

Conception d'un capteur de puissance pour VTT



Etudiants :

Guillem Mach

Quentin Robcis

Hugo Briatta

Michael De Filippis

Jiang Zhengyu

Rand Asswad

Enseignant-responsable du projet :

Thomas Breteau

Date de remise du rapport : 09/06/2016

Référence du projet : **STPI/P6/2016 – 50**

Intitulé du projet : **Développement d'un capteur de puissance grand public pour VTT**

Type de projet : **modélisation, conception, programmation**

Objectifs du projet :

L'objectif de ce projet est de concevoir un capteur de puissance pour VTT qui s'adapte sur un vélo standard tout en étant le plus simple possible afin de réduire le coût du système. Ce capteur de puissance devra être relié à un compteur qui utilise le protocole de communication ANT+ afin de transmettre les informations de puissance à l'utilisateur.

Mots-clefs du projet (4 maxi) :

- Capteur
- Puissance
- VTT
- ANT+

TABLE DES MATIERES

1. Introduction.....	6
2. Méthodologie / Organisation du travail.....	7
3. Travail réalisé et résultats.....	8
3.1. Choix du type de capteur de explication.....	8
3.2. Partie mécanique.....	10
3.2.1. Pièce métallique lié au décalage angulaire.....	10
3.2.2. Conception et réalisation du boîtier.....	11
3.3. Partie électronique.....	13
3.3.1. Présentation et déroulement.....	13
3.3.2. Fonctionnement du protocole ANT.....	14
3.3.3. Fonctionnement de la micro-cellule de force.....	16
3.3.4. Les tests réalisés.....	16
4. Conclusions et perspectives.....	19
4.1. Conclusions sur le travail réalisé.....	19
4.2. Conclusions sur l'apport personnel de cet E.C. projet.....	19
4.3. Perspectives pour la poursuite de ce projet.....	20
5. Bibliographie.....	21
6. Annexes (non obligatoire – exemples ci-dessous).....	22
6.1. Listings des programmes réalisés.....	22
6.2. Propositions de sujets de projets (en lien ou pas avec le projet réalisé).....	23

NOTATIONS, ACRONYMES

1. INTRODUCTION

Le projet P6 se déroule durant le quatrième semestre du cursus STPI. Il permet à l'élève-ingénieur d'acquérir un premier contact avec un projet en équipe, nous offrant ainsi un premier aperçu sur le type de tâche que nous pourrions accomplir en tant qu'ingénieur.

Notre projet a pour thème le « développement d'un capteur de puissance grand public ». Il existe sur le marché différents types de capteurs de puissance qui sont pour la plupart coûteux ou peu précis, ce point sera développé ultérieurement.

Ce travail implique une réflexion de la part du groupe quant à cette problématique, en recherchant les contraintes, organisant et répartissant le travail... Ainsi, l'objectif de ce projet est de concevoir un capteur de puissance pour VTT qui s'adapte sur un vélo standard tout en étant le plus simple possible afin de réduire le coût du système. Ce capteur de puissance devra être relié à un compteur qui utilise le protocole de communication ANT+ afin de transmettre les informations de puissance à l'utilisateur. Nous avons pour objectif de réaliser un prototype fonctionnel et de réaliser l'étude du système.

Dans ce rapport, nous commencerons par présenter la méthodologie mise en place pour travailler sur ce projet. Ensuite nous aborderons le corps du sujet en présentant le travail réalisé et les résultats que nous avons obtenus. Cette partie sera séparée en deux sous-parties, la partie mécanique et la partie programmation, qui sont les deux pôles de notre projet.

2. MÉTHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL

	Groupe Méca	Groupe Info
Semaine 1	Recherche sur le principe de fonctionnement d'un capteur de puissance	
Semaine 2	Suite recherche + répartition du groupe en équipes dédiées aux deux aspects du projet	Recherche de puces et connectiques répondant aux exigences
Semaine 3	Documentation sur les différentes solutions techniques	Achat du matériel et étude du protocole ANT+
Semaine 4	Restriction des solutions, analyse du coût et de la faisabilité	Tests de communication avec la puce
Semaine 5	Choix de la solution	
Semaine 6	Caractérisation de la solution sélectionnée	
Semaine 7	Conception des barres de décalage angulaire, barre d'étirement et boîtier	Test des logiciels ANT
Semaine 8	Découpe et impression des prototypes, test d'encombrement	
Semaine 9	Conception des nouvelles barres de décalage angulaire, barre d'étirement et du nouveau boîtier	Programmation de la puce
Semaine 10	Test de contrainte sur Solidworks, amélioration du boîtier	
Semaine 11	Rédaction du rapport + conception de la dernière version du boîtier	
Semaine 12	Rédaction du rapport	
Semaine 13	Rédaction du rapport et Rendu Réalistique	
Semaine 14	Impression du boîtier, test d'encombrement et test de la jauge de contrainte	

Dès la deuxième semaine de notre projet, nous avons décidé de nous séparer en deux groupes, la partie mécanique et la partie électronique. Nous nous sommes réparties de la façon suivante :

Partie Mécanique :

-Hugo
-Quentin
-Guillem

Partie électronique:

-Michael
-Rand
-Jiang

3. TRAVAIL RÉALISÉ ET RÉSULTATS

3.1. Choix du type de capteur et explication

Le choix d'une solution technique adaptée pour mesurer la puissance a été une partie déterminante du projet. En effet, cela a été notre point de départ car la conception du système que nous réaliserons ensuite dépend entièrement de la méthode utilisée pour mesurer cette donnée. Il a donc été nécessaire de passer en revue l'ensemble des méthodes possibles pour mesurer la puissance lors du pédalage à partir du pédalier (emplacement qui avait été choisie précédemment par rapport à la pédale car l'espace disponible à la mise en place du système est plus grand). Les deux solutions qui se sont démarquées pour la mesure de la puissance étaient le capteur de force piézoélectrique et la jauge de contrainte.

Pour choisir la solution la plus adaptée à notre besoin, il est nécessaire de se pencher sur les détails de fonctionnement de chaque capteur.

Tout d'abords, le capteur piézoélectrique. Celui-ci est composé d'une électrode qui est disposée entre deux disques de cristal piézoélectrique. Lorsque l'on applique une force sur ces disques, une charge électrique est créée et peut se mesurer grâce à un amplificateur de charge. La charge électrique est proportionnelle à la force exercée ce qui permet d'en déduire rapidement la force appliquée sur la pièce étudiée.

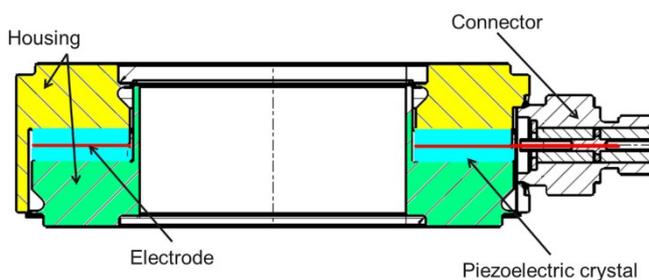


figure 2: Schéma d'un capteur de force piézoélectrique



figure 1: Différents capteurs de force piézoélectriques

Ensuite, les jauges de contrainte. Il s'agit d'une bobine de fil plate que l'on vient coller sur la pièce dont on souhaite étudier la déformation. En effet, lorsque la pièce se déforme, la jauge se déformera de manière identique, et alors la valeur de la résistivité de la bobine qui compose la jauge changera. Cependant, il est nécessaire d'orienter la jauge dans le sens de la déformation pour pouvoir la mesurer. Grâce à l'utilisation de plusieurs jauges (ce que l'on appelle 'rosette') on peut déterminer la déformation de la pièce dans chaque direction et après une étude RDM de la pièce, on peut déterminer la force qui lui a été appliquée (la déformation de la pièce reste en effet proportionnelle à la contrainte tant que l'on reste bien dans le domaine élastique).

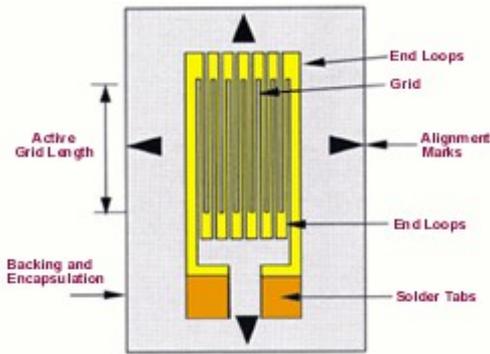


figure 4: Schéma d'une jauge de contrainte

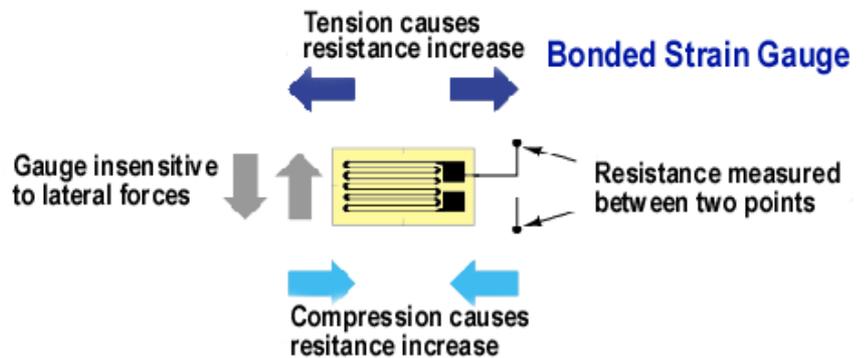


figure 3: Fonctionnement d'une jauge de contrainte

Voici donc un tableau qui récapitule les caractéristiques de chaque technologie et qui permet de discerner les avantages et les inconvénients pour chaque solution :

	CAPTEUR PIEZOELECTRIQUE	JAUGE DE CONTRAINTE
MESURE	Force	Déformation
PRECISION	Moyenne à grande	Très grande
DERIVE	Importante	Quasi-nulle
PLAGE DE MESURE	Moyenne	Grande
ENCOMBREMENT	Faible	Faible
ADAPTABILITE	Grande	Moyenne
COÛT	Moyen	Moyen à élevé

Nous pouvons donc voir que chaque technologie possède ses avantages et ses inconvénients. Pour ce qui est du capteur de force piézoélectrique, il offre une solution facile à mettre en œuvre sur un système existant et à coût modéré. Cependant sa forte dérive (1N/min) est un problème important lorsque l'on souhaite mesurer des forces faibles sur des durées relativement importantes, ce qui est exactement notre cas. En ce qui concerne la jauge de contrainte, il s'agit d'une solution qui offre une précision très élevée (elles sont notamment utilisées pour comme références pour les étalonnages) et une plage de mesure assez élevée qui permet de mesurer un large éventail de forces. Cependant, son coût est plus élevé, notamment en raison de la nécessité de l'utiliser avec un pont de Wheatstone qui est composé de résistances calibrées coûteuses.

Nous avons donc opté pour l'utilisation d'une jauge de contrainte linéaire, malgré son prix plus élevé, afin de mesurer la déformation en traction d'une pièce prévue à cet effet. En effet, le capteur de force piézoélectrique ne permettait pas d'obtenir une mesure suffisamment précise et répétable pour être intéressant.

3.2. Partie mécanique

3.2.1. Pièce métallique lié au décalage angulaire

Avant de réaliser la solution choisie pour notre projet, il nous fallait dans un premier temps sélectionner le métal que nous allons utiliser pour produire la pièce qui subira l'étirement et les trois pièces de rotation. Nous voulions un métal résistant mais suffisamment malléable pour que la jauge de déformation puisse capter un étirement de la pièce. Ensuite, pour respecter le thème de notre projet et produire un capteur grand public, il nous fallait un métal peu onéreux afin de réduire les coûts. Et enfin, le métal devait être léger pour ne pas influencer sur les performances du sportif. Nous avons ainsi choisi l'aluminium pour réaliser nos pièces métalliques.

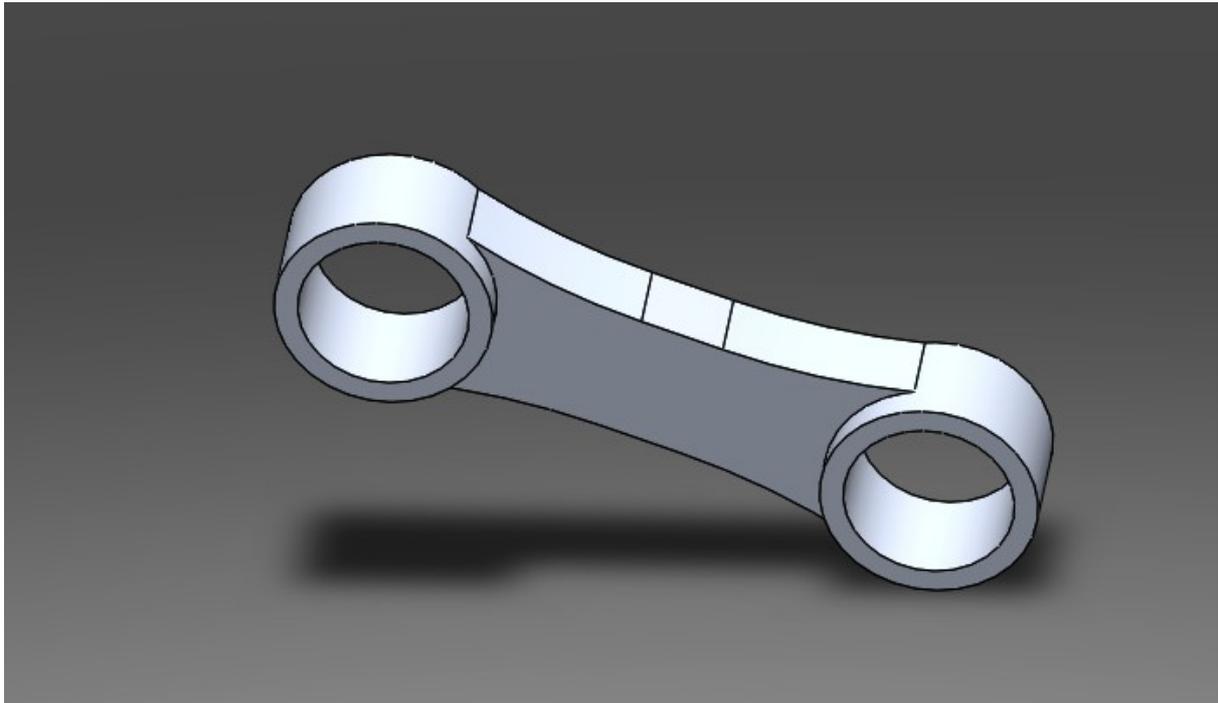


figure 5: Pièce subissant la traction

Cette pièce métallique est la seule subissant la force liée au décalage angulaire entre l'étoile et le plateau. En effet, le fait qu'une seule pièce subisse cet étirement lié au décalage angulaire facilite le traitement des données et limite la propagation des erreurs, augmentant ainsi la précision de notre capteur. De plus, le fait d'utiliser une seule jauge de déformation au lieu de quatre induit une réduction du coût et un gain de temps.

Nous avons décidé de donner à cette pièce une forme d'éprouvette assez spéciale. En effet, nous avons modélisé au centre de la pièce une forme parallélépipédique, qui sera la partie subissant l'étirement. De plus nous avons renforcé les parties où seront fixées les vis en augmentant l'épaisseur autour. Il est à noter que la surépaisseur de cette pièce n'a été réalisée que sur une seule face afin de faciliter l'usinage de la pièce.

Nous avons ensuite cherché l'épaisseur nécessaire pour que l'étirement de la pièce soit compris dans la gamme de la jauge de déformation. Pour cela, nous avons appliqué la formule du module d'Young :

$$\sigma = E * \varepsilon$$

Nous avons pris une valeur de E équivalente à 69 Gpa qui est celle associée à l'aluminium. Nous avons aussi pris une valeur de σ égale à 3500 Newton qui correspond à la force maximale délivré par un sportif sur une pédale. Nous avons ainsi pu trouver une épaisseur de 5 mm. Et enfin nous avons effectué une simulation sous Solidworks afin de corroborer les calculs.

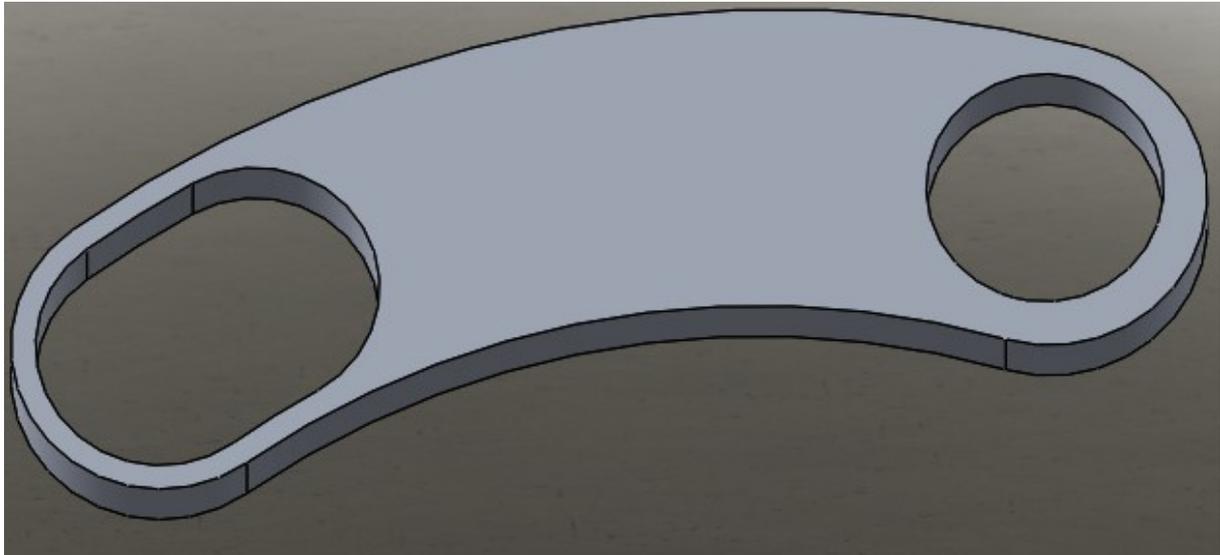


figure 6: Pièce de rotation

Nous avons, pour cette pièce, décidé d'utiliser une rainure courbé pour qu'un déplacement puisse se faire sans qu'il n'y ai de déformation de la pièce. Ainsi la force liée au décalage angulaire ne s'appliquera que sur la pièce de torsion. De plus, des rondelles en téflon seront ajoutées afin de limiter les frottements entre la vis, l'écrou et la pièce.

3.2.2. Conception et réalisation du boîtier

1 Les contraintes

Afin de pouvoir utiliser le capteur de puissance, il était nécessaire de pouvoir créer un boîtier pouvant contenir tous les éléments en respectant certaines contraintes. En effet, le boîtier doit avoir une taille suffisante pour contenir tous les éléments nécessaires au bon fonctionnement du capteur de puissance tels que la pile, le support de pile et bien sûr la puce. Au fur et à mesure de l'avancement du projet, nous avons conçu différents boîtiers jusqu'à produire la version finale que nous avons pu imprimer. Celui-ci devait aussi répondre à une contrainte d'encombrement afin de ne gêner aucun mouvement du pédalier ni le cycliste, trouver le juste équilibre entre ces deux contraintes était la partie la plus compliquée de la conception du boîtier

2 Les différentes versions

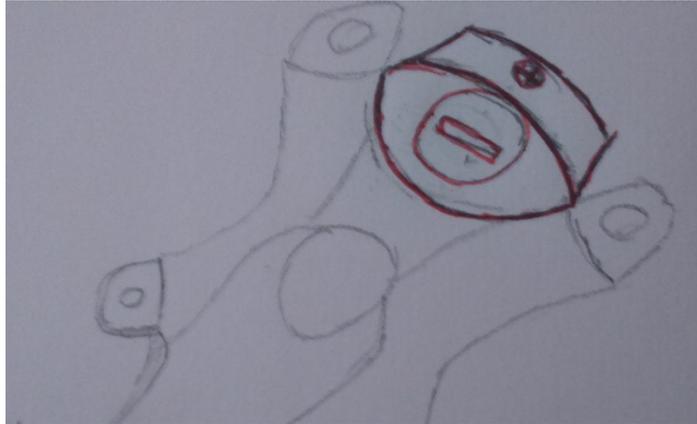


figure 7: Dessin du premier prototype

Ce premier modèle semblait une solution parfaite pour répondre à la problématique d'encombrement car cette dernière se place sur l'étoile et est maintenue par le biais de la visse maintenant la barre de décalage angulaire. Toutefois cette solution ne pouvait s'accorder avec la contrainte du matériel à embarquer. Le support de pile à lui seul ne pouvait rentrer à l'intérieur du boîtier, c'est pourquoi nous n'avons pas retenu ce modèle.



figure 8: Second prototype

Pour le second modèle nous avons opté pour une nouvelle position nous offrant plus de possibilité et plus d'espace pour pouvoir insérer les composants nécessaires. Ce modèle fut le premier que l'on a tenté d'imprimer à l'aide de l'imprimante 3D disponible à l'INSA nous avons ainsi pu faire des tests d'encombrement grâce à ce prototype. Nous nous sommes cependant rendu compte que ce boîtier était trop encombrant, il risquait ainsi de pouvoir gêner le cycliste lors du pédalage et que celui-ci disposait d'un espace conséquent non utilisé. Le troisième modèle se rapproche beaucoup du second, il avait juste un arrière affiné pour ne pas gêner lors du passage devant le plateau et garder un espace pour pouvoir placer un capteur de cadence (nécessaire pour le calcul de la puissance développée).



figure 9: Troisième prototype

La 3^{ème} version et aussi la dernière est celle qui réussit le mieux à concilier encombrement et place disponible. En effet elle se situe au même endroit que le précédent modèle mais présente un encombrement moindre en comparaison à ce dernier. Ce modèle a été possible car nous avons opté pour un capteur de cadence externe qui pourrait se placer par exemple sur le moyeu arrière et qui pourrait communiquer avec la puce via Bluetooth permettant ainsi de n'avoir à l'intérieur du boîtier que le support de pile, la pile ainsi que la puce. Ce dernier modèle a aussi été imprimé en 3D, il répond à tous les critères et passe le test d'encombrement sans aucun problème.

3.3. Partie électronique

3.3.1. Présentation et déroulement

La partie électronique du projet est essentiellement la transmission instantanée du signal à l'outil d'affichage de l'utilisateur en tout moment.

Le signal est transmis par le capteur de puissance à la puce qui transmet ce signal à une application installée sur le portable de l'utilisateur via le protocole ANT+. Voir le schéma suivant :



Le capteur est sensible grâce à l'étude mécanique à la puissance fournie par l'utilisateur, il envoie des données sérielles à la puce qui est programmée pour analyser le signal du capteur et envoyer ces données à l'application mobile qui affiche la valeur de puissance.

1. **Le capteur** est composé de jauges de déformation qui traduisent la déformation de la pièce sensible en variation de résistance électrique, c'est essentiellement un

convertisseur analogique/numérique, il transmet le signal numérique (données sérielles) à la puce.

2. **La puce** contient une unité de traitement centrale (processeur), une mémoire vive (RAM), une mémoire non volatile (ROM), et un système sur une puce (SoC) intégré. On programme la puce pour qu'elle analyse les données numériques du capteur, ce programme traduit ces données en valeurs de puissance et les transmet à l'application mobile grâce au protocole ANT+.
3. **L'application mobile** reçoit en temps réels les valeurs de puissance fournit par l'utilisateur en temps réel.

Pour établir la communication (Capteur->Puce->Utilisateur), on a commencé par une recherche sur le protocole ANT+, son fonctionnement, ses applications, et comment créer une chaîne de communication ANT+.



figure 10: nRF51 DK (Nordic Semiconductor)

Ensuite, on a cherché des puces compatibles avec ANT+, pas chers et disponibles en France. La puce qu'on a choisie est le modèle **nRF51422** fabriqué par **Nordic Semiconductor**. Or, il y a besoin d'une pièce intermédiaire pour programmer la puce et intégrer le programme qui traitera les données reçues du capteur. On a choisi le *Development Kit* du même fabricant (modèle **nRF51 DK** affiché en Figure 1) pour éviter les problèmes de compatibilité qui peuvent se produire. On pouvait utiliser le nRF51 Dongle (aussi fabriqué par Nordic Semiconductor) pour programmer la puce mais le Development Kit est compatible avec des composants tiers (par exemple, Arduino Uno), et vient avec 5 puces échantillons pour une petite différence de prix.

Après l'arrivée du Development Kit, on a essayé de la relier avec un ordinateur et de créer une chaîne de communication. On a installé les logiciels nécessaires de ANT et Nordic Semiconductor.

En utilisant des modules ANT+ et mbed, on a programmé la puce à faire des petits programmes pour tester la chaîne de communication ANT+ (voir les détails dans la section 'test'). La programmation de la puce se fait en langage C ou C++.

Pour finaliser la partie électronique, on avait besoin d'un connecteur entre le capteur et la puce, mais la pièce n'était pas livrée avant la fin du semestre et donc il n'y a pas de communication entre la puce et le capteur.

3.3.2. **Fonctionnement du protocole ANT**

Avant de commencer à développer les fonctions de la puce nRf51422, nous avons lu « ANT Message Protocol and Usage » afin de comprendre le principe de l'ANT et pour essayer de configurer notre puce afin de réaliser une communication sans fil.

L'ANT est un protocole de communication sans fil opérant sur une bande de fréquence de 2,4GHz et demandant très peu d'énergie.

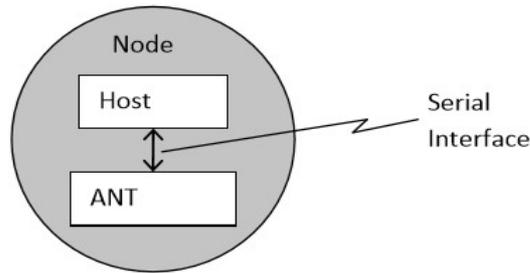


figure 11: Contenu d'un nœud ANT

Chaque nœud consiste en un Host MCU(Micro Controller Unit) et un ANT MCU. L'Host MCU a pour rôle de traiter les données et d'initialiser la communication ANT avec d'autres nœuds. Cela est fait via l'interface sériel entre Host MCU et ANT MCU, qui sert à établir et maintenir la connexion ANT.

Pour communiquer avec un autre nœud, un canal doit s'établir :

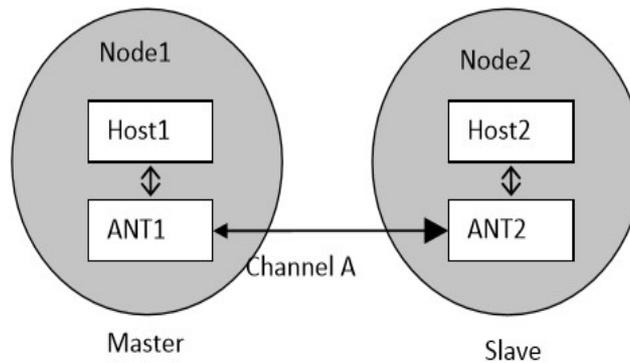


figure 12: Schéma représentant la connexion entre deux nœuds

La configuration d'un canal contient de nombreux paramètres à déterminer. Nous leur avons donné les valeurs suivantes :

```

///CONFIGURATION
///channel type: 0*50 master transmit only channel
///RF Frequency: 40
///Transmission type: 01 independent channel
///Channel period: 8192 (message rate 4Hz)
///Data type: 0*4E Broadcast
///Device number: a random generated by device
///Device type: 1
///Network number: 0 default public network

```

figure 13: Valeurs attribuées aux paramètres

Notre puce fonctionne uniquement comme un type master, ce qui nous fait choisir « Broadcast » pour Data Type (Broadcast Data est toujours transmis à l'esclave depuis le master) et « Master Transmit Only Channel » pour Channel Type.

3.3.3. **Fonctionnement de la micro-cellule de force**

Afin de mesurer la force appliquée sur la pédale, nous avons choisi un micro cellule de force, un Arduino UNO R3, et une Interface pour Capteurs de Base Wheatstone Bridge HX711 dont l'entrée est compatible avec le port E/S.

Les Arduinos sont des cartes matériellement libres sur lesquelles se trouvent un microcontrôleur qui peut être programmée par un environnement de développement (Arduino IDE ...) pour analyser ou produire des signaux électroniques, et traiter des données.

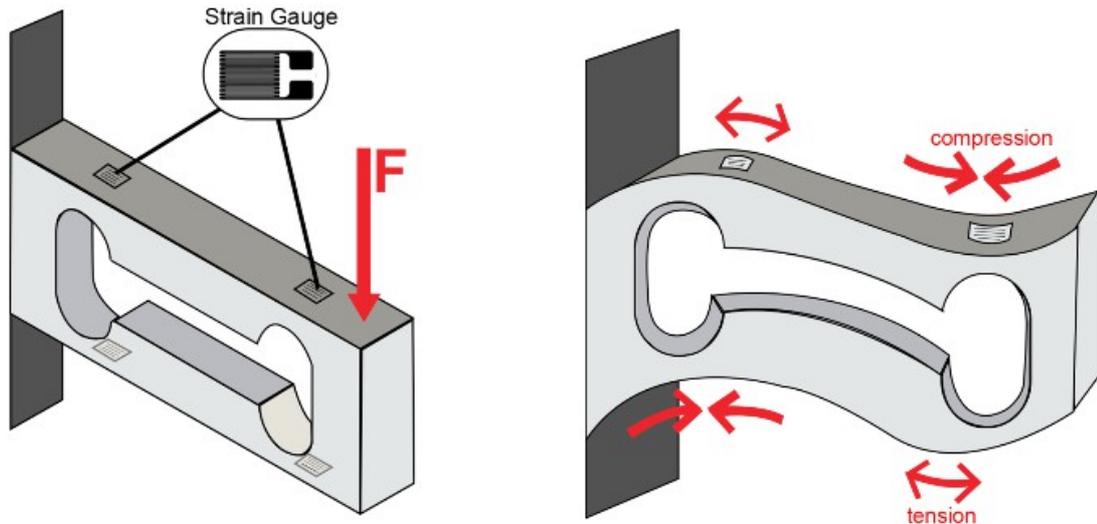


figure 14: Fonctionnement d'une micro cellule de force

Les quatre jauges de contrainte sont configurées dans le Pont de Wheatstone avec quatre résistances séparées. Dès que le membre élastique subi une force, la tension aux bornes de la micro-cellule sera plus ou moins différente de la tension de la pile. Ce changement peut être mesuré et digitalisé par l'Interface grâce au Capteur HX711 ,après amplification. Étant connectée au port analogique d'Arduino, l'interface va ensuite transmettre des signaux vers Arduino UNO pour le traitement des données.

Malheureusement, on ne trouve aucune librairie concernant l'interface sérielle entre ANT MCU et Arduino pour la communication. Ainsi, on ne peut pas programmer l'Arduino UNO pour envoyer des données par ANT sans une librairie ANT à moins que nous puissions créer une librairie par nous-même. Due à notre manque de connaissance sur ce sujet, nous avons utilisé la Bluetooth à la place de l'ANT pour la communication.

3.3.4. **Les tests réalisés**

Afin d'assurer la bonne communication entre les différents composants électroniques, une grande partie de notre travail a consisté à réaliser des tests, avec notamment la puce ANT intégrée à notre kit de développement nrf51-DK.

Nous avons dans un premier temps voulu vérifier le bon fonctionnement de notre puce en lui implémentant un programme simple permettant la transmission / réception de données. Grâce au site Mbed, qui propose des exemples de programmes (le plus souvent en langage C++) de ce type, ainsi qu'un compilateur en ligne; nous nous sommes servi d'un programme de mesure de rythme cardiaque. Une fois ce programme compilé et envoyé (via

USB) sur le nrf51-DK, nous avons en effet pu recevoir avec une application de Nordic les données cardiaques émises par la puce sur notre smartphone. Dans ce test nous n'avions pas de capteur cardiaque réel mais le programme envoyait simplement un rythme cardiaque en battements par minutes qui augmentait linéairement dans le temps. Nous pouvions observer sur l'application une courbe se tracer.



figure 15: Données reçues depuis la puce sur le téléphone

Nous avons donc étudié au mieux le fonctionnement du programme, afin de pouvoir l'adapter à notre problème : en remplaçant par exemple la gestion du rythme cardiaque par une fonction calculant la puissance en fonction des efforts reçus par notre capteur.

Après nous être intéressé à l'envoi de données depuis la puce, nous nous sommes penchés sur la réception. Pour cela, nous devons simuler l'existence d'un capteur émettant de l'information, puisque le notre n'était pas encore prêt. Le logiciel SimulANT+ permettait d'envoyer des données issues de capteurs virtuels.

Nous nous sommes cependant heurtés à un problème de communication entre le logiciel (sur le PC) et la puce du kit de développement. Malgré que l'on ait suivi des instructions du site <https://www.thisisant.com> pour établir un canal de communication ANT+, nous n'avons pas réussi à transmettre les données du logiciel à la puce. Cela était dû d'après nous à l'incompatibilité entre le PC, qui n'est initialement pas adapté au protocole ANT+, et la puce. Dans le test du capteur de rythme cardiaque, la communication établie avec le téléphone se faisait grâce au Bluetooth, supporté par la puce. Le développement de la communication via ANT+ sera donc une partie des perspectives de poursuite du projet, avec notamment la miniaturisation des composants. En effet, des adaptateurs sont nécessaires pour relier la puce à un socle de pile par exemple ou à une prise de type '10-pin' (voir photo ci-dessous) pour la programmer avec notre nrf51-DK.



Pour la suite, nous nous sommes intéressés au traitement pur des données. Pour cela nous avons choisi d'utiliser un simple capteur de torsion sur une barre de métal, relié à une carte Arduino associé à un module Bluetooth pour transmettre l'information traitée.

4. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

4.1. Conclusions sur le travail réalisé

Lors de ce projet nous avons abordé une multitude de domaines, allant de la résistance des matériaux à l'électronique et à la programmation. Cela nous a permis d'enrichir notre culture technique et de mettre en application nos acquis. De plus cela nous a également permis de travailler au sein d'un groupe ou nous étions plus nombreux que d'habitude et donc cela nous a obligé à nous répartir le travail et à nous tenir informés mutuellement des avancées réalisées par chacun pour faire avancer le projet de manière globale. Nous n'aurons pas pu atteindre tous nos objectifs lors de ce projet, en effet il s'est avéré que la conception du capteur de puissance (et notamment sur la partie électronique) était plus complexe que prévue. Même si c'est regrettable, cela ne s'est pas avéré être inutile car nous avons pu mieux cerner les problématiques qui se posent lors d'un tel projet.

4.2. Conclusions sur l'apport personnel de cet E.C. projet

– Rand :

Ce projet m'a particulièrement intéressé parce qu'il s'agit du développement d'un produit qui intéresse un grand public. Comme j'ai travaillé dans la partie électronique, j'ai développé mes compétences dans une partie de l'informatique qui m'était totalement inconnue. Il a fallu faire beaucoup de recherche sur les protocoles de communication. J'ai apprécié découvrir ce domaine très intéressant.

De plus, le projet était très enrichissant au niveau scientifique mais aussi l'aspect travail d'équipe. L'intégralité du projet a été une très bonne expérience pour moi.

– Hugo :

En tant que cycliste, travailler sur ce projet a été pour moi particulièrement motivant. Cela m'a également permis de développer ma culture technique en mécanique et notamment sur les systèmes de mesures de forces et de contraintes. Je regrette seulement que nous n'ayons pas pu clôturer notre projet par manque de temps car je pense qu'il s'agissait d'un vrai problème d'ingénierie et qu'il aurait été intéressant de valider (ou pas) les choix effectués lors de la conception. Ce projet est donc un premier pas très intéressant dans la mise en application des connaissances que nous avons pu acquérir au cours de nos études et les compétences qu'il nous a permis de développer nous serviront certainement lors de nos prochains projets à l'INSA ou en entreprise.

– Michael :

L'aspect positif principal de ce projet est d'après moi le fait que l'on ait un objectif concret, le développement d'un produit, et que l'on parte de presque rien pour y arriver. Cela nous a permis de mettre en œuvre nos capacités de réflexion pour répondre aux différentes exigences, et d'établir une organisation de notre groupe ainsi que de notre temps. Outre l'apport des connaissances obtenues grâce à nos recherches tout au long du projet, je pense que cela offre une bonne expérience pour la suite de notre cursus d'ingénieur.

– Guillem :

Pour ma part, j'ai trouvé ce projet particulièrement intéressant et enrichissant car il m'a permis de travailler en groupe, qui est une notion très importante dans le monde du travail, autour d'un thème commun comportant des thématiques en mécanique et en électronique. De plus il m'a permis d'appliquer concrètement des notions vues pendant le cursus STPI particulièrement en CT11 et CT13.

Ainsi, je pense que ce projet ne peut être que bénéfique pour mes prochaines années d'études.

– **Quentin :**

Durant l'EC P6, nous avons dû réaliser un projet qui nécessitait la conception du produit final ainsi que sa fabrication. Cela nous a permis d'apprendre à nous organiser de façon à prendre parti des points forts de chaque membre de l'équipe. Cela nous a aussi appris à communiquer entre les différents sous-groupes que nous avons créés afin d'adapter le boîtier en permanence en fonction des avancées produites dans le groupe informatique. J'ai aussi pu acquérir de l'autonomie grâce à ce projet car j'étais la personne responsable de la conception et de l'impression du boîtier dans son intégralité. Ce travail m'a appris à s'organiser dans un grand groupe ainsi qu'à communiquer avec les différents éléments du projet afin d'arriver à produire le capteur de puissance final.

– **Jiang :**

C'est dommage que je ne puisse pas écrire une librairie pour la communication de l'Arduino via ANT. De plus, le calcul de la force moyenne et la vitesse moyenne de rotation pour le calcul de puissance, n'est pas vraiment précis. J'espère que je pourrais l'améliorer dans l'avenir.

4.3. Perspectives pour la poursuite de ce projet

A la suite de notre projet, il y a certain point important que nous n'avons pas pu aborder par manque de temps, afin de terminer notre projet. Le premier point qu'il faudrait poursuivre est la miniaturisation de toute l'électronique. Ensuite, le code inclut sur la carte mère pourrait être amélioré. De plus, il serait nécessaire de calibrer la jauge posée sur la pièce métallique de traction. Et enfin, nous pourrions effectuer un test du capteur afin d'en donner les caractéristiques techniques tels que la précision ou encore le prix final de production.

5. BIBLIOGRAPHIE

- <https://www.thisisant.com/developper/components/> (valide à la date du 08/06/2016)
<https://www.nordicsemi.com/eng/Products/nRF51-DK> (valide à la date du 08/06/2016)
<https://fr.wikipedia.org/wiki/Arduino> (valide à la date du 08/06/2016)
<http://www.loadstarsensors.com/what-is-a-load-cell.html> (valide à la date du 08/06/2016)
<http://www.robotshop.com/media/files/pdf2/dfr-519-wiki.pdf> (valide à la date du 08/06/2016)

6. ANNEXES (NON OBLIGATOIRE – EXEMPLES CI-DESSOUS)

6.1. Listings des programmes réalisés

- Lignes de code permettant d'ouvrir un canal et de transmettre un message

```
switch (ucEvent)
{
  case EVENT_TX:
  {
    switch (ucChannel)
    {
      case Channel_0:
      {
        ANT_SendBroadcastData(Channel_0, DATA);
        break;
      }
    }
    break;
  }
}
} //transmit data
```

- Lignes de code permettant la réception des signaux

```
// Hx711.DOUT - pin #A2
// Hx711.SCK - pin #A3

#include <Hx711.h>
Hx711 scale(A2, A3);
unsigned long t=0;
float F, Fmax=0, p, Fcul=0, r, wcul=0;
int i=0;
boolean start=false;

void observation()
{
  Serial.println("please wait 5 seconds for configuration");
  unsigned long Tini=millis();
  while ((millis()-Tini)<5000)
  {
    delay(200);
    F=(scale.getGram(), 1)*0.0098;
    if (F>Fmax)
    {
      Fmax=F;
    }
  }
  Serial.println("finish!");
}
```

- Lignes de code permettant de

```
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
}

void loop()
{
  if (start=false)
  {
    observation();
    start=true;
  }
  if (t>=2000)
  {
    observation();
    t=0;
    Fcul=0;
    i=0;
  }
  delay(275);
  t=t+275;
  F=(scale.getGram(),1)*0.0098;
  Fcul=Fcul+F;
  i=i+1;
  if (-0.51<(Fmax-F)<0.51)
  {
    p=((2*3.14*r)/(t/1000))*(Fcul/i);
    wcul=wcul+p*t/1000;
    Serial.print("puissance :");
    Serial.println(p,2);
    Serial.print("travail :");
    Serial.println(p*t/1000,2);
    Serial.print("travail cumule:");
    Serial.println(wcul,2);
    t=0;
    Fcul=0;
    i=0;
  }
}
```

6.2. Propositions de sujets de projets (en lien ou pas avec le projet réalisé)

- Réalisation d'un drone imprimé en 3D
- Étude et optimisation de la cinématique d'une suspension VTT