

## Rapport de stage de création d'entreprise

-

### Conception d'outils d'aide à la performance sportive



**SPORT**  **SENSE**  


**Mickaël Renault**

Stage Elec4  
Septembre 2015

# Remerciement

Je souhaite remercier en premier lieu tous les membres du Bureau d'Aide à la Création d'Entreprise (BACE) de l'Université de Nice, et plus particulièrement Christophe Garelli, chargé de mission entrepreneuriat et premier interlocuteur des Etudiants Entrepreneurs. Il a su tout au long de l'année se rendre disponible pour chacun de nous, apporter des réponses à toutes nos questions, et également engager un temps considérable pour rendre notre contexte entrepreneurial encore plus favorable, en faisant le lien avec les instances nationales, et le tissu économique local.

Je tiens à exprimer ma gratitude à l'égard de Laurent Masson, de l'Incubateur PACA Est pour son accompagnement et sa disponibilité. Son expérience, son expertise, sa pédagogie m'ont permis lors de nos entretiens de prendre le recul nécessaire et réorienter mon projet sur les points essentiels.

Je remercie le Centre Européen d'Entreprises et d'Innovation (CEEI) qui m'a ouvert ses portes et permis de m'installer quelques temps dans ses locaux. L'accueil y est chaleureux, et l'atmosphère y est empreinte d'un dynamisme positif favorable au travail, à la création et aux échanges d'expertises ; contexte particulièrement convivial et motivant.

Je suis également reconnaissant envers mes interlocuteurs qui ont consacré un temps considérable à l'occasion d'entretiens, et qui ont accepté de répondre à mes questions sans ambages. Merci donc à Patrice Behagues (directeur du Centre de Ressources, d'Expertise et de Performance Sportive PACA, Site d'Antibes), Claude Carmona (directeur Pôle France de Gymnastique Antibes) et Yoann Berteotti (Sophrologue et préparateur mental des équipes de France).

Je souhaite également partager mon affection à toute l'équipe du Pôle France de Trampoline, qui ont su apporter un regard pertinent, être force de proposition lors d'échanges sur les besoins quotidiens d'une structure sportive, et de manière générale m'apporter un grand soutien et des encouragements dans ce travail.

Enfin, je souhaite remercier Eric Dekneutel, Sebastien Bilavarn, et Pascal Masson, professeurs à l'Ecole Polytech'Nice Sophia, pour m'avoir apporté leur regard expert avant et pendant ce stage, à l'occasion d'échanges en présentiel ou par e-mail.

# Sommaire



<b><u>INTRODUCTION</u></b>	<b>5</b>
<b><u>CHAPITRE I: ENVIRONNEMENT DU STAGE</u></b>	<b>6</b>
I.1 UN ENVIRONNEMENT FAVORABLE A LA CREATION ET A L'INNOVATION .....	6
I.1.A Environnement entrepreneurial	6
I.1.B Positionnement National	7
I.1.C Positionnement de l'Université et du CROUS de Nice	7
I.2 ENTREPRENDRE, OU APPORTER UNE SOLUTION A UN BESOIN IDENTIFIE .....	8
I.2.A Environnement en triple projet : saisir le besoin et appréhender sa solution	8
I.2.B L'entrepreneuriat : les outils et les indispensables pour un étudiant	9
I.2.C L'encadrement du stage : objectifs	10
<b><u>CHAPITRE II: STRUCTURER LE PROJET ET ENGAGER SA REUSSITE VERS L'AVENIR</u></b>	<b>11</b>
II.1 DE LA FORMATION EN INGENIERIE A LA FORMATION COMMERCIALE : CONSEILS ET ACCOMPAGNEMENT .....	11
II.2 ETUDIER LE BESOIN POUR MIEUX Y REpondre .....	13
II.2.A Rappel du projet	13
II.2.B Environnement, marché et environnement du besoin	13
II.2.C Cibler le besoin	14
II.2.D De l'analyse vers l'action	16
II.3 CONCEPTION D'UN PROTOTYPE : UN PLUS POUR LANCER UNE STARTUP .....	17
II.3.A Proposer un MVP (Minimum Valuable Product)	17
II.3.B Orienter le stage sur la conception du prototype : définir précisément les axes de travail	20
<b><u>CHAPITRE III: DEVELOPPEMENT D'UN PROTOTYPE ELECTRONIQUE</u></b>	<b>21</b>
III.1 ETUDE DES CONTRAINTES DU PRODUIT .....	21
III.1.A Environnement de fonctionnement et modélisation	21
III.1.B Normes à respecter, et choix d'implémentation physique	22
III.1.C Contraintes de temps, de géométrie, et de parallélisme d'actions	23
III.2 MODELISATION DU SYSTEME PAR APPROCHES SUCCESSIVES .....	26
III.2.A Affiner le modèle fonctionnel	26

III.2.B	Concrétiser le modèle, une étape relativement sous-estimée	30
III.2.C	Bilan des choix d'implémentation matérielle et logicielle	35
III.3	CONCEPTION ET TESTS PROGRESSIFS.....	36
III.3.A	Partie logique, tests et conception du PCB	36
III.3.B	Implémentation du micro-contrôleur et test de l'étape calculatoire	39
III.3.C	Interface Homme Machine (IHM), ou comment séduire l'utilisateur final	43
<b>CHAPITRE IV : PREMIER BILAN DE PROJET</b>		<b>46</b>
IV.1	RETROSPECTIVE SUR LE TRAVAIL EFFECTUE ET LES NOTIONS ABORDEES .....	46
IV.1.A	Maturité et notions apportées par une telle expérience	46
IV.1.B	Analyse parallèle entre le travail attendu et le travail réalisé	47
IV.1.C	Synthèse des principales difficultés et des choix opérés	48
IV.2	PERSPECTIVES DU PROJET ET DE L'ENTREPRISE.....	49
IV.2.A	Travail restant	49
IV.2.B	Projection de viabilité du produit	49
IV.2.C	Orientation de l'entreprise	49
<b>CONCLUSION</b>		<b>51</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE</b>		<b>52</b>
<b>ANNEXES</b>		<b>53</b>

## Introduction

Dans un contexte où des signes de reprise économique commencent à redonner des couleurs aux entreprises françaises, on observe notamment une progression de croissance de deux points dans le secteur de l'industrie et des services, et une hausse des embauches de 3,6% pour les entreprises de moins de 20 salariés<sup>1</sup>. Un contexte favorable donc, dans lequel l'optimisme regagne peu à peu les étudiants et jeunes entrepreneurs.

On observe par ailleurs le vœu d'un *nouveau monde d'action* soutenu par de nombreuses institutions, de l'Etat jusqu'aux organisations locales, qui souhaitent inciter la jeunesse à entreprendre. Les étudiants sont en effet poussés à la création, à l'innovation, à la formation de startups engagées vers le progrès, par le biais de dispositifs avantageux : création d'un Statut Etudiant Entrepreneur, focalisation de l'Université d'été du Medef sur la jeunesse, développement d'associations d'aide à l'entrepreneuriat pour les jeunes, inauguration à Nice de la première pépinière d'entreprise Universitaire, concours de création d'entreprise par la Fondation Unice... Tout est mis en œuvre pour séduire les nouvelles générations vers le choix de la création.

C'est dans ce contexte et avec la volonté de contribuer positivement au monde de demain que j'ai choisi l'entrepreneuriat.

Le comité d'engagement du Pôle Etudiant pour l'Innovation, le Transfert et l'Entrepreneuriat (PEPITE) de Nice ayant accepté ma demande, j'ai pu obtenir le Statut Etudiant Entrepreneur pour cette année autour d'un projet de création, et le substituer à l'usuel stage Assistant Ingénieur. Cette opportunité n'enlève en rien l'exigence d'un travail technique approfondi demandé à tout étudiant, mais s'orientera sur des domaines plus variés en prenant en compte notamment l'aspect « entrepreneuriat et stratégie commerciale ». Mais sur quel sujet ? Mon triple cursus « Sport de haut niveau, Etudes en électronique, et Entrepreneuriat » me pousse à unifier toutes ces composantes dans une perspective commune : la création d'outils innovants d'aide à la performance sportive.

Nous observerons donc à travers ce rapport dans quel environnement un étudiant construit son projet d'entreprise, sa mise en place et l'encadrement plus particulier dans le cadre d'un stage conventionné. Nous suivrons également le processus commercial indispensable avant tout lancement de production, et surtout sur quels besoins du consommateur s'appuyer. Enfin, nous aurons la possibilité d'aborder le domaine de l'électronique en s'attachant à la conception d'un prototype et nous finirons par un premier bilan de cette expérience.

Les pages suivantes sont organisées de manière chronologique et thématique, selon un plan précisé ci-dessus. Le lecteur, selon son profil pourra être intéressé davantage par l'une ou l'autre des parties, mais dans un but de saisir l'essence de ce document, je vous encourage à apporter une attention particulière à ces pages (liens cliquables) expliquant notamment : [comment est né le projet et comment est-il mis en place \(I.2\)](#) ; [quels besoins satisfait-il et sur quel marché \(II.2\)](#) ; [quels sont les objectifs et le calendrier à suivre \(II.3.B\)](#) ; [comment le prototype répondra-il aux cahier des charges \(III.2\)](#) ; et enfin, [que tirer de ces premiers mois d'expérience \(Chapitre IV\)](#).

---

<sup>1</sup> Chiffres publiés par l'Acoss, juillet 2015

# Chapitre I : Environnement du stage

Cette première partie présente traditionnellement l'entreprise accueillant le stagiaire, ses conditions de travail, ses missions ou projets. Ce rapport fera exception à cette convention puisque le contexte de ce stage est lui-même un peu particulier. Il est cependant important de comprendre l'environnement global de cette expérience, notamment en se penchant sur le monde de l'entrepreneuriat chez les jeunes.

Pourquoi entreprendre, pour répondre à quel besoin ? Et comment démarrer sans trébucher ? Entre inquiétude et enthousiasme, un jeune étudiant qui souhaite se lancer dans la création d'entreprise doit avant tout comprendre le milieu dans lequel il s'apprête à poser le pied.

Nous verrons donc comment nous sommes soutenus dans ce type d'initiatives et par qui ; avant d'aborder la question du projet porté, découlant sur ce stage *entrepreneurial*.

## I.1 Un environnement favorable à la création et à l'innovation

En 1997, les jeunes souhaitaient pour 80% d'entre eux devenir fonctionnaires, lorsque seulement 3% envisageaient la création d'une entreprise. Aujourd'hui, le monde a changé, la France a changé, et, selon les mots de Pierre Gattaz, président du Medef, 50% des moins de vingt ans affirment vouloir entreprendre. Comment sont-ils poussés et soutenus à la création, dans quel contexte ?

### I.1.A Environnement entrepreneurial

Dès que l'on pousse la porte de l'entrepreneuriat, il semble y avoir tout autour de nous un monde d'action, d'enthousiasme, de possibilités. Et ce n'est pas seulement une impression ! Avec les nouvelles techniques d'information, on observe une plus grande disponibilité des outils de formation, de méthodologie, de partage des connaissances, de soutien.

Le MOOC, ou Formation en Ligne Ouverte à Tous, a notamment révolutionné la façon dont nous avons accès à la formation, à la connaissance. Ces cours en lignes déposés gratuitement par de grandes écoles/universités (HEC, Polytechnique, MIT...) couvrent maintenant des domaines extrêmement variés. Parmi eux on trouve celui de la création d'entreprise, du marketing, de la comptabilité. Tous les ingrédients pour commencer d'un bon pied et structurer une logique d'action cohérente dans l'entrepreneuriat.

La France dispose également d'un tissu associatif très riche poussant à la création, et aidant les jeunes à surmonter cette première étape de lancement. L'APCE, très connue des jeunes entrepreneurs, a pour mission de diffuser l'esprit d'entreprise, de renseigner et donner des outils pour répondre à toutes les questions que l'on se pose lors des différentes phases de création. Un autre exemple, Moovjee est une association qui propose des solutions de mentorat à tout étudiant désireux de créer et consolider son entreprise, et cela quel que soit sa qualification (CAP à Bac+5, toutes disciplines). Elle informe et soutient les jeunes dans leur voie en leur donnant accès à des ressources, à des leviers de développement.

### I.1.B Positionnement National

L'Etat prend également sa part dans cet élan en créant en 2014 le statut d'Étudiant Entrepreneur, facilitant aux jeunes de moins de 28 ans l'accès à l'entrepreneuriat et la conciliation avec les études. L'objectif affiché est de former 20 000 étudiants entrepreneurs d'ici 2017. Ainsi, 29 Pôles Étudiant pour l'Innovation, le Transfert et l'Entrepreneuriat (PEPITE) ont été créés partout en France, et dont la mission principale est de connecter les étudiants aux acteurs économiques et au tissu associatif local, en prenant soin de les accompagner et de les former.

L'ambition de l'Etat quant à l'entrepreneuriat étudiant remonte cependant à plusieurs années maintenant. En 1999, lors de la loi sur l'innovation, la France assume sa volonté d'asseoir son rang international, notamment sur la technologie, mais cherche également à protéger ses talents d'une *fuite des cerveaux*. Ainsi, la loi incite les chercheurs à passer de leur laboratoire à leur entreprise en ayant accès aux incubateurs publics et au concours sur la création d'entreprises innovantes lancé par le ministère de la Recherche. Le soutien de l'entrepreneuriat, l'essor des pépinières, des incubateurs, résulte d'un mélange entre contexte économique, sociétal, et volonté politique. Et cela est encore vrai aujourd'hui.

Enfin, comment les entreprises françaises voient l'arrivée de jeunes entrepreneurs ? Plutôt d'un bon œil, à voir l'engouement autour de la jeunesse aux universités d'été du Medef de ce 26 août 2015 à Jouy-en-Josas. Le syndicat patronal a justement choisi ce thème pour promouvoir l'énergie et l'ambition d'une nouvelle génération qui doit faire face à de nouveaux défis. Apprentissage, étudiants-entrepreneurs, jeunes investis, tous les profils sont mis à l'honneur autour de débats sur les améliorations qu'il est possible d'apporter aux dispositions actuelles. Et de manière générale, la sensibilisation à cette nouvelle mouvance est un point symbolique révélateur d'une société qui se transforme.

### I.1.C Positionnement de l'Université et du CROUS de Nice

L'Université et le CROUS de Nice soutiennent également expressément l'entrepreneuriat étudiant, comme le souligne l'inauguration de la première pépinière universitaire à Nice le 19 juin 2015 au restaurant universitaire Carlone. Cette journée de découverte des locaux et d'accueil des entreprises innovantes, est également l'occasion pour Guillaume Houzel, directeur du Centre National des Œuvres Universitaires et Scolaires (CNOUS) de rappeler que c'est la première d'une longue série, et que ce lieu doit servir d'exemple. L'étroite collaboration avec le Bureau d'Aide à la Création d'Entreprise (BACE) a permis sa mise en place, visiblement réussie.

