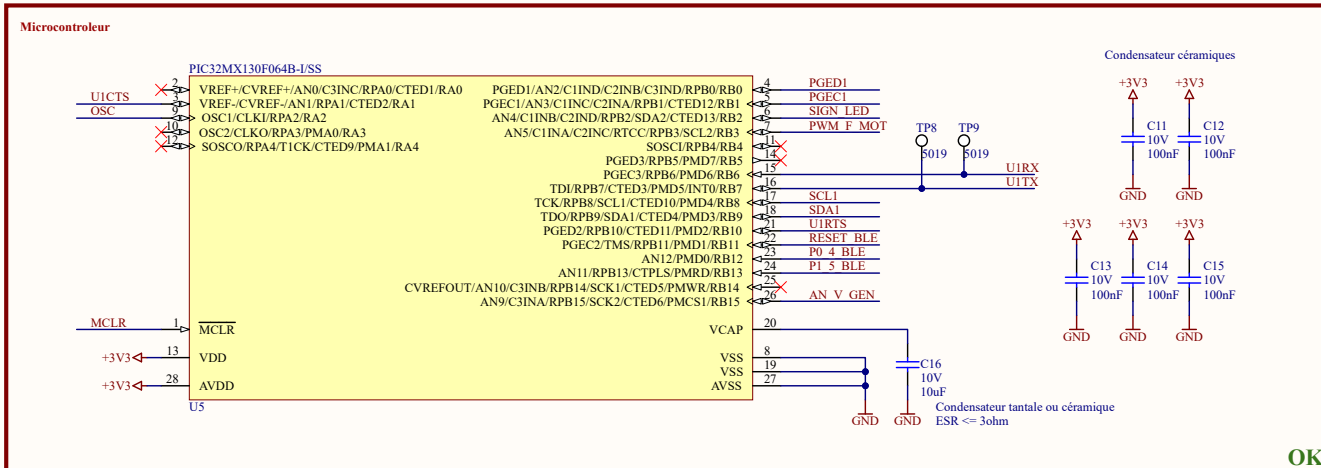
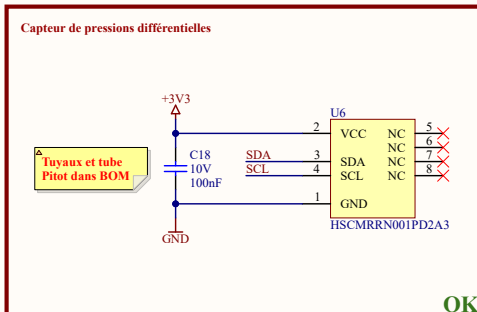
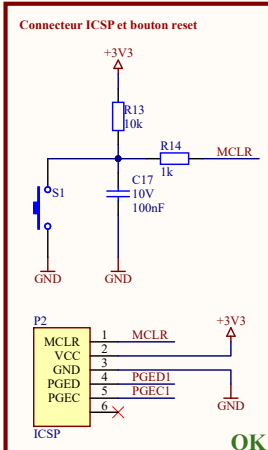
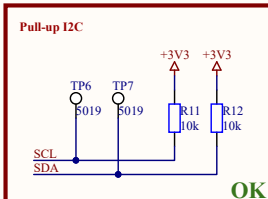
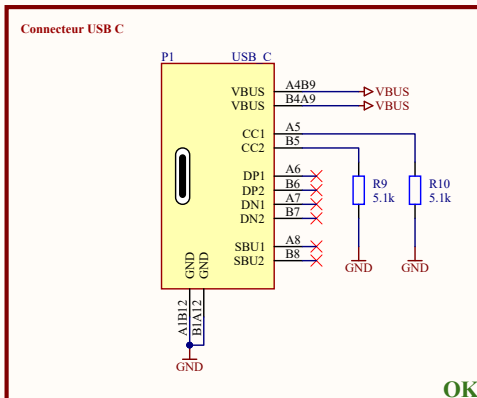
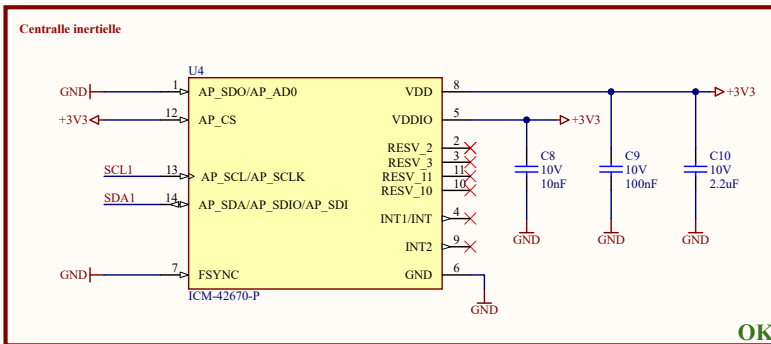
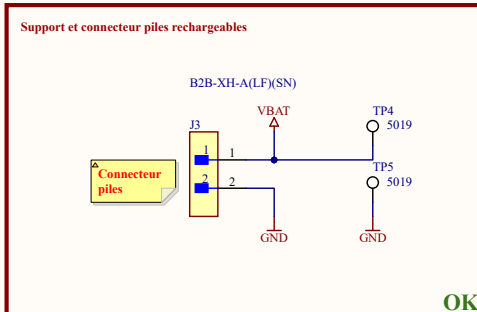
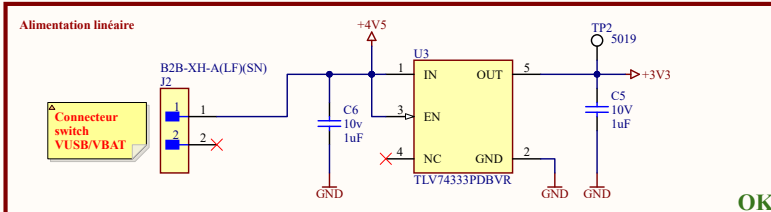
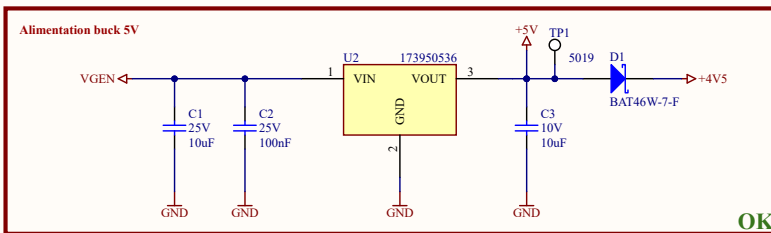
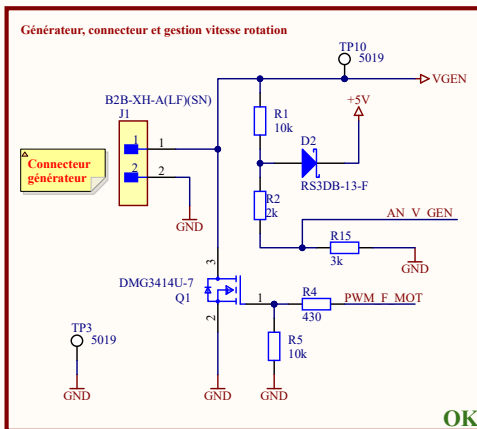



Figure 4 - Planning

## 5 Livrables

- Les fichiers sources de CAO électronique et mécanique
- Tout le nécessaire pour fabriquer un (1) exemplaire hardware :
  - Fichiers de fabrication (GERBER)
  - Liste de pièces avec références (BOM)
  - Implantation des composants
  - Dessins mécaniques
- Les fichiers sources de programmation du microcontrôleur (.c/.h)
- Tout le nécessaire pour programmer les microcontrôleurs (.hex)
- Les fichiers sources de programmation Android.
- Tout le nécessaire à l'installation de programmes sur Android.
- Un mode d'emploi du produit
- Une estimation des coûts du projet
- Un rapport contenant toutes les informations du design du produit.
- Un prototype monté et fonctionnel
- Une application Android permettant d'afficher les données :
  - Affichage numérique
  - Affichage graphique (optionnel)



Fichier : 2230_TubePitotDeporte_Schematic_v1.0.0.SchDoc		Modif.	a	
Date : 27.01.2023	Version :		b	
Heure : 00:20:25	Auteur : *		c	
			d	
 Avenue Recordon 1 1004 Lausanne Switzerland		Projet : 2230_TubePitotDeporte_v1.0.0.PrjPcb		No : Nb feuilles 1 Feuille 1
Chemin : P:\School\PROJ\2230_TubePitotDeporte\hard\PCB_Project\2230_TubePitotDeporte_Schematic_v1.0.0.SchDoc				