Nous avons précédemment cité quelques exemples concrets à plusieurs échelles pour tenter d'illustrer au mieux le contexte de création d'entreprise pour un étudiant. Cependant, il faut les mettre en perspective et prendre en considération qu'il existe bien d'autres moyens d'être accompagné lorsque l'on souhaite porter une idée. Ce contexte positif et encourageant s'articule notamment autour d'une question qui sera le pilier de tout projet entrepreneurial : quel est le besoin auquel je souhaite apporter une réponse ?

## I.2 Entreprendre, ou apporter une solution à un besoin identifié

Une idée, du temps, de l'enthousiasme. C'est bien souvent ce qui nous pousse en tant qu'étudiant vers l'entrepreneuriat. Mais il est nécessaire de bien creuser le sujet avant de se lancer, de tourner son idée et ne pas hésiter à la mettre à l'épreuve des critiques. Le soutien et l'accompagnement de personnes d'expérience rendront cette tâche moins difficile qu'il n'y paraît. Mais avant cela, je souhaite vous présenter le projet qui m'anime et son contexte.

### I.2.A Environnement en triple projet : saisir le besoin et appréhender sa solution

#### a) La naissance du projet

Sportif de Haut-Niveau en Trampoline depuis 2007, j'ai intégré le Pôle France d'Antibes après mon Baccalauréat en 2009. Les entraînements quotidiens, le plaisir et l'envie de progresser m'ont permis d'entrer en Equipe de France en 2013. Cette immersion dans le domaine du sport, et plus particulièrement du sport de haut-niveau, a été une véritable prise de conscience.

Tous les sports pratiqués en compétition nécessitent un lourd travail technique, physique et mental de la part des athlètes, accompagnés et orientés par l'œil expert des entraîneurs et leur équipe. La performance repose sur la capacité à mobiliser ces trois compétences avec précision, et est de manière générale le fruit d'une répétition du geste parfait un grand nombre de fois en entraînement.

Le projet que je porte a pour principal objectif d'apporter des outils technologiques innovants, là où les besoins sont exprimés par les clubs et fédérations sportives, afin de mesurer et analyser les séquences d'entraînement pertinentes et de restituer à l'athlète et son entraîneur le résultat des mesures. Ces systèmes fonctionnent sur la base de capteurs (mouvement, distance, déplacement, forces) dont les données sont synthétisées et mises en forme pour restituer un rendu graphique clair et pertinent : l'athlète se confronte ainsi immédiatement à ses propres résultats et l'entraîneur peut cibler précisément les correctifs à apporter.

Ces outils fonctionnels et accessibles répondent aux attentes exprimées lors des commissions fédérales, où est formulé le souhait de faire bénéficier des technologies récentes au plus grand nombre de licenciés dans l'objectif d'élever le niveau national.

#### b) Le profil

Étudiant en électronique en 4<sup>e</sup> année à l'École Polytechnique de l'Université de Nice, je suis une spécialisation en Génie des Systèmes Embarqués. Au cours de cette formation, j'ai pu apprécier le caractère innovant et de « renouvellement permanent » de ce domaine : *les solutions que nous trouverons demain seront meilleures que celles d'aujourd'hui*<sup>2</sup>. C'est un domaine où nous préparons le futur non pas par spéculation, mais par la technique, la curiosité, l'inventivité. Et c'est exactement le but d'un entrepreneur.

---

<sup>2</sup> Steve TRIMBERGER, Chercheur chez Xilinx, lors de la 17<sup>e</sup> Conférence SAME, Campus SophiaTech, le 2 octobre 2013

Etant toujours étudiant, mon expérience repose essentiellement sur des projets scolaires et personnels. J'ai notamment créé une autoentreprise en développement de sites internet en 2013, afin de profiter de mes connaissances acquises dans mon cursus pour répondre aux besoins grandissants de mon entourage. J'ai ainsi pu développer deux sites marchands, deux sites de professionnels indépendants, un site d'un réseau d'entrepreneurs, et un site associatif. Ce projet bien que passionnant et formateur sur son aspect organisationnel, n'est qu'un premier pas dans l'entrepreneuriat.

C'est donc fort d'un triple cursus Sport-Etudes-Entreprise que je souhaite aujourd'hui m'investir dans la réunification de ces trois composantes et entreprendre autour d'un projet de plus grande dimension.

## I.2.B L'entrepreneuriat : les outils et les indispensables pour un étudiant

### a) Statut Etudiant Entrepreneur

Comme cité précédemment, le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche a créé en 2014 le statut national d'Etudiant Entrepreneur, dans le but de faciliter l'accès à la création d'entreprise pour les jeunes poursuivant ou venant de finir leurs études. Il permet notamment de bénéficier d'un accompagnement par un enseignant et un référent externe du réseau PEPITE<sup>3</sup>, d'avoir accès à un espace de *coworking* pour profiter d'une synergie de groupe entre étudiants et entrepreneurs, et enfin donne la possibilité de signer un Contrat d'Appui Entreprise avec une structure de type couveuse.

L'une des facilités apportées par le statut est de pouvoir substituer son stage en entreprise par un stage entrepreneur, dans lequel l'étudiant peut approfondir son projet et démarrer la création de son entreprise.

Enfin, un Diplôme d'Etudiant Entrepreneur (D2E) permet la validation d'acquis lors de cette expérience, et donne une visibilité et une sécurité au statut.

### b) Mise en place

Dans les faits, la procédure est très simple. Le dossier est électronique et permet à l'auteur de préciser son projet, et commencer à se poser les bonnes questions. Il sera validé par le comité d'engagement du PEPITE<sup>3</sup> qui est chargé d'instruire les demandes pour le ministère.

Ce dossier complété puis validé, j'ai donc expressément souhaité commencer à travailler mon projet dès la période estivale de cette année 2015. La demande de remplacement du stage en entreprise par un stage Etudiant Entrepreneur a été acceptée par l'équipe pédagogique. Voilà donc la raison qui m'amène à écrire aujourd'hui un rapport d'expérience un peu particulier.

Le stage, conventionné entre le Bureau d'Aide à la Création d'Entreprise (BACE) et l'Ecole Polytechnique de l'Université de Nice, prendra place dans les locaux du Centre Européen d'Entreprise et d'Innovation (CEEI), pépinière d'entreprises de la métropole Nice Côte d'Azur. Cette structure d'appui aux entreprises héberge et accompagne les jeunes entreprises. Le statut

---

<sup>3</sup> Pôles Etudiants Pour l'Innovation, le Transfert, et l'Entrepreneuriat

d'Etudiant Entrepreneur permet d'y bénéficier des mêmes installations et services, gratuitement pour la durée du stage.

C'est donc dans ces locaux qu'une partie du stage prendra place, avec le soutien et l'accompagnement de Laurent Masson, de l'Incubateur Paca Est.

### I.2.C L'encadrement du stage : objectifs

#### a) **Rappel des exigences principales**

Le principal objectif de ce stage est d'approfondir la stratégie d'entreprise, s'articulant autour d'une réponse à un besoin clairement identifié et mesuré. Pour cela les défis sont grands et nombreux. Il sera important d'étudier l'environnement du ou des besoins, les pondérer, les mettre en perspective pour cibler un angle d'attaque et apporter une solution cohérente. Il s'agit également de définir les moyens à mettre en œuvre et la ligne directrice du plan d'action sur les années à venir pour conserver cette cohérence déjà citée. Beaucoup de détermination, de pragmatisme, d'organisation, de sérieux seront donc nécessaires dans cette expérience.

#### b) **Accompagnement du projet**

Laurent Masson, de l'Incubateur Paca Est, apportera son expertise, son regard extérieur, à l'occasion de plusieurs rendez-vous lors de ce stage. Il permettra notamment d'accompagner le processus de maturation de la stratégie d'entreprise.

Franck Bardy et Guillaume Bourgeon, respectivement Coordonnateur Technique et Entraîneur National au sein du Pôle France de Trampoline, me conseilleront et me guideront dans l'étude approfondie du milieu sportif, son organisation, son fonctionnement, ces besoins.

Enfin, ponctuellement, mes professeurs au sein de Polytech'Nice m'aiguilleront sur certains points techniques, aide dont j'ai été touché, en prenant du temps sur leur période estivale.

#### c) **Plus-value d'un stage étudiant entrepreneur**

Le stage Etudiant Entrepreneur se démarque par son approche dans la rencontre avec le monde de l'entreprise. Il s'agit de découvrir, d'apprendre, de créer, de faire des erreurs également, avec pour moteur son propre désir d'avancer, de réussir dans son projet. C'est en somme un saut dans le grand bain, où l'on acquiert de l'expérience, de la responsabilité par la confrontation à toutes les problématiques d'une entreprise naissante.

C'est donc dans ce contexte favorable à différentes échelles que nous allons pouvoir développer le contenu de ce stage, en abordant successivement la stratégie commerciale et l'aspect plus technique de l'innovation.

## Chapitre II : Structurer le projet et engager sa réussite vers l'avenir

### II.1 De la formation en ingénierie à la formation commerciale : conseils et accompagnement

Dans ce type de projet, le point fort d'un étudiant en Electronique est sa capacité à comprendre l'innovation, son implémentation matérielle et logiciel. Cependant, il manque de connaissances en terme de stratégie commerciale, gestion, marketing ou encore comptabilité. Il faut donc combattre cette faiblesse par la formation.

Le CEEI <sup>4</sup> propose justement des conférences, ateliers d'experts, réunions d'information afin de donner aux intéressés des outils pour avancer dans la bonne direction.

J'ai donc choisi de suivre un atelier présenté par Emmanuel Faiche, fondateur de l'agence de consultants EVCS, dont l'intitulé est « *Vendre un produit ou un service innovant* ». Fort de ses 20 ans d'expérience dans le développement commercial d'entreprises de haute technologie et d'ingénierie, il nous ouvre les yeux sur la réalité du terrain, et nous propose une méthodologie claire pour entreprendre dans le domaine de l'innovation.

- *Avant de parler du produit, parlons du problème*

Lorsqu'une idée nouvelle nous traverse l'esprit, il faut avant tout vérifier que cette nouveauté répond à un besoin. Le besoin émerge d'un problème, un obstacle rencontré par une population définie. Si l'on est capable de comprendre ce problème, d'expliquer le besoin et de le synthétiser avec l'approbation de la population concernée, alors nous pouvons dire que nous sommes sur la même *longueur d'onde* que le client.

- *Le client est roi*

Le client est au centre de l'attention, au centre de l'entreprise, il est le décideur. Il s'agit donc de saisir ses contraintes d'achat et ses besoins de retour sur investissement : gagner en rentabilité, en temps, sous des contraintes de coût, de qualité, d'évolutivité... Il faut se mettre à la place du client pour mieux le séduire.

Pour trouver le client qui sera sensible à notre produit, il peut être nécessaire de définir les Caractéristiques, les Avantages et les Bénéfices (CAB) d'une telle innovation, comprendre le retour sur investissement attendu et l'usage que l'utilisateur en aura.

Le marché potentiel quant à lui peut être le résultat successif d'une étude de marché, d'une analyse de la concurrence, et du choix de positionnement sur un segment défini.

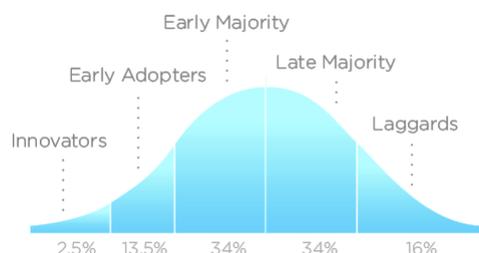
---

<sup>4</sup> Centre Européen d'Entreprise et d'Innovation (Nice)

- *Vendre une innovation : cas particulier*

Emmanuel Faïche nous rappelle quelques points fondamentaux du cycle de vente en nous indiquant les erreurs à éviter.

L'adoption d'une innovation touche différemment la population, en répondant essentiellement à un cycle défini par Geoffrey Moore (voir Figure II.1). On retrouve des profils minoritaires d'innovateurs ou *early adopters*<sup>5</sup> en début de cycle, avant une adoption plus tardive mais plus massive par la majorité. Il convient ainsi d'adapter son discours en fonction de l'interlocuteur.



*Figure II.1 - Cycle d'adoption de l'innovation selon Geoffrey Moore*

- *Cycle de vente*

Le cycle de vente à proprement parler suit une logique définie en plusieurs étapes :

1. **Identification des besoins** : comprendre le client, ses besoins, ses enjeux, et susciter son intérêt en adaptant son discours.
2. **Identifier les décideurs** : on ne vend pas à quelqu'un qui ne peut pas acheter, il faut identifier la ou les forces de décision.
3. **Convaincre, prouver** : maîtriser le scénario de démonstration du produit afin de motiver l'achat. Indiquer le plus clairement possible les retours sur investissement pour le client.
4. **Trouver son allié** : convaincre un associé ou un proche du décideur permettra de l'encourager à l'achat.
5. **Plan d'évaluation** : construire une offre élargie, réduire les réticences d'achat, s'adapter à la demande du client.
6. **Négocier** : définir préalablement les marges de négociation et concessions possibles (Par exemple : 10% de réduction si la commande est passée dans la semaine).
7. **Clôturer la vente** : Communiquer sur la réussite d'une vente, obtenir des témoignages clients afin d'en étudier les éventuels besoins complémentaires.

Il ne faut pas hésiter à utiliser une communication « multicanal » à l'aide de documents, cartes de visite, emails puis relance par téléphone par exemple. Exploiter tous les champs possibles afin de toucher le client de plusieurs façons.

<sup>5</sup> Adopteurs précoces

Cette formation est riche en informations, en méthodologie, en exemples concrets et permet d'aborder la stratégie commerciale du projet d'entreprise avec un nouvel œil.

## II.2 Etudier le besoin pour mieux y répondre

### II.2.A Rappel du projet

Notre projet est de concevoir des produits technologiques innovants adaptés à la pratique de sport en environnement spécifique, en prenant en considération les exigences techniques, les conditions d'utilisation, les besoins de retour et d'analyse des données, et la modularité des équipements des structures sportives. Ces dispositifs doivent également rester financièrement accessibles, afin de satisfaire les organisations de toute taille.

Notre principal défi est de garantir une expérience d'utilisation à la fois simple et performante, qui ne vienne pas entraver les méthodes d'entraînement existantes. Les outils proposés doivent apporter un soutien technique, et s'accorder avec le processus d'apprentissage et de perfectionnement des athlètes.

### II.2.B Environnement, marché et environnement du besoin

#### a) Environnement économique

Le poids du sport dans l'économie Française s'élève à 1,9% du PIB chaque année selon une étude de la DJEPVA, à hauteur de 40.2M€, dont plus de la moitié vient des collectivités territoriales, de l'Etat et des ménages. Ce sont (notamment par le biais d'associations sportives) les principaux investisseurs en équipement sportif.

D'après les prévisions pour 2014, la balance du commerce d'équipements sportifs est plus favorable à l'import qu'à l'export. Nous manquons donc d'entreprises françaises capables de répondre à la demande.

En 2006 est créé le Centre National pour le Développement du Sport (CNDS), qui a pour mission de soutenir le développement de la pratique sportive en France, des infrastructures, de l'aménagement du territoire, et lance une dynamique d'investissement dans tout le pays.

#### b) Marché et clientèle

Notre marché cible correspond aux structures sportives intermédiaires : les clubs, les CREPS, l'INSEP, les comités, les ligues, ou plus directement les fédérations dans le cas de produits homologués pour la compétition. La France compte plus de 172 000 associations sportives pour près de 15 millions de licenciés. Leurs attentes sont grandes mais elles ne peuvent se résoudre au choix impossible entre des outils grand public (peu chers, mais peu spécialisés) ou des productions sur mesures trop onéreuses. Elles sont pourtant des piliers de la performance sportive, et préparent nos champions de demain.

Parmi ces structures, les interlocuteurs privilégiés sont les entraîneurs et préparateurs physiques, qui sont au contact direct des licenciés et des besoins de leur discipline. Leur position les qualifie

également de membres décideurs particulièrement écoutés lors de concertations, votes de budget ou commande d'équipements.

### c) Environnement du besoin

S'il faut se plonger dans la peau du client pour mieux évaluer son besoin (voir partie II.1 - *Le client est roi*), voilà une situation qui ne m'est pas entièrement inconnue.

Le quotidien d'un sportif s'articule essentiellement autour de son (ses) entraînement(s). Son horloge biologique s'est adapté en séquences selon lesquelles une activité physique importante de plusieurs heures sera alternée d'une période de repos, à une fréquence qui peut varier d'un sport à un autre et en fonction de la période de l'année (par exemple : 2 entraînements par jours pendant les vacances scolaires, un seul le reste de l'année). Ses repas, son sommeil dépendent également de ce rythme, afin d'optimiser au mieux la période d'entraînement. Ainsi adapté, il consacre une partie importante de son capital énergétique dans la pratique de son sport : agilité, concentration, force, souplesse, coordination, vitesse... C'est un subtil mélange de ses capacités, associé à un grand nombre de répétitions du geste, qui permet à l'athlète de progresser. L'objectif principal est d'obtenir le geste parfait en compétition, gagner cette fraction de seconde qui permet de devancer son adversaire.

Lorsque l'on saisit l'investissement personnel, et le niveau d'exigence nécessaire pour arriver à conquérir cette fraction de seconde, il n'est pas anodin de chercher à faciliter le processus d'apprentissage.

Le futur du sport sera parsemé d'assistance technologique pour l'entraînement : réalité augmentée, générateur de stratégie adverse, mesure d'appui, de vitesse, d'aérodynamisme... Les outils d'aide à la performance viendront soulager l'entraîneur, et optimiser les séquences de travail de l'athlète en lui permettant d'apprendre plus vite en répétant le geste de moins nombreuses fois : en un mot, être meilleur, plus rapidement. Voilà les besoins d'un sportif et l'environnement dans lequel il l'exprime.

## II.2.C Cibler le besoin

Le contexte ainsi présenté, quels sont spécifiquement les besoins exprimés ? Pour répondre à cette question, plusieurs rencontres m'ont permis d'éclaircir les besoins spécifiques des sportifs, entraîneurs et structures sportives.

Tout d'abord, l'accompagnement de Laurent Masson de l'Incubateur Paca-Est, m'a permis, au travers de 3 entretiens répartis sur la période du stage, d'orienter la réflexion sur les points les plus essentiels, et en dégager les éléments pertinents pour la viabilité du projet. Les rapports de nos entretiens sont détaillés en Annexe A.

### a) Point de vue de Patrice Behagues, directeur du Centre de Ressources, d'Expertise et de Performance Sportives (CREPS), site d'Antibes

Les CREPS sont des établissements publics sous tutelle du Ministère des Sports, dont les principaux rôles sont d'accompagner les sportifs et les entraîneurs dans leur projet de vie (sport, diplôme, carrière...), de renforcer la performance (entraînements), d'accueillir les équipes de

France lors de stages, de participer à la ré-athlétisation des sportifs, et d'apporter une formation dans le domaine des activités physiques et sportives.

Une grande diversité des missions nécessite des installations conséquentes, dont une grande partie sont mises à disposition en partenariat avec la Mairie (terrains, salle de musculation, etc.). Mais les équipements en interne sont quant à eux pris en charge par le centre, et constituent un budget important. Parmi eux, on compte notamment :

- Un WattBike de l'entreprise Incept : c'est un vélo d'entraînement scientifique et pédagogique, riche en fonctionnalités permettant par exemple de visualiser, grâce à un logiciel adapté, les performances et paramètres biomécaniques de chaque séquence et de chaque utilisateur. Ce vélo vendu 3 000 €, apporte satisfaction aux coureurs cyclistes et aux triathlètes, qui peuvent optimiser leur travail par la mesure scientifique, quand ils devaient autrefois déduire empiriquement les points d'amélioration à focaliser.

- Une Thermo Training Room, de la société du même nom : cette pièce fermée dont l'apparence rappelle celle d'un sauna, fonctionne également sur le principe de la chaleur, mais dans un but sportif défini. Elle est équipée en son sein de barres de travail et sangles de suspension pour y effectuer une multitude d'exercices physiques dans un objectif d'entraînement, de rééducation fonctionnelle, d'augmentation des capacités cardio-respiratoires ou encore de détoxification. La température, montée à 37°C par un système infrarouge, accélère l'acclimatation à la chaleur, la période d'échauffement et de récupération, et optimise la tonification musculaire. La cabine, entre 15 000 et 20 000 €, est préparée sur mesure et installée à destination.

Ces exemples pointent l'intérêt des structures à s'équiper d'outils scientifiques d'aide à la performance sportive. Patrice Behagues le souligne lors de notre entretien, « *il faut diminuer les charges, optimiser les séquences* ». Il pointe du doigt les besoins en analyse vidéo à objectif tactique et technique, ainsi que les besoins en natation d'outils d'analyse subaquatiques. Sans remplacer l'entraîneur, ces solutions viennent accompagner l'entraînement et renforcer l'expertise.

#### **b) Point de vue de Claude Carmona, directeur du Pôle France de Gymnastique d'Antibes**

La structure du Pôle France de Gymnastique contient à la fois un gymnase équipé des agrès nécessaires à la pratique du sport, et un internat pour les jeunes scolarisés. C'est donc dans cet établissement « tout-en-un » que les gymnastes passent la plupart de leur temps.

Lors de notre échange téléphonique, il confie que l'un des axes d'amélioration du dispositif existant réside dans le suivi des sportifs, à la fois à l'entraînement et en dehors. Pour l'entraînement, il mentionne le besoin d'un « *système de sauvegarde des performances de chacun, pour que les athlètes puissent voir leur progression au cours du temps* ». L'utilisation de la vidéo est ponctuelle, avec un appareil de type tablette tactile. Un système fixe et polyvalent serait selon lui plus adapté. Enfin, en dehors du contexte purement sportif, il regrette un manque de suivi particulier (hors médical), notamment d'aide à l'hygiène de vie (récupération, nutrition, sommeil), permettant aux athlètes de mieux supporter la charge de travail.

### c) Point de vue de Yoann Berteotti, préparateur mental, sophrologue en collaboration avec les équipes de France

Yoann Berteotti travaille beaucoup avec le monde sportif. Lui-même ceinture noire de judo, il donne son temps pour l'accompagnement des athlètes demandeurs de préparation mentale pour la gestion du stress, de la concentration, de la visualisation, etc. Travaillant avec plusieurs équipes de France dans la région de Nice, son point de vue est important dans ce projet, car lui aussi vise l'optimisation de la performance sportive. Voici l'analyse de notre échange.

Il n'existe pas une, mais une multitude de solutions pour accompagner la performance. En ciblant spécifiquement l'athlète, l'un des axes de progression est de travailler sur le processus de conscience de soi : associer ce que l'athlète perçoit en interne de sa performance, et ce qu'il perçoit à posteriori de lui-même en s'observant pendant l'effort (point de vue externe). Cette *auto-confrontation* est rendue possible par l'analyse vidéo notamment, et permet de faire plus facilement un parallèle entre « actions » et « ressentis ».

Un autre point d'action possible, plus particulier aux jeunes sportifs, est d'accompagner la responsabilisation et l'autonomie. Un athlète aura une courbe de progrès plus rapide s'il s'investit de lui-même sans attendre les consignes.

En somme pour appliquer ces réflexions à notre projet, nous pouvons considérer deux besoins qui s'appliquent à l'ensemble des sports : le premier est un besoin de se confronter à sa performance, à ses propres progrès, et le second est de rendre cela simple et accessible, afin d'encourager le travail en autonomie.

## II.2.D De l'analyse vers l'action

### a) Précision de l'activité de l'entreprise

A partir des éléments précédent, l'activité de l'entreprise peut ainsi être redéfinie, sur la base d'un socle d'outils et services communs à tous les sports :

- Capteurs connectés (appuis, tension, hauteur, déplacement)
- Analyse vidéo (alignement, vitesse, angles)
- Sauvegarde des performances : nom, date, élément de performance spécifique au sport
- Rendu statistique ponctuel et chronologique
- Programmation des séquences d'entraînement, préparation physique, repos, nutrition

### b) Organisation de l'action

A ce stade, nous avons déjà pu replacer le contexte à plusieurs échelles, étudier le besoin en donnant la parole à la population cible, et redéfinir l'activité la plus pertinente pour l'entreprise au regard de ces besoins.

Plusieurs étapes manquent encore avant d'envisager le cycle de vente. Il faut en effet définir les ambitions de l'entreprise, en donnant des indications chiffrées et programmées sur le court,

moyen, et long terme. Avec ces données, il sera ainsi possible de s'adresser à des investisseurs ou banques, afin de pouvoir soulager financièrement l'entreprise qui pourra alors engager des moyens plus importants en conception, industrialisation, vente, support clients, etc.

Ici, une problématique de taille se pose : **sur quels chiffres s'appuyer ?** Quand bien même nous aurons précisé le type de produit à concevoir, comment évaluer précisément les coûts de production ? **Il faut pour cela se baser sur un prototype**, résultat d'une période de recherche et développement indispensable.

En somme, le prototype permettra d'établir plus finement l'analyse des coûts, et ainsi pouvoir organiser les prévisions financières de l'entreprise à inclure dans un business plan, permettant d'espérer le soutien financier d'investisseurs.

Une suite logique qui amène sur la table un choix urgent : Faut-il sous-traiter la recherche, le développement et la conception du produit afin de se focaliser sur l'aspect commercial ?

A cette question, étant étudiant en électronique en génie des systèmes embarqués, je vois au contraire une formidable opportunité d'apprendre ! Je prends donc la responsabilité de ce choix et préfère engager mes fonds propres dans la création d'un prototype qui répondra à mes exigences, et me permettra en plus de gagner en expérience, que de faire construire le produit par une entreprise tierce.

## II.3 Conception d'un prototype : un plus pour lancer une startup

Le prototypage est l'étape permettant d'évaluer la faisabilité et la viabilité du projet. C'est le meilleur argument pour une startup, afin de démontrer ses compétences et convaincre les clients et les investisseurs.

### II.3.A Proposer un MVP (Minimum Valuable Product)

Le marché très large du sport doit être précisé avant le lancement d'un produit. Il nous faut cibler le segment et définir le produit afin de commencer la création du prototype.

#### a) Précision sur le segment choisi

Le lancement de l'entreprise doit se faire sur un marché connu, où les perspectives de réussite sont très fortes afin de déclencher rapidement les premières ventes et rassurer les investisseurs. Pour cette raison, et afin de profiter d'une position favorable au sein de la clientèle cible, il est tout à fait naturel de commencer par le segment des **outils d'aide à la performance sportive en Trampoline sur le territoire français**.

L'objectif principal est de répondre à un besoin, certes très spécifique (trampoline), mais existant : 300 clubs participent aux compétitions de Trampoline chaque année, et seulement 5 d'entre eux sont équipés du matériel électronique utilisé en compétition. Il est constitué d'une machine permettant la mesure du temps de vol des athlètes, donnée prenant part dans la notation finale. Cependant ce dispositif coûte cher (2 000 €) et la concurrence est inexistante (un fournisseur Russe uniquement). Mon souhait est donc de concevoir une machine apportant plus de fonctionnalités, notamment pour aider à l'entraînement, et surtout à un prix plus abordable (600€), afin de rendre cette technologie accessible à un grand nombre de clubs.

La plus-value du produit, qui le démarquera de son concurrent, réside dans sa capacité à mesurer les déplacements du gymnaste sur l'agrès en plus du temps de vol, ainsi que de stocker les données des utilisateurs en interne afin de leur permettre d'avoir un retour sur leur progression.

L'objectif, dans un premier temps est la vente de 100 produits (CA de 60 000€), qui permet de s'implanter sur le marché de manière stable avant d'envisager la production d'autres lignes de produits.

Pour cela, je compte sur le statut d'athlète de haut niveau plusieurs fois sélectionné en équipe de France pour bénéficier d'une certaine crédibilité et toucher plus directement la clientèle.

Par ailleurs, une collaboration avec la Fédération Française de Gymnastique, dont les discussions sont en bonne voie, permettra d'accéder plus librement au marché national concernant la vente des appareils de mesure de temps de vol et de déplacement pour le Trampoline.

## b) Cahier des charges client

Le cahier des charge est élaboré en partenariat avec le Pôle France de Trampoline, également intéressé par ce projet.

### *Principe général*

**Temps de vol en trampoline** - Il est mesuré électroniquement et enregistre le temps passé réellement en l'air par les athlètes, excluant le temps de contact avec la toile de trampoline. Un temps long signifie que l'athlète évolue à une hauteur importante. Ainsi, ce total en secondes nommé TOF (Time Of Flight) est une partie importante du score final du trampoliniste. Les autres composantes sont : la difficulté et la qualité d'exécution.

**Déplacement sur l'agrès** - Cet indicateur de qualité d'un enchaînement devrait entrer comme critère de notation en compétitions à partir du 1er janvier 2017. Une zone tracée sur la toile du trampoline indique la limite de déplacement autorisée. Au franchissement de cette limite, le gymnaste reçoit une pénalité.

### Objectifs :

La machine à concevoir devra mesurer ces deux composantes, ainsi que la qualité de coordination lors d'une épreuve de Trampoline synchronisé, en comparant les temps d'atterrissage des 2 athlètes.

Le déplacement devra avoir une précision de l'ordre de 5 cm.

Le dispositif devra répondre aux normes en vigueur.

Un opérateur actionne la machine au début de l'exercice (pendant la première figure), et celle-ci s'arrête automatiquement au bout de 10 sauts.

### *Système chronométrique :*

Une ligne de mesure sous le trampoline permet de déclencher le chronomètre quand l'athlète quitte le trampoline, puis le stoppe lorsque celui-ci commence à s'enfoncer dans la toile. Le temps de vol d'un saut est mis en mémoire et le chronomètre est remis à 0.

### *Stockage des données :*

Les données du (des) trampoline(s) sélectionné(s) doivent être mesurées en continu même si l'opérateur n'a pas encore déclenché le compteur. Une mémoire de "veille" doit contenir les 3 dernières valeurs mesurées (temps de vol et déplacement).

Une fois que l'opérateur lance le compteur, la valeur en cours de mesure et les 9 suivantes sont stockées en mémoire.

### *Opérations rendues possibles par la machine :*

#### Cas de la mesure individuelle (1 trampoline):

- Mesure du TOF et déplacement saut par saut
- Somme du TOF de n sauts (n variant de 1 à 10), et déplacement associé

#### Cas de la mesure en synchronisé (2 trampolines):

- Mesure du différentiel de TOF et conversion en dixième de point de pénalité saut par saut
- Affichage du déplacement des 2 athlètes
- Affichage du score sur n sauts au lieu de la somme des TOF : total=n-somme(pénalités)

#### Commun à l'individuel et au synchro :

- Indication de déplacement avec une précision de 5 cm
- Pouvoir trouver les 3 sauts précédant le déclenchement par l'opérateur, si celui-ci a manqué le départ.
- Récapitulatif et affichage saut par saut

#### Actions de l'opérateur :

- Choix du trampoline sur lequel effectuer une mesure : T1, T2 ou Synchro
- Start : démarrage de la mesure
- Stop: Arrêt de la mesure en cours
- Choix du saut de départ (0 par défaut, mais peut également être -1, -2, ou -3)
- Choix du saut de fin (n=10 par défaut, mais peut être choisi entre 1 et 10)

#### Transfert des données sur ordinateur :

- Transfert par connectique USB
- Données lisibles dans un tableur, choix du format à préciser

### *Matériel*

- Boitier de visualisation alimenté via secteur et sur batterie (10min d'autonomie minimum)

Poids inférieur à 2kg

Dimension inférieure à 25x8x18cm (longueur x épaisseur x profondeur)

### II.3.B Orienter le stage sur la conception du prototype : définir précisément les axes de travail

Il est important de repréciser les objectifs de ce stage indiqués en partie I.2.C , en tenant compte de la nécessité du prototype dans la phase de développement de l'entreprise.

#### a) Objectifs du stage

Les principaux objectifs sont donc désormais d'une part de cibler le contexte de développement de l'entreprise et les besoins autour desquels elle gravitera, et d'autre part de proposer un premier prototype répondant aux besoins précisés par un client.

#### b) Lignes directrices et calendrier de stage

Le stage tel qu'il est indiqué dans la convention, a une durée de 7 semaines, mais nous ne nous restreindrons pas à cette durée légale, le travail pouvant être fait sur une plage bien plus grande. Il est par ailleurs indispensable lorsque l'on se lance dans l'entrepreneuriat, de s'y investir sans compter ses heures, car la réussite du projet en dépend considérablement. Le calendrier du stage est donc détaillé sur 9 semaines, avec les lignes directrices du travail à effectuer à chaque étape.

*Table II.1 - Calendrier provisoire du stage Etudiant Entrepreneur*

Semaine	Lignes directrices pour l'aspect Technique / Stratégie d'entreprise
S1	A. Plan de projet / Gestion de projet B. Formation préliminaire (vendre un produit innovant)
S2	C. Etude de l'environnement, du marché et ses besoins D. Délimitation de la clientèle cible , recherche du retour sur investissement côté client (gain en temps, en productivité)
S3	E. Cibler le besoin : rencontre avec les acteurs du sport
S4	F. Préparation MVP avec le client
	1. Définition du cahier des charges technique du produit 2. Etude des contraintes du produit
S5	3. Modélisation théorique du système
S6	4. Recherche des technologies existantes, et choix d'implémentation
S7	5. Commande des composants strictement nécessaires
S8	6. Phase de conception, correction, connexion des éléments
S9	

## Chapitre III : Développement d'un prototype électronique

Nous avons pu voir précédemment qu'avant tout développement technique au sein d'une entreprise naissante, la priorité est bien d'étudier le marché et ses besoins. Cette étude est l'une des conditions indispensables à l'essor et la réussite future d'une startup. Mais comment justifier suffisamment à notre équipe pédagogique au sein de Polytech'Nice Sophia la validation d'un stage « Assistant Ingénieur » si à aucun moment n'est abordée la question de l'ingénierie ? Sans avoir pour l'heure la prétention du titre, j'ai souhaité apporter un temps non-négligeable de ce stage au travail technique dans l'élaboration de ce premier prototype de système embarqué.

Nous traiterons donc dans cette partie de la conception de la chaîne d'acquisition, de restitution et d'interaction avec l'utilisateur final, selon le cahier des charges fonctionnel cité précédemment. Nous étudierons dans un premier temps les contraintes du système, avant de définir et préciser le modèle, le concevoir et le tester étape par étape.

### III.1 Etude des contraintes du produit

Le prototype, par opposition au produit final commercialisable, n'a pas d'obligation d'enveloppe, de protection contre la manipulation externe ou même d'esthétique de vente. Nous pouvons donc nous focaliser sur les contraintes d'utilisation et les exigences fonctionnelles apportées par le client. Comprendre l'environnement du produit permet de définir et pondérer avec précision les contraintes du système et effectuer les choix d'implémentation pour les satisfaire.

#### III.1.A Environnement de fonctionnement et modélisation

Une machine de mesure de temps de vol et de position pour le trampoline s'utilise dans un environnement relativement vaste pour un système embarqué, puisqu'il doit satisfaire les paramètres de surface et distances suivants :

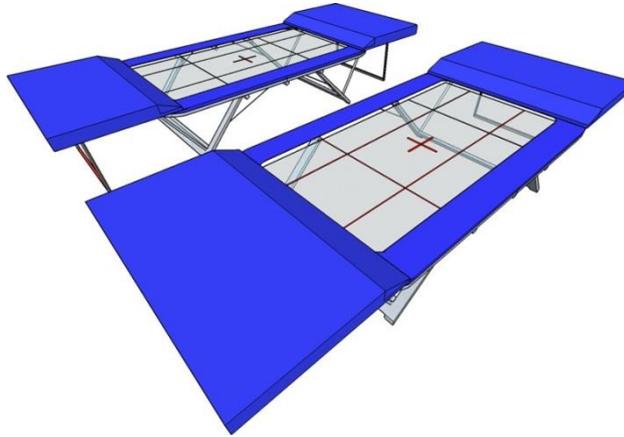
- Couvrir entièrement les 14,7m<sup>2</sup> de chaque agrès
- Opérer sur 2 trampolines séparés d'au plus 3m de manière coordonnée et simultanée
- Afficher les données à l'utilisateur (un juge, un entraîneur) situé à 6m du premier trampoline au maximum

Les données doivent bien sûr être transmises en (quasi) instantané et sans risque d'intrusion par un système extérieur.

Une modélisation de cet environnement est donc judicieuse pour pouvoir, à chaque fois que cela est nécessaire, vérifier la compatibilité du système avec ces contraintes en projetant ce dernier sur le modèle en 3D généré avec le logiciel Sketch'Up. Ce logiciel est utilisé pour cette tâche car il dispose d'une précision millimétrique, une bonne prise en main, et une bibliothèque de composants 3D assez riche, ce qui nous sera utile par la suite. Enfin, dernier argument et de taille, il est délivré sous licence gratuite, pour toute utilisation non commerciale. Il conviendra donc de vérifier avant le cycle de vente qu'aucune règle n'est enfreinte dans le cas d'une « utilisation pour

vérification de contraintes géométriques », et non dans un but de commercialisation du simple modèle 3D généré.

Voici ci-dessous un aperçu de l'environnement 3D modélisé.



*Figure III.1 - Modélisation de l'environnement en 3D, aperçu global*

### III.1.B Normes à respecter, et choix d'implémentation physique

Pour fabriquer un Système de Mesure de Temps de vol (SMT) homologué pour la compétition, la Fédération Internationale de Gymnastique (FIG) impose des normes que nous devons prendre soin de respecter. Dans le bulletin de janvier 2014, dernier en date pour ce secteur et toujours en vigueur aujourd'hui, nous pouvons trouver dans la fiche TRA15-II.97 les recommandations d'implémentation suivantes concernant la ligne de mesure et les capteurs :

- *Au moins 2 lignes parallèles le long du côté longitudinal de la toile du trampoline*
- *Les lignes se situent à  $\leq 100$  mm sous la surface intérieure de la toile hors charge encastrée dans un trampoline prêt à utilisation*
- *Les détecteurs de mesure du temps doivent pouvoir être installés sur n'importe quel trampoline standard. Les points de fixation se trouvent sous l'engin sans partie protubérante. Le cas échéant, les connexions de câbles doivent être suffisamment longues pour atteindre les zones hors-agrès (au moins 3m de distance avec le trampoline).*
- *En cas d'utilisation d'émetteur à faisceaux optiques, ces derniers ne doivent pas endommager la vue des participants, juges, spectateurs et membres du staff.*
- *En cas d'utilisation d'émetteur à onde radio, ces derniers ne doivent pas avoir une capacité de plus de 0,01 watts avec une fréquence de 27MHz et plus.*

En considérant l'ajout de la mesure du déplacement en plus de la mesure du temps de vol, et en appliquant des restrictions similaires, voici la synthèse des approches physiques possibles :

La position et le nombre de lignes de mesure chronométrique se comptera au nombre de 2, afin de ne pas engager de matériel non indispensable.

Les capteurs utilisés seront de type barrage (*through-beam sensors*) avec au choix notamment la combinaison Émetteur+récepteur, ou alors Émetteur/Récepteur+ Réflecteur. La première solution dispose d'un meilleur temps de réponse, la seconde permet de faire l'économie de matériel câblé.

Les capteurs de position, ne possédant pas encore de restriction dans les normes internationales, seront adaptés du précédent texte. Il est envisageable d'utiliser des capteurs de distance placés à chaque angle de l'agrès à une distance  $\leq 100$  mm sous la surface intérieure de la toile, et de déduire le déplacement par triangulation des signaux. Plusieurs types de capteurs existent, nous détaillerons dans la partie suivante lesquels sont pertinents et dans nos objectifs d'achat.

Si toutes les solutions imaginées ne sont pas ici évoquées, c'est qu'elles ne sont pas pleinement compatibles avec l'environnement d'utilisation, ou avec les orientations supposées de la FIG sur le sujet (nous suivons pour cela les conseils avisés de Lucien Viviani, responsable du jugement en trampoline en France et également responsable des équipements en compétition).

Nous pouvons constater qu'un soin particulier est à apporter sur le choix de la technologie à utiliser pour les différents capteurs, en prenant en compte les distances en jeu (modélisées précédemment), et les objectifs d'achat limités fixés par l'entreprise.

### III.1.C Contraintes de temps, de géométrie, et de parallélisme d'actions

#### a) Contraintes de temps

Lors de l'impact de l'athlète sur la toile, son cône d'enfoncement prend forme avec une vitesse et une profondeur liées à son poids, l'angle d'attaque, et la force engagée pour amplifier le rebond. Le capteur barrage est placé par défaut à moins de 100mm sous la toile, et c'est bien lui qui va actionner la prise de mesure de la localisation du gymnaste sur l'agrès. Dans le cas de l'utilisation de capteurs de distance à chaque angle du trampoline, le retour de cette mesure doit être fait pour un enfoncement de moins de 400 mm sous la toile. Au-delà, la mesure de distance sera opérée sur une base trop large du cône d'enfoncement et dégradera la précision de l'outil.

Il convient alors de modéliser la fonction parabolique de l'enfoncement minimal et maximal d'un athlète en compétition<sup>6</sup> en fonction du temps. (Annexe B).

*Table III.1 - Enfoncement minimal et maximal évalué en profondeur et en durée lors d'une compétition nationale*

	Enfoncement (en cm sous le niveau de la toile au repos)	Temps (en ms)
Minimum	40	150
Maximum	115	250

- Soit  $y = m(t)$  fonction établissant l'enfoncement minimum (en cm) d'un athlète en fonction du temps (en ms)

<sup>6</sup> Valeurs extrêmes non-atteintes, déduites à partir de mesures effectuées à l'aide d'une caméra « slow motion » à 240 images/s sur des athlètes lors de la Coupe Nationale de Trampoline, le 02 mai 2015.

- Soit  $y = M(t)$  fonction établissant l'enfoncement maximum (en cm) d'un athlète en fonction du temps (en ms)

D'après les données précédentes, on obtient :

$$m(t) = -(40 \times \left(\frac{2}{150}\right)^2) \left(t - \frac{150}{2}\right)^2 + 40$$

$$M(t) = -(115 \times \left(\frac{2}{250}\right)^2) \left(t - \frac{250}{2}\right)^2 + 115$$

L'instant correspondant à un enfoncement de 10 cm, entraînant l'actionnement des capteurs de distance se situe respectivement à :

$$\begin{cases} t = 10,0ms \Rightarrow m(t = 10,0) = 10cm \\ t = 5,6ms \Rightarrow M(t = 5,6) = 10cm \end{cases}$$

L'instant correspondant à un enfoncement de 40 cm, moment où les données de distances doivent avoir été enregistrées par les capteurs se situe respectivement à :

$$\begin{cases} t = 75,0ms \Rightarrow m(t = 75,0) = 40cm \\ t = 24,1ms \Rightarrow M(t = 24,1) = 40cm \end{cases}$$

La contrainte de temps s'applique de manière beaucoup plus importante pour un enfoncement qui l'est également. En considérant ces cas extrêmes, nous devons anticiper le temps d'actionnement des capteurs barrages, la transmission de l'ordre de prise de mesures de distance et l'émission et la réception du signal pour cette mesure. Pour ces opérations, on obtient une contrainte de temps de  $\Delta t = 24,1 - 5,6 = 18,5ms$ .

#### b) Parallélisme d'actions

Sur la séquence d'actions précédentes, les capteurs barrages transmettent un signal de déclenchement aux capteurs de distance de manière synchrone. Cependant, selon la distance du sujet de chaque angle de l'agrès, le signal de retour arrivera à un instant indéterminé, et la transmission de l'information arrivera alors au micro-contrôleur de manière asynchrone.

Il est donc important de prendre en compte ce point dans le modèle, d'autant qu'il y aura potentiellement entre 4 et 6 capteurs de distance sur chaque agrès et que 2 agrès sont nécessaires pour le fonctionnement du produit dans son mode « synchronisé ». Le système doit être capable de recevoir et stocker les informations en parallèle sans délai d'attente.

#### c) Contrainte de précision du temps

Comme il est indiqué dans le cahier des charges du client, la précision chronométrique doit être de 1ms quel que soit le mode de fonctionnement.

En mode « individuel », le chronomètre doit sauvegarder le temps passé par l'athlète hors de la toile. En mode synchronisé, il s'agit d'enregistrer le différentiel de temps entre la réception des deux athlètes dans la toile de leur agrès respectif. Pour ces 2 fonctions, la précision doit être du même ordre. Selon les normes de la FIG, voici précisément l'explication du processus de déclenchement de la mesure en mode « individuel » :

TRA15-II.97 :

- §2-3 : **Point de départ de la mesure**: Moment où le gymnaste se détache de toutes les lignes de mesure en s'élançant de la toile du trampoline et qui produit un signal mesurable par le SMT.  
**Point final de la mesure** : Moment du premier contact entre le gymnaste et au moins une des lignes de mesure par impact sur la toile du trampoline et qui produit un signal mesurable par le SMT.

- §6 : **Temps de vol** : intervalle de temps pendant la phase de vol d'un saut entre le point de départ de la mesure et le point final de la mesure, exprimé en secondes.

-§7 : **Différences temporelles dans la réception** : intervalle de temps à la réception après le même saut synchrone entre le moment du premier contact entre le premier gymnaste et l'une des lignes de mesure, et le moment du premier contact entre le second gymnaste et l'une des lignes de mesure.

#### d) **Contrainte de portée des capteurs et précision de la distance**

Les dimensions de l'agrès nécessitent l'utilisation de capteurs barrages et capteurs de distance pouvant couvrir toute sa surface.

Dans sa partie longitudinale, le trampoline mesure 5,05m ce qui doit être de fait la portée minimale des capteurs barrages.

L'évaluation de la position de l'athlète, pouvant être potentiellement n'importe où sur la toile, doit avoir une marge d'erreur maximale de 5 cm, soit 1,2% de marge d'erreur en longueur, et 2,4% en largeur. Cette précision demandée par le client permet de déterminer si le centre de gravité du gymnaste dépasse ou non la zone de réception autorisée sous peine de pénalité. Ainsi, il peut convenir d'apporter la précision requise essentiellement en bordure de la zone afin de répondre à cette exigence fonctionnelle, sans pour autant donner cette finesse de quadrillage sur l'ensemble de la toile.

La portée requise pour les capteurs de distance placés dans les angles du cadre métallique de l'agrès est dans l'absolu la longueur de la diagonale de ce même cadre, à savoir 5,83m. Cette valeur est à relativiser selon la géométrie du champs de mesure, l'angle d'ouverture et le nombre de capteurs disposés sur (ou sous) le trampoline.

A toutes ces contraintes techniques, il faut également appréhender les contraintes de fonctionnement imposées par l'utilisateur et par les normes d'un tel produit. Nous allons par la suite pouvoir préciser le modèle de notre système en tenant compte de l'ensemble de ces données.

## III.2 Modélisation du système par approches successives

Le système à concevoir ne pourra pas être ici modélisé entièrement à la vue de ces seules informations. Nous allons étudier et préciser ce système par approches successives en tenant compte des exigences fonctionnelles (du client et des normes), puis en affinant l'échelle d'étude à chaque étape, et enfin nous acterons les choix d'implémentation matérielle et logicielle répondant aux contraintes précédemment détaillées.

### III.2.A Affiner le modèle fonctionnel

Les différentes étapes approfondies ci-dessous s'appliquent à la précision du système de mesure de temps de vol en mode « individuel ». Les mêmes étapes sont effectuées pour la modélisation du système en mode « synchronisé », mais nous ne détaillerons pas cette étude dans le présent rapport.

#### a) Modélisation du système global

- *Diagramme de contexte*

TRA15-II.97.2 : Après action sur le bouton *start* lors de la phase d'envol du premier élément, le système enregistre tous les intervalles de temps séparant les envols et les réceptions du gymnaste (temps de vol), y compris le temps de vol du premier élément. Au terme de l'exercice, le système doit calculer, indiquer et mémoriser les temps de vol des éléments ainsi que leur somme (jusqu'à 10 éléments).

TRA15-II.98, §9 : Si l'utilisateur actionne le bouton *stop* avant la fin prévue de l'enchaînement, le SMT n'enregistre plus les signaux à la réception de l'athlète sur la toile du trampoline.

Les capteurs barrages délivrent en continu une information sur leur état (« interrompu » ou « non-interruptu »), et permettent lors de la sortie de l'athlète de la toile de démarrer la mesure chronométrique, puis lors de la réception du gymnaste sur l'agrès, de stopper cette mesure et de générer une requête de position. La localisation est effectuée par les capteurs de distance (4 ou 6) grâce à une triangulation des distances données, puis est associée au temps de vol de l'acrobatie précédente sur l'interface graphique dédiée. L'utilisateur pourra à posteriori visualiser les données de temps et de position figure après figure, ainsi que la somme du temps de toutes les figures.

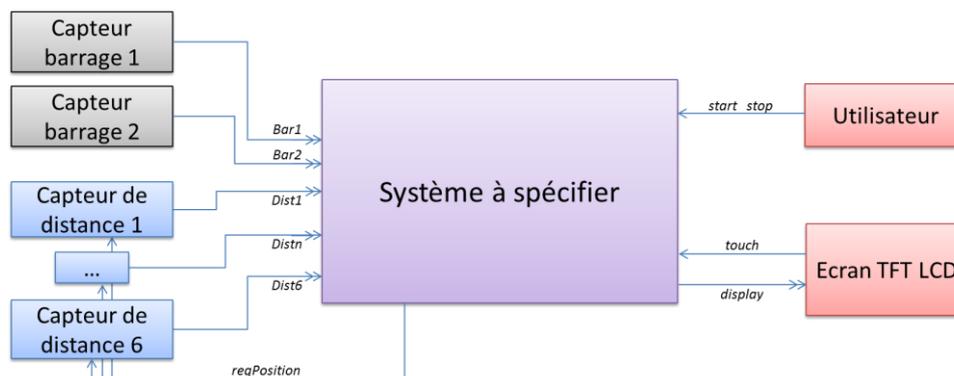
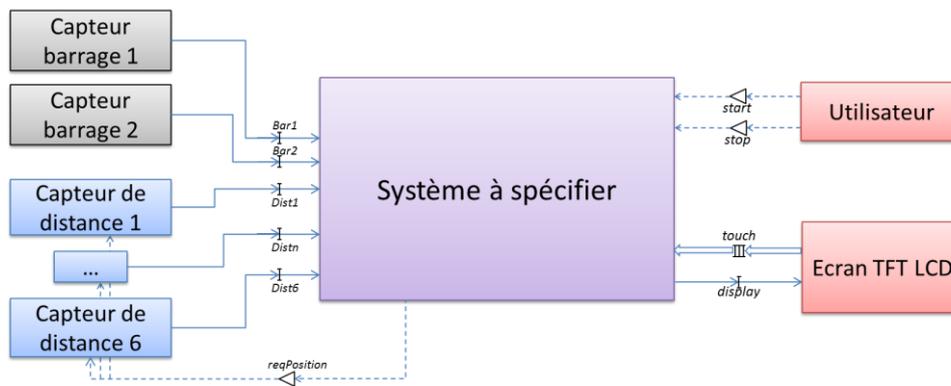


Figure III.2 - Diagramme de contexte du système

- *Délimitation fonctionnelle*

Les états des capteurs barrages et des capteurs de distance sont des données permanentes, de même que l’affichage sur l’écran LCD. La pression d’un bouton *start* ou *stop* sont quant à eux des évènements ponctuels, ainsi que la requête de position. Enfin, le signal *touch* est un signal de type *information* : il est déclenché ponctuellement et apporte une donnée sur la nature de l’action sur l’écran.

A partir de cela il est possible de déterminer le diagramme de délimitation fonctionnelle du système (Figure III.3).



*Figure III.3 - Délimitation fonctionnelle*

## b) Solution fonctionnelle : modèle Supervision/Contrôle

Le système occupé par l’interface graphique ne peut également contrôler et traiter les données des différents capteurs. Il convient donc d’utiliser un modèle de type Supervision/Contrôle afin de répartir correctement le traitement des données au sein du système.

Le contrôleur reçoit les données des capteurs et les actionne, avant d’envoyer un signal de type « information » au superviseur en communiquant le temps de vol et la position de l’athlète sur l’agrès.

Le superviseur est sensible aux actions de l’utilisateur, notamment à travers les actions *start*, *stop* et la manipulation de l’écran tactile. Il collecte également les données reçues par le contrôleur et les restitue de manière graphique sur l’écran.

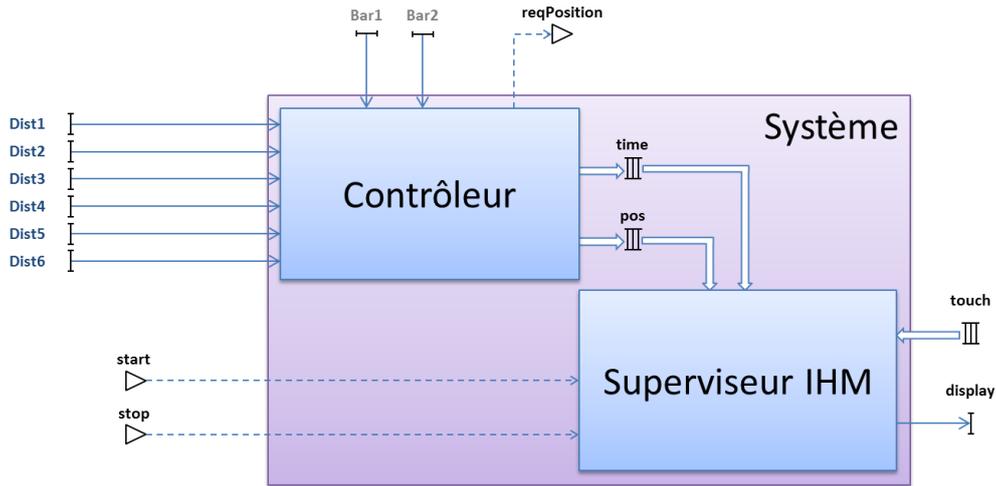


Figure III.4 - Modèle Supervision / Contrôle utilisé pour le système

- *Précision du contrôleur*

En affinant le modèle du contrôleur, on distingue plusieurs blocs (Figure III.5) pouvant fonctionner de manière indépendante :

- *Barrage* permet le traitement de l'information des lignes de mesure de temps de vol pour en faire émerger les signaux de type « évènement » associés à la requête de position, à l'état d'envol du gymnaste et à son état de réception.
- *Chronomètre* associe au différentiel de temps entre les signaux d'envol et de réception une valeur chronométrique qui sera transmise au superviseur.
- *Calcul Position* effectue le calcul de triangulation des signaux de distance et moyenne la position du gymnaste en tenant compte de l'instant de sa réception. Le résultat obtenu sera transmis au superviseur sous la forme d'un couple de coordonnées (x,y).

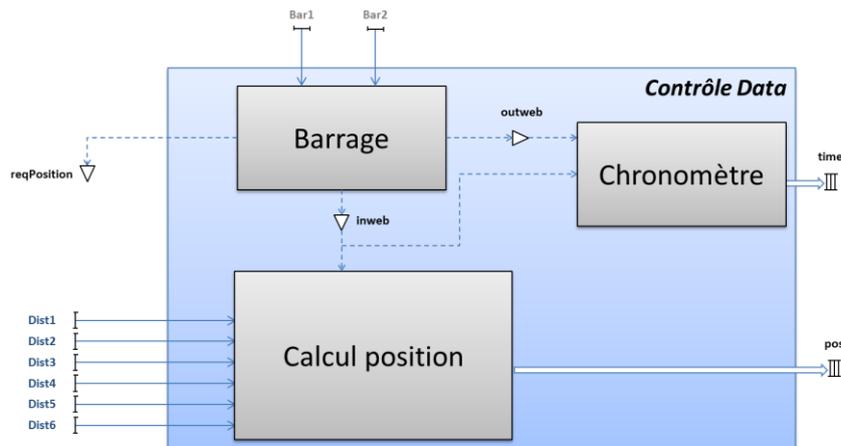


Figure III.5 - Modèle affiné du Contrôleur

- *Précision du superviseur*

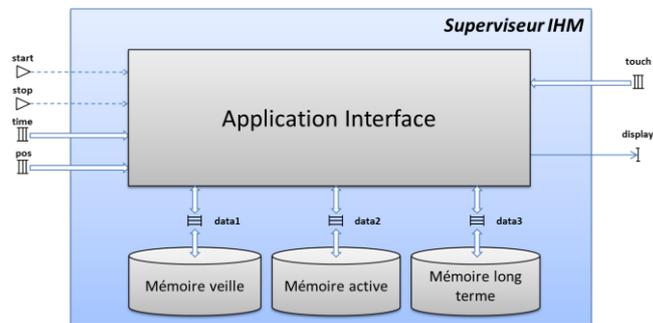
Le superviseur reçoit la commande de début (et de fin, si nécessaire) d'enregistrement donné par l'utilisateur. Il stocke chaque donnée en mémoire, compte le nombre de figures et affiche les résultats en temps réel à l'utilisateur.

Le stockage des données en mémoire dépend de l'état du système :

- En état de veille (avant action sur le bouton *start*), le superviseur stocke dans une mémoire de type « pile FIFO » les temps de vol et positions des 3 derniers sauts effectués.

- En état d'enregistrement (après action sur le bouton *start*), le système conserve chaque nouveau couple de données temps/position dans une mémoire pouvant accueillir 10 éléments de ce type.

- En fin d'enregistrement, l'utilisateur peut choisir de conserver ses résultats en mémoire jusqu'à ce qu'il décide de sa suppression manuelle le moment venu. Cette mémoire doit pouvoir stocker jusqu'à 500 enregistrements de 13 éléments de type temps/position (3 avant le signal *start*, 10 après), associés à la date/heure de la performance, ainsi qu'à un code permettant à l'utilisateur de retrouver ses données à posteriori.



**Figure III.6 - Modèle affiné du Superviseur**

- *Solution fonctionnelle à soumettre*

Le système complet peut ainsi être globalement synthétisé de manière fonctionnelle selon la Figure III.7

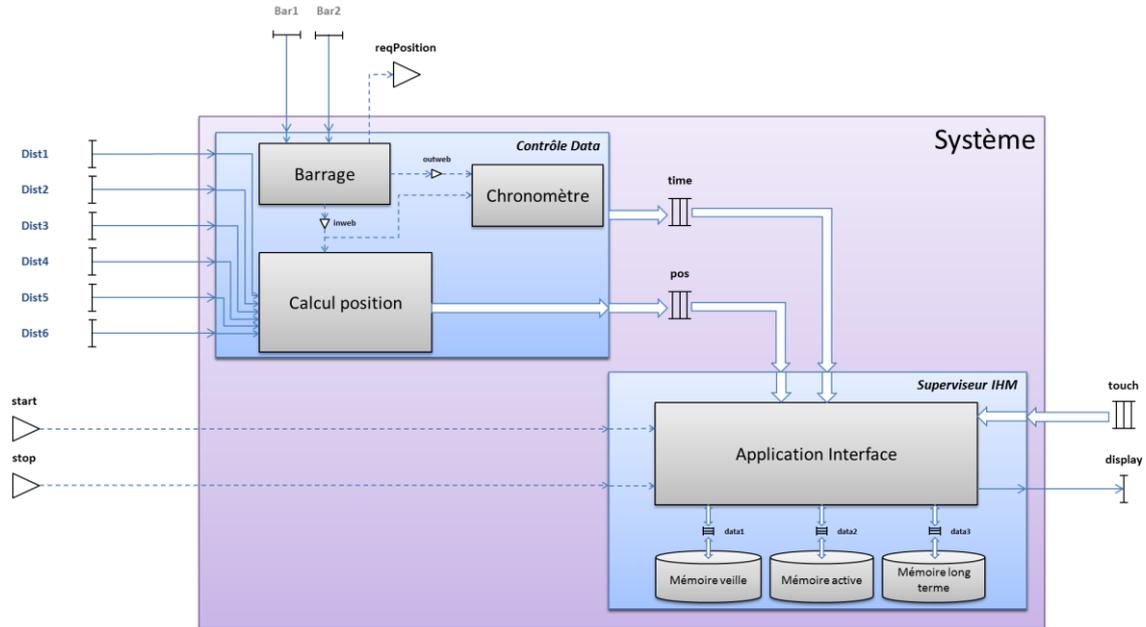


Figure III.7 - Modèle affiné du système complet

Il conviendra de préciser le contenu des différents blocs fonctionnels et la forme de celui-ci : logique, assembleur, VHDL, C/C++, ou autres codes. Il dépendra en partie du matériel utilisé, il faut donc maintenant approfondir la recherche des *possibles*.

### III.2.B Concrétiser le modèle, une étape relativement sous-estimée

L'étape de modélisation du système reste très théorique, et, bien qu'il soit possible d'approfondir l'étude notamment avec le logiciel *CoFluent*<sup>7</sup> pour y ajouter les spécifications de chaque bloc (timing, structure, code), il faut préalablement trouver une plateforme matérielle accessible pouvant recevoir avec certitude cette implémentation complète. De même, afin de préciser la nature des signaux et des méthodes de communication avec les capteurs et l'écran LCD, il convient d'explorer les différents matériels possibles et leur inter-compatibilité.

Cette période de recherche est initialement prévue pour une durée d'une cinquantaine d'heures environ, et en prendra finalement plus de soixante-dix. Pour quelle raison ? Le manque d'expérience, sans aucun doute. Nous avons, en tant qu'étudiants, des bases sur différents domaines en électronique, mais n'avons pas encore eu l'occasion de se confronter réellement au monde de l'entreprise, de la conception, de la budgétisation... Voilà donc dans cette partie un point essentiel du stage où celui-ci prend tout son sens, permettant de commencer à explorer la question : « *Qu'existe-t-il dans le monde, comment cela fonctionne-t-il, et à quel prix ?* ».

#### a) Lignes de mesure du temps de vol et capteurs de position

Une grande partie des dispositifs référencés sur internet sont à vocation industrielle, et sont de ce fait très précis, fiables et bien documentés, mais les informations de prix ne sont disponibles que sur devis. A notre demande, les fabricants nous communiquent alors les prix unitaires mais ceux-

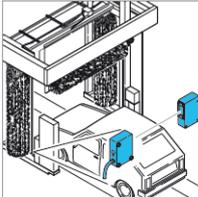
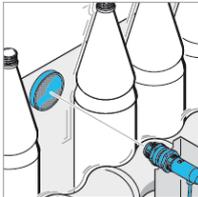
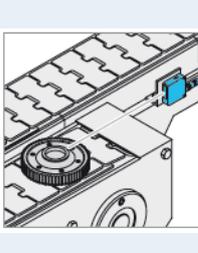
<sup>7</sup> Intel® CoFluent™ Studio, Version 5.1.0, licence délivrée à Polytech'Nice Sophia pour utilisation à des fins pédagogiques.

ci sont trop élevés pour la conception du prototype, il faudrait considérer de très grandes quantités pour y trouver un réel intérêt.

Il est donc nécessaire de chercher davantage sur les sites d'électronique tout public où les produits sont moins aboutis (produits livrés à nu sans connectique, boîtier ou protection), et de manière générale moins bien documentés, mais ont l'avantage d'avoir un prix unitaire intéressant et parfois des évaluations d'utilisateurs utiles.

- *Détecteurs d'interruption de ligne*

Il existe différents dispositifs optiques pour détecter l'entrée du gymnaste dans la toile, dont la ligne rompue générera un changement d'état :

	<p><b>Barrage photoélectrique<sup>8</sup></b> : un émetteur et un récepteur de part et d'autre de la ligne à surveiller.</p>	<p>Avantages :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fiabilité, robustesse</li> <li>- Prix</li> </ul> <p>Inconvénient :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 2 systèmes à alimenter et câbler</li> </ul>
	<p><b>Détecteurs Reflex</b> : un boîtier comprenant l'émetteur et le récepteur situé face à un réflecteur.</p>	<p>Avantage :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Un seul boîtier à câbler</li> <li>- Prix</li> </ul> <p>Inconvénient :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Manque de robustesse</li> </ul>
	<p><b>Détecteurs à réflexion directe et suppression d'arrière-plan</b> : un boîtier comprenant l'émetteur et le récepteur optique, dont la fonction <i>teach</i> permet d'enregistrer le motif d'arrière-plan et ainsi reconnaître la présence d'un élément étranger.</p>	<p>Avantages :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Particulièrement fiable</li> <li>- Un seul boîtier à câbler</li> </ul> <p>Inconvénients :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Matériel coûteux et fragile</li> <li>- Nécessite l'utilisation de la fonction <i>teach</i> à chaque installation</li> <li>- Faible portée du système (2m)</li> </ul>

La première solution sera satisfaisante : la robustesse et le prix sont des arguments décisifs dans notre étude comparative. Deux barrages photoélectriques sont alors commandés : l'un est un modèle à application industrielle d'entrée de gamme à 25€ l'unité (Riko, R3JK-30KP2), et le second est un dispositif à nu à 14,44€, à intégrer dans un montage (Guowei, LG-JG20MA). L'étude du comportement de chacun orientera le choix à destination du produit final.

- *Capteurs de position*

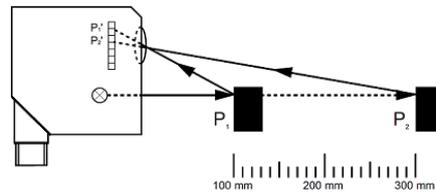
Une nouvelle fois il existe autant de capteurs de position qu'il existe d'applications. Il est donc nécessaire de discriminer les résultats selon leur pertinence dans notre projet.

**Les scanners laser** apportent des données de distance en 3D à la fois denses et précises même sur de grandes distances et sur un angle d'ouverture relativement important. Ils sont utilisés de plus en plus sur des robots mobiles et autonomes, ou pour la cartographie 3D de bâtiment par exemple. Posé à l'un des pieds de l'agrès, un scanner laser déterminerait avec exactitude le point

<sup>8</sup> Crédit images : Di-Soric Elektronik

d'impact de l'athlète sur la toile, mais ce système est volumineux et bien trop cher pour notre application.

**Les capteurs optiques de distance**, localisés sur un point, reposent sur le principe de triangulation : une onde lumineuse reviendra à l'émetteur avec un angle d'autant plus petit si l'objet d'étude est loin (voir Figure III.8).

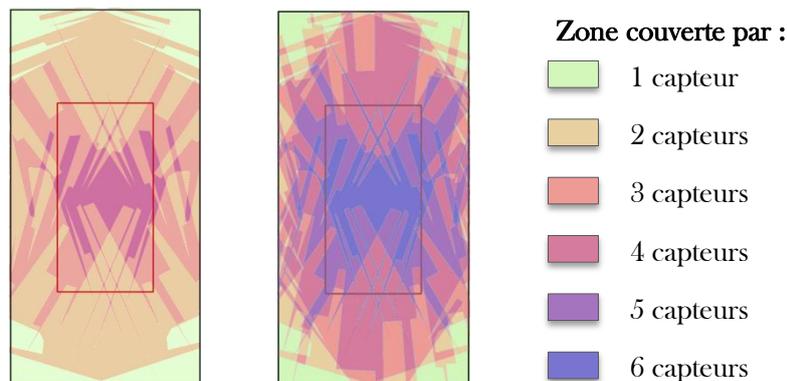


*Figure III.8 - Capteur de distance par triangulation du signal*

Ainsi, ce dispositif plus accessible et très précis peut être placé sous le cadre du trampoline pour étudier la distance d'impact de l'athlète sur la toile par rapport à l'un des côtés. L'inconvénient principal de ce type de produit est la focalisation de l'onde émise, il faut donc considérer un nombre important de capteurs pour *quadriller* la zone d'impact et obtenir une résolution satisfaisante.

**Les détecteurs ultrasons** apportent une solution à ce problème en possédant un angle d'ouverture pouvant être bien plus grand que  $90^\circ$ , pour une précision sous le centimètre. Le point d'exigence que nous devons respecter est la fiabilité de la mesure en une seule prise, car la vitesse de propagation d'une onde sonore ne permet pas de second essai pour l'évaluation de la position du sujet lors de son rebond (l'onde ne peut parcourir que 5m en 15ms, notre contrainte de temps). En plaçant au moins un capteur à chaque angle du cadre de l'agrès et en lançant la mesure au moment de la détection de l'athlète par les capteurs barrage, le dispositif ultrason répondra au cahier des charges fixé. Enfin son prix accessible oriente également notre choix vers cette technologie pour notre système.

Bien que les capteurs disponibles chez Murata (MA40S4R/S) et MaxBotix (LV-MaxSonar®-EZ3) semblent être également de bons choix, il sera décidé, à résolution équivalente, d'opter pour les capteurs HC-SR04 beaucoup plus répandus et moins chers. Leur portée sera ensuite modélisée en environnement 3D (à partir de leur cône d'émission renseigné dans la documentation) afin de vérifier leur compatibilité avec nos contraintes de mesure.



*Figure III.9 - Surface de l'agrès couverte par les capteurs de distance en considérant 4 capteurs (gauche) ou 6 (droite).*

Le résultat en différentes teintes de couleurs obtenu en Figure III.9 permet de visualiser les zones couvertes par les capteurs dans le cas où nous utilisons 4 ou 6 capteurs. Dans une surface bien définie, comme dans le cas présent, 2 capteurs peuvent suffire à déterminer la position d'impact (soit toutes les tentes du orange jusqu'au bleu sur la Figure III.9). On pourra ainsi choisir de se limiter à 4 capteurs dans un premier temps avant validation de cette répartition par le test.

## b) Systèmes de calculs, de contrôle et d'interfaçage

Les signaux des capteurs doivent être interprétés avant qu'une suite d'actions ne mène à l'obtention de l'affichage du temps de vol et de la position à l'utilisateur final.

Il faut donc considérer les contraintes matérielles du système pour cette étape :

- L'IHM<sup>9</sup> doit pouvoir répondre à chaque action de l'utilisateur sans être occupée à attendre les signaux, ou à calculer les temps/position. Elle doit donc fonctionner séparément du reste du système dans un premier temps. Par ailleurs, pour disposer de fonctionnalités étendues et garantir une bonne expérience utilisateur, l'IHM doit être préférablement implantée sur un **système d'exploitation** (par exemple de type Linux Embarqué, Android, etc).

- Les distances communiquées par les capteurs sont transmises dans un ordre imprévisible qui dépend de la proximité du gymnaste avec chaque capteur. Etant donné qu'une seule et unique mesure par capteur n'est effectuée à chaque rebond, impossible de déclencher une séquence prédéterminée de mesures successives comme nous aurions pu le faire avec des capteurs optiques. Il faut donc prendre en compte le parallélisme de la réception des signaux des 4 capteurs de distance. Pour effectuer cette tâche de réception des données des capteurs, et calcul de la position, il est donc possible d'envisager du **multi-thread** par exemple, ou, plus économique, opter pour une **conversion des données parallèles en série** grâce à un montage logique.

- Les données en série peuvent donc être lues et interprétées par un simple micro-contrôleur sans multi-thread, qui se charge d'effectuer le calcul de position et de temps de vol et de le transmettre au superviseur de l'IHM.

Le système comprend donc 3 parties :

- **Une partie logique** qui reçoit les données de chaque capteur et les *sérialise*.
- **Une partie contrôle**, permettant de collecter et calculer les informations de temps de vol et de position.
- **Une partie supervision**, permettant la communication avec l'utilisateur à travers l'interface graphique.

Cette répartition tient également compte d'un aspect financier toujours très présent : nous aurions pu approfondir le travail de modélisation effectué en partie III.2.A et utiliser le logiciel CoFluent

---

<sup>9</sup> Interface Homme Machine

pour aboutir à une implémentation sur matériel pouvant remplacer à la fois la partie logique et la partie contrôle, mais cette solution est finalement plus complexe et coûteuse que l'utilisation de composants logiques et d'un micro-contrôleur.

De même les cartes de développement de type FPGA disposent bien souvent de trop de surface et sont trop coûteuses pour notre modèle à implanter.

Après un temps considérable à lire les documentations, étudier les systèmes potentiels, les méthodes d'implémentation, de transmission, etc. il est décidé d'opter pour l'utilisation d'un micro-contrôleur de la gamme Arduino (Mega2560), d'une carte Micro-ordinateur BeagleBone Black, et de composants logiques, connecteurs et autres éléments de prototypage commandés par le site Farnell. La commande comprendra également une carte Micro-ordinateur A20-OLinuXino de chez Olimex, qui présente l'avantage d'être particulièrement performante (trop ?), pouvant être utilisée comme secours si la carte BeagleBone n'est pas suffisamment puissante.

### c) Structures potentielles pour une interface graphique complète et ergonomique

L'Interface Homme Machine est un point particulièrement délicat à aborder. En effet, nous sommes plus familiers à l'étude de systèmes électroniques qu'à l'implémentation logicielle d'une interface graphique sur un OS. Il faut cependant se plonger dans le sujet pour aboutir au résultat espéré.

Bien qu'il existe des solutions graphiques adaptées aux microcontrôleurs (Processing pour Arduino par exemple), il est plus judicieux d'opter pour une solution d'interface sur OS, permettant une meilleure architecture des données, des fonctionnalités étendues et souvent une portabilité entre plusieurs systèmes.

Sur ce marché très en vogue, où l'utilisateur final souhaite pouvoir contrôler lui-même chaque appareil ou outil électronique, différentes solutions se font concurrence, adaptées à différents clients :

- *Embedded Wizard* est l'exemple d'un outil d'interfaçage utilisateur développé par TARA Systems à destination des industriels souhaitant disposer d'un outil léger, performant, multi-plateformes et souple pour la création d'interfaces pour systèmes embarqués (type TV connectées, distributeurs électroniques, etc). Ce progiciel est vendu en licence complète à 5000€<sup>10</sup> disponible sur une seule et unique machine de type Windows 32bits. Cette solution évite au client un besoin de main d'œuvre qualifiée, puisque la prise en main est annoncée très simple : peu de code, peu de manipulations techniques, le logiciel affiche en permanence un aperçu du résultat final. Une technologie très complète en somme, mais absolument incompatible dans notre projet car beaucoup trop onéreuse. Il est cependant important de savoir que ce type d'outils existe et d'avoir une idée de sa valeur marchande.

- A l'opposé du précédent, *MiniGUI* est un logiciel libre de création d'interface utilisateur, entièrement gratuit et à destination des projets de particuliers ou petits entrepreneurs. Les fonctionnalités sont moins étendues, l'utilisation moins ergonomique, et la compatibilité limitée aux OS open-sources, et aux plateformes *hardware* principales. Dans ce style de logiciel, on

---

<sup>10</sup> [Grille des tarifs](#) fournie par TARA Systems

retrouve plusieurs solutions qu'il est parfois difficile de départager, tant les informations et liens vers la documentation, les librairies, les sources peuvent parfois manquer. Pour simple exemple, on peut facilement trouver les packages du logiciel  $\mu Gui$ , faite « maison » par un développeur méritant, qui livre sur la toile sa ToDo-List, l'avancement de son logiciel et de son travail, et répond aux questions des curieux. Cet exemple illustre la pluralité des solutions disponibles sur internet, où l'on trouve des réponses plus ou moins complètes, plus ou moins sérieuses ; il faut encore une fois beaucoup de temps pour trier ces recherches.

- Quelque part entre les deux propositions précédentes se trouvent les IDE<sup>11</sup> qui s'adressent à la fois aux professionnels, aux amateurs, aux étudiants, et s'adaptent parfaitement aux projets de chacun. Parmi eux se trouve  $Qt$ , véritable couteau-suisse informatique, dont les applications sont extrêmement diversifiées. Il s'adapte donc presque naturellement à une application de création d'interface graphique pour systèmes embarqués et propose même des conseils aux développeurs pour bien démarrer. Logiciel gratuit, complet, bien documenté, il répondra à nos attentes dans le cadre de notre projet.

### III.2.C Bilan des choix d'implémentation matérielle et logicielle

Reprenons rapidement les solutions retenues pour l'implémentation de notre système.

- La mesure du temps de vol sera effectuée à l'aide de **barrages photoélectriques**.
- La mesure de position de l'athlète sera effectuée par des 4 **capteurs de distance**.
- Le parallélisme des signaux en provenance des capteurs nécessitent une **partie logique sur circuit imprimé**.
- Les informations de temps et de distances sont ensuite communiquées au **micro-contrôleur Arduino Mega2560**, qui centralise les données et calcule les coordonnées de l'athlète, avant de transmettre les valeurs de temps de vol et de position absolue.
- La carte **BeagleBone Black**, forte de son système d'exploitation, tient un rôle de **superviseur** qui reçoit ces informations en continu et les met en forme pour l'utilisateur. Elle s'occupe également de toute l'interaction avec celui-ci.
- Matériellement, cette interaction s'effectue par le biais d'un **écran couleur tactile TFT CapeView70**, de 7 pouces de diagonale.

Une représentation vulgarisée du système est donnée en Figure III.10.

---

<sup>11</sup> Environnement de développement

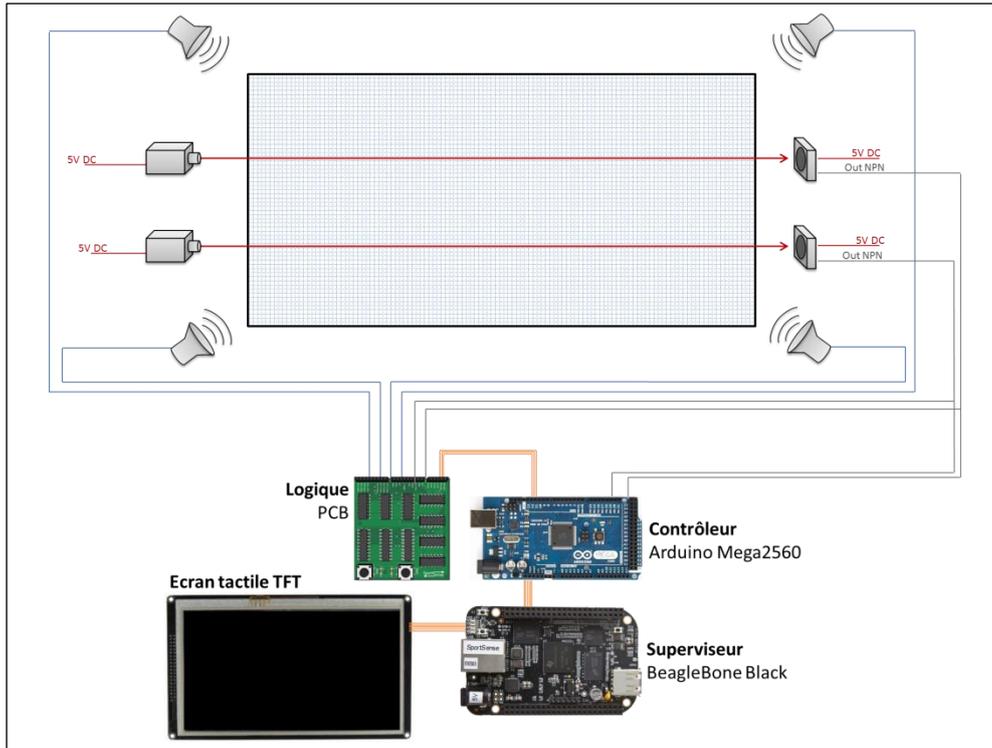


Figure III.10 - Représentation graphique du système global

La stratégie d'implémentation est donc définie. Nous allons donc maintenant pouvoir aborder les choix de conception, partie du stage davantage technique.

### III.3 Conception et tests progressifs

La conception peut se faire en parallèle sur les différentes entités précisées précédemment, en veillant à respecter les règles de communication d'un système à l'autre, et vérifiant le bon fonctionnement à chaque étape. Nous choisirons dans ce rapport une présentation « Bottom Up » en commençant par l'implémentation logique et finissant par l'Interface Homme Machine. Nous choisirons volontairement de ne pas rentrer dans de trop grandes précisions techniques, mais aborderons principalement les problématiques rencontrées et les choix effectués

#### III.3.A Partie logique, tests et conception du PCB

##### a) Stocker et sérialiser les informations de temps et de distance

- *Stockage des informations par des compteurs binaires*

Les capteurs de distance fonctionnent sur le principe suivant : un signal de  $10\mu\text{s}$  TTL en entrée agit comme signal de départ pour la prise de mesure. Le capteur émet donc une onde ultrason et attend son retour. Il convertit ensuite le temps de réponse en signal de sortie TTL de longueur proportionnelle ( $1\text{m} \leftrightarrow 5\,800\mu\text{s}$ ).

**Table III.2 - Rapport entre la distance mesurée par le capteur et la durée de son signal de sortie**

	Documentation		Nécessaire au projet	
	Référence	Résolution	Min	Max
Distance mesurée	100 cm	0,3 cm	30 cm	500 cm
Durée du signal de sortie	5 800 $\mu$ s	17 $\mu$ s	1 740 $\mu$ s	29 000 $\mu$ s

Ces signaux de sortie de longueur variable et dont l'ordre d'arrivée est imprévisible sont reçus en parallèle par notre système. Afin de sérialiser ces informations, qui seront traitées par le micro-contrôleur, ces durées vont être stockées par des compteurs fonctionnant uniquement sur la plage active du signal de sortie et conservant la valeur en mémoire jusqu'à la prochaine mesure (ou remise à zéro).

De même, les barrages photoélectriques, lorsqu'ils ne sont pas rompus, laissent tourner un compteur afin d'enregistrer la durée totale entre deux rebonds.

La cadence des compteurs dépend de la précision des mesures souhaitées, et de notre capacité à choisir un rythme d'horloge. Il faut donc comparer la cadence d'horloge disponible avec la cadence d'horloge nécessaire (Table III.3).

**Table III.3 - Comparaison entre l'horloge disponible et les résolutions nécessaires au projet**

Cadence disponible	Arduino Mega2560	Cadence minimale nécessaire	Capteurs de distance	Barrages Photoélectriques
Fréquence	16 MHz	Fréquence	$\approx$ 60kHz	1 kHz
Résolution possible	0,625 $\mu$ s	Résolution nécessaire	17 $\mu$ s	1 ms

On peut donc voir que l'horloge système disponible sur la carte Arduino est bien trop rapide, et entrainerait une résolution de données bien trop importante, et donc difficile à stocker par les compteurs. Il est possible de réduire cette vitesse à l'aide d'une cascade de LatchD permettant la division successive de la fréquence par 2. Cependant, le micro-contrôleur donne la possibilité de délivrer en sortie un signal d'horloge dont la fréquence peut être divisée par manipulation des registres système. La documentation m'aidera dans cette manipulation à obtenir une fréquence de 1 MHz de très bonne qualité.

Pourquoi avoir choisi une fréquence de 1 MHz sachant que cette résolution est encore trop fine pour notre application ? En raison de la capacité des compteurs utilisés. En effet, des compteurs 32 bits sont utilisés, qu'il est possible de diviser en 2 compteurs de 16 bits indépendants. Ceux-ci peuvent donc effectuer l'incrémement sans dépassement pour les durées limites de comptage (2,5s pour le temps de vol, 29 000 $\mu$ s pour la mesure de distance).

**Table III.4 - Capacité minimale des compteurs pour atteindre les valeurs maximales de temps de vol et de distance**

	TOF	Distance
Durée maximale de comptage en utilisation	2,5 x 10 <sup>6</sup> $\mu$ s	29 000 $\mu$ s
Nombre de bits nécessaires à 1 MHz	22 bits	15 bits

Il est donc possible de prévoir 3 compteurs SN74LV8154 de 32 bits, dont l'un sera utilisé entièrement par la mesure du temps de vol, et les deux autres subdivisés pour effectuer le comptage en parallèle des durées provenant des 4 capteurs (2 par compteur).

- *Sérialiser l'information*

Une fois les données stockées dans les compteurs, il faut les extraire avant le prochain cycle de comptage. Pour cela, la sérialisation par des registres à décalage s'impose. Ces composants reçoivent des données de 8 bits en parallèle, et, sur demande de l'opérateur, restituent bit par bit les données en décalant le mot d'un bit vers la droite à chaque fois.

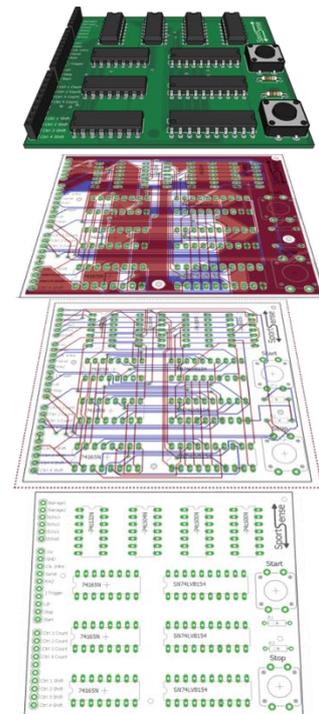
Ces registres à décalage peuvent être montés en cascade, c'est-à-dire que le premier transmet le mot au deuxième avant que celui-ci libère systématiquement le dernier bit et décale le tout d'un cran. Ainsi, il est possible de placer l'ensemble des 3 registres à décalage en cascade et n'obtenir en sortie qu'une seule ligne, capable de communiquer bit par bit l'ensemble des données stockées dans les compteurs, et qu'il conviendra finalement de connecter au micro-contrôleur. Celui-ci, pour que le stockage et la transmission soit correcte, devra contrôler les composants en leur donnant les ordres nécessaires à chaque opération (chargement, enregistrement, décalage, repos, etc.)

## b) Conception logique, et modélisation du PCB

Cette partie logique est synthétisée sous *Eagle 7.3.0*, logiciel libre de Cadsoft permettant l'édition de *layout*.

Bien que la majorité des composants de base soient d'ores et déjà disponibles dans les bibliothèques du logiciel, certains ne s'y trouvent pas (comme le compteur 32 bits utilisé), et ne sont pas non-plus disponibles sur internet. Cela n'est bien-sûr pas un problème, ils peuvent être modélisés grâce à l'outil de conception dédié, cela est très formateur et permet de bien prendre en main le logiciel. Des connecteurs femelles relieront les signaux d'entrée/sortie avec le micro-contrôleur, et 2 boutons poussoirs *Start* et *Stop* seront placés afin de recevoir le déclenchement de la prise de mesure (un juge qui a les yeux fixés sur l'athlète préférera la sensation d'un bouton cliqué pour le déclenchement, plutôt que l'utilisation de l'interface tactile sans retour haptique).

La synthèse logique du montage est disponible en Annexe C, et permet de générer la modélisation du montage sur PCB<sup>12</sup>. Cette étape doit permettre de placer les composants, le routage, les indications graphiques ou textuelles sur le circuit, en essayant toujours de réduire au maximum l'espace occupé. On obtient un circuit de 7,5 x 8,0cm composé de boîtiers DIL<sup>13</sup> de 14, 16 ou 20 pattes, dont les voies cuivrées sont réparties sur 2 couches (Annexe D).



**Figure III.11 - Etapes de modélisation du circuit imprimé**

<sup>12</sup> Printed Circuit Board, ou circuit imprimé

<sup>13</sup> Dual In Line Package : Boîtier contenant un circuit imprimé, disposant de broches à souder sur un PCB.

Enfin, il convient de générer les fichiers Gerber règlementaires permettant de pouvoir commander la plaque auprès d'un imprimeur spécialisé. Les devis reçus proposent la fabrication des plaques à nu pour 30€ l'unité (OSH Park, USA), 45€ l'unité (EuroCircuits, Belgique), ou encore 305€ l'unité (Synergie CAD, 06515 Carros France).

L'impression par OSH Park semble convenir selon nos spécifications, il est donc décidé d'opter pour cette solution. Cependant, les délais de fabrication dépendent du nombre de commandes clients, qui, pendant l'été ne sont pas forcément les plus nombreuses relativement aux autres périodes. Je n'ai pas encore reçu le produit, mais celui-ci devrait arriver prochainement.

Cette partie s'achève par la modélisation de la plaque et des composants en 3D grâce au logiciel *Sketch'up*. Celui-ci permet de mieux prendre conscience du volume du montage, et permettra dans un second temps de prévoir les dimensions et les exigences de fixation du système lors de la commande du boîtier de protection global.

### III.3.B Implémentation du micro-contrôleur et test de l'étape calculatoire

Le micro-contrôleur a plusieurs missions :

- Il déclenche la mesure de distance et de temps de vol
- Il délivre un horloge de 1MHz en permanence, permettant le fonctionnement des compteurs
- Il commande les compteurs et registres à décalage
- Il reçoit les données de distance et de temps en série et calcule les coordonnées du gymnaste

#### a) Code principal du micro-contrôleur

L'automate du micro-contrôleur Arduino fonctionne sur la base des langages C/C++, et dispose également de son propre catalogue de fonctions rendant plus aisé la manipulation de la carte et de ses entrées/sorties.

Nous allons étudier la stratégie de code utilisée pour les opérations de la carte vis-à-vis des capteurs, mais également du micro-ordinateur chargé de la supervision. Encore une fois, nous ne détaillerons ici que le fonctionnement du micro-contrôleur en mode « individuel », mais les étapes sont sensiblement identiques pour le mode « synchronisé ».

La boucle du programme se structure de la manière suivante :

Boucle principale `loop` :

- Lorsque l'athlète atterrit dans la toile :
  - La fonction `setTrigger` déclenche la prise de mesures auprès des capteurs de distance.
  - Le système attend 60ms pour être sûr de la fin des opérations d'enregistrement par les différents compteurs.
  - La fonction `getCountersData` permet le prélèvement des données des 3 compteurs 32 bits (`[Distance0|Distance1]`, `[Distance2|Distance3]`, `[Temps de vol]`) et leur placement dans une variable globale de type tableau de taille 5 d'entiers longs.

- Les données de distance sont ensuite converties en centimètres (voir Table III.2 - Rapport entre la distance mesurée par le capteur et la durée de son signal de sortie), et la donnée de temps de vol en secondes.
- La fonction `algorithme` met à jour les variables globales `x` et `y`, coordonnées du gymnaste.
- Les compteurs sont remis à zéro.
- La fonction `transmissionSerie` communique le temps de vol et les coordonnées au superviseur.
- Le reste du temps :
  - Si le bouton `start` est actionné :
    - La fonction `transmissionSerie` communique au superviseur l'action `start`.
  - Si le bouton `stop` est actionné :
    - La fonction `transmissionSerie` communique au superviseur l'action `stop`.

La fonction `setTrigger` :

- Envoie un signal TTL de 10µs aux 4 capteurs de distance de manière synchrone afin de déclencher la mesure

La fonction `getCountersData` :

- Charge l'octet de poids fort de chaque compteur de 32 bit
- Charge chaque registre à décalage et lit chaque octet supérieur
- Renouvelle l'opération pour chaque octet de poids de plus en plus faible
- Reconstitue scrupuleusement les valeurs de chaque compteur dans les variables globales associées

La fonction `transmissionSerie` :

- Transmet les données sur le port série en données ASCII, pour une plus grande flexibilité de l'information.

La fonction `algorithme` sera détaillée dans la partie suivante.

Le code complet du programme d'exécution du micro-contrôleur est disponible en Annexe E.

## b) Triangulation pour 4 capteurs

Les capteurs placés aux angles sous l'agrès doivent permettre de restituer la position de l'impact si ils sont déclenchés suffisamment tôt. En considérant une surface bien définie, la triangulation du signal n'est plus nécessairement « triangulaire », mais peut s'obtenir à partir de 2 informations de distance seulement. Si les 4 capteurs peuvent détecter l'impact, alors on choisira de regrouper par paire les capteurs proches et d'effectuer à partir de ces 2 paires une moyenne des coordonnées pour obtenir un résultat final cohérent. Le schéma de situation est présenté en Figure III.12.

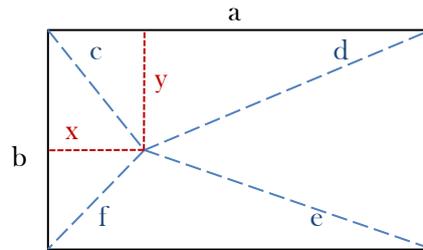


Figure III.12 - Schéma décrivant la zone d'étude et le système de coordonnées utilisé.

Soient  $\begin{cases} a = 5,05 \text{ m} \\ b = 2,91 \text{ m} \end{cases}$  les dimensions du cadre de l'agrès par défaut, et  $c$ ,  $d$ ,  $e$  et  $f$  les distances obtenues grâce aux capteurs. On obtient alors le système suivant :

$$\begin{cases} c^2 = x^2 + y^2 \\ d^2 = (a - x)^2 + y^2 \\ e^2 = (a - x)^2 + (b - y)^2 \\ f^2 = x^2 + (b - y)^2 \end{cases}$$

On sort 2 systèmes équivalents en ne considérant que les solutions positives :

$$\begin{cases} x_1 = \sqrt{c^2 - y_1^2} \\ (b - y_1)^2 = (c^2 - y_1^2) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} y_1 = \frac{b^2 + c^2 - f^2}{2b} \\ x_1 = \sqrt{c^2 - y_1^2} \end{cases}$$

$$\begin{cases} a - x_2 = \sqrt{d^2 - y_2^2} \\ (b - y_2)^2 = (d^2 - y_2^2) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} y_2 = \frac{b^2 + d^2 - e^2}{2b} \\ x_2 = a - \sqrt{d^2 - y_2^2} \end{cases}$$

Cela revient à séparer les solutions trouvées en ne considérant que les 2 capteurs de gauche, puis en ne considérant que les 2 capteurs de droite.

Enfin, on moyenne les résultats obtenus afin de retourner une estimation de la position  $(x, y)$  :

$$\begin{cases} x = \frac{x_1 + x_2}{2} \\ y = \frac{y_1 + y_2}{2} \end{cases}$$

La fonction algorithme du programme de l'automate est donc construite sur ce principe :

```
#include <math.h>
const float a=505.0;
const float b=291.0;

/* Met à jour les coordonnées x et y de position de l'athlète à
 * partir des distances données par les capteurs.
 */
void algorithme(){
    int x_1, y_1, x_2, y_2;

    /* Rappel sur les variables globales :
```

```

* a=505.0 et b=291.0 sont les dimensions du cadre
* long distance[4] est une variable globale contenant les
* données de distance des 4 capteurs
* float coordonnees[2] est une variable globale contenant les
* coordonnées de position x et y.
*/

int c=distance[0];
int d=distance[1];
int e=distance[2];
int f=distance[3];

y_1=(square(b)+square(c)-square(f))/(2*b);
x_1=sqrt(square(c)-square(y_1));

y_2=(square(b)+square(d)-square(e))/(2*b);
x_2=a-sqrt(square(d)-square(y_2));

/* Valeur de x */
coordonnees[0]=0.5*(x_1+x_2);
/* Valeur de y */
coordonnees[1]=0.5*(y_1+y_2);
}

```

### c) Test préliminaire de l'implémentation

Afin de tester le dispositif logique composé de compteurs et de registres à décalage, il a été choisi de comparer les valeurs obtenues par mesure logicielle, et les valeurs obtenues logiquement par le montage effectué sur plaquette sans soudure.

Les données calculées avec le logiciel présentent l'inconvénient de monopoliser le processeur entre l'envoi de l'onde, sa réception et sa conversion, alors que le dispositif logique peut effectuer ces actions en parallèle pour plusieurs capteurs.

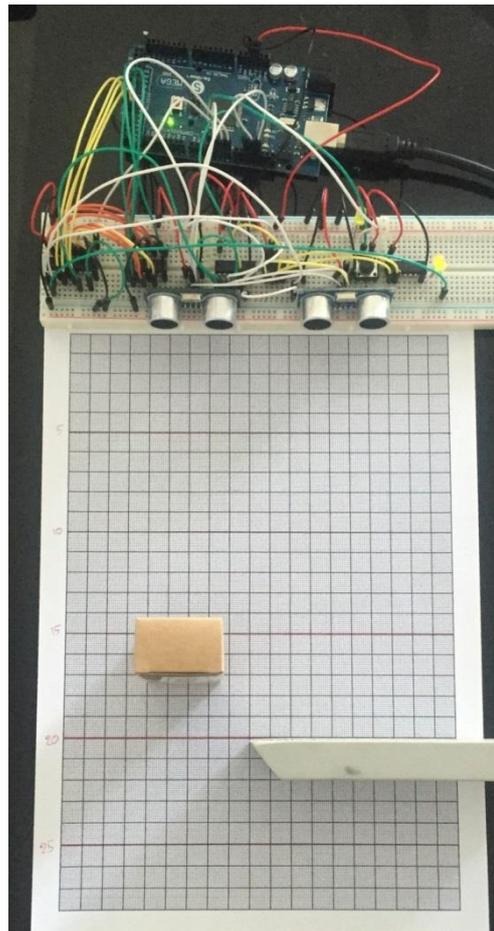
Ici on considère un temps infini où les distances des objets à détecter ne varient pas avec le temps. Deux capteurs de distance seront utilisés, face auxquels deux objets inertes seront placés respectivement à 20cm et 15cm.

Une séquence de mesure logique est lancée, puis une séquence logicielle pour le capteur 1, puis pour le capteur 2. On obtient les résultats suivants (en cm):

```

[Logique] Compteur 1 : 19.8 // Compteur 2 : 15.5
[Software] Compteur 1 : 20.1 // Compteur 2 : 15.8

```



L'opération est renouvelée pour des distances plus grandes : 2,5m et 3,3m. On obtient les résultats suivants (en cm) :

```
[Logique] Compteur 1 : 252.0 // Compteur 2 : 330.6  
[Software] Compteur 1 : 247.2 // Compteur 2 : 332.5
```

L'erreur est inférieure à 1% ce qui confirme le fonctionnement de l'implémentation matérielle et permettent de valider le modèle de stockage et d'acquisition des données par compteurs et registres à décalage.

#### d) Test de triangulation sur l'agrès

Afin de tester l'ensemble du dispositif « temps de vol, distance, calcul de position, transmission des données au superviseur », il sera nécessaire d'installer le matériel sur un agrès conventionnel et analyser le fonctionnement en conditions d'utilisation normale.

Cette étape nécessite le circuit sur PCB et un câblage adapté. Cette phase de tests est programmée pour la fin du mois de septembre et jusque mi-octobre.

### III.3.C Interface Homme Machine (IHM), ou comment séduire l'utilisateur final

Pourquoi avoir choisi une interface graphique sur écran couleur tactile ? Les informations numériques pourraient bien être affichées sur un écran LCD monochrome, et la navigation rendue possible par divers boutons poussoirs. Cela rendrait beaucoup plus simple l'implémentation car l'OS ne serait plus nécessaire, et donc la carte BeagleBone non-plus. Ce choix assumé est motivé par une volonté de créer un produit ergonomique qui plaira au client, qu'il manipulera avec aisance sans même avoir besoin de lire le manuel utilisateur. Plus l'outil est « visuel », et plus l'utilisateur le prend en main rapidement, et ainsi sera davantage satisfait à l'utilisation. C'est donc dans un but de séduction du client que la décision a été prise de prendre le temps de concevoir une réelle interface graphique ergonomique. Cet argument marketing est souvent repris dans de nombreux domaines : la première chose que le client voit, la peinture et la forme de la voiture par exemple, est souvent l'élément qui motivera le plus l'acheteur. Il faut donc miser sur cette « première impression ».

Pour la synthèse de l'IHM, Qt a été choisi pour sa souplesse, sa documentation et ses riches fonctionnalités. Le logiciel étant particulièrement complet, un temps de formation est nécessaire avant de saisir les potentialités, les structures possibles, les langages compatibles, etc. Il faut notamment comprendre les mécanismes mis en jeu dans la compatibilité et portabilité de l'interface sur matériel externe, le stockage mémoire, la communication avec le micro-contrôleur, les possibilités de personnalisation graphique et d'ergonomie tactile, et la structure de code à adopter.

#### a) Portabilité

La priorité avant de commencer toute création graphique qui pourrait ne pas aboutir, est de vérifier la portabilité de l'interface sur BeagleBone Black.

Le micro-ordinateur est équipé d'un processeur Texas Instrument Sitara AM3358 de technologie ARM (architecture ARMv7-A, famille Cortex-A8) qui permet<sup>14</sup> le contrôle d'écran LCD, le contrôle du tactile, et l'accélération graphique si besoin. Il peut accueillir au choix différents systèmes d'exploitation plus ou moins stables. Les principaux, Debian, Angström et Android doivent pouvoir recevoir et exécuter une application Qt si celle-ci est compilée correctement.

Cette étape, plutôt longue, présente de nombreux obstacles. En effet, alors que la documentation Qt est riche quant aux fonctionnalités du logiciel, elle l'est beaucoup moins à propos de cross-compilation sur matériel externe. De même, la documentation BeagleBone développe davantage les sujets portant sur ses bibliothèques propres (BoneScript) que sur l'implémentation d'interfaces personnalisées. Enfin, la communauté BeagleBone, à la fois vaste et active, s'éparpille malheureusement sur les trop nombreuses versions et OS du produit.

En somme, difficile de rassembler les informations pertinentes au projet. Qu'à cela ne tienne, il suffira d'y consacrer le temps nécessaire pour trouver les chaînes de cross-compilations pour Debian, en prenant également appui sur l'ouvrage de Derek Molloy, ingénieur-chercheur à l'Université de Dublin, traitant de l'utilisation avancée de la carte BeagleBone Black sous Angström (qu'il conviendra d'adapter à notre OS). C'est donc avec la certitude de pouvoir porter l'application Qt sur le micro-ordinateur que nous allons pouvoir démarrer la création graphique.

#### b) Réaliser l'interface

En navigant dans les différents modules<sup>15</sup> de Qt, il sera choisi d'utiliser Qt Quick, un framework déclaratif permettant de construire des applications dynamiques avec une interaction utilisateur riche et personnalisable.

Celui-ci repose sur un langage déclaratif, le QML, basé sur le Javascript, permettant de décrire précisément la structure et la mise en forme d'une interface utilisateur. Je reprends donc la voie de la formation en étudiant le *QmlBook*, livre entièrement en ligne, de formation à la programmation en QML, qui permet par étapes successives, de se familiariser avec le framework, d'élaborer quelques interfaces simples, et de donner l'ensemble des outils nécessaires pour la conception de nos propres créations.

Le « projet Interface » est donc démarré sur Qt Creator, et une première branche de l'application est élaborée, en réservant certaines fonctionnalités spécifiques à la carte BeagleBone pour la fin, lors des tests de cross-compilation. Un aperçu peut être trouvé en Annexe F. Cette phase de création est avancée en coopération avec le Pôle France de Trampoline, qui peut y préciser ses besoins fonctionnels, et de manière générale y apporter son regard extérieur beaucoup plus axé sur l'aspect ergonomique. C'est donc une étape absolument passionnante, où la création rencontre le besoin, et apporte une solution technique concrète que le client peut toucher du doigt, littéralement, avant commercialisation.

#### c) Problème de compatibilité : à manipuler avec précaution !

La mise en place de solutions *software* n'est pas pour autant un long fleuve tranquille. En effet, on se confronte bien souvent à des problèmes d'installation de paquets, d'absence de source, de

---

<sup>14</sup> Données recueillies sur [le site de Texas Instrument](#).

<sup>15</sup> [Documentation en ligne](#) de Qt

mauvaise compatibilité... J'ai pu justement me rendre compte de ces difficultés lors de l'étape d'installation de l'écran TFT tactile CapeView70 sur la carte BeagleBone Black.

Le micro-ordinateur est livré avec le système d'exploitation Debian 7 « Wheezy » préinstallé. Cette configuration a été conservée puisqu'elle est décrite comme n'ayant aucun problème de stabilité, d'autant que la réinstallation occupe le système pendant près d'une heure et supprime évidemment toutes les données et configurations précédemment installées.

Cependant, Debian 7 « n'a pas connu le support espéré pour les chaînes de compilation en raison notamment d'un manque de main d'œuvre et en supposant par ailleurs que les chaînes de compilation croisées *multiarch*<sup>16</sup> seraient prêtes bien plus tôt » précise l'un des proches de l'organisation Debian. *Emdebian.org* a d'ailleurs connu une interruption temporaire avant de faire son retour en proposant de nouvelles chaînes *multiarch* compatibles avec Debian 8 « Jessie », nouvelle mouture de l'OS.

Pour une bonne stabilité des chaînes de compilation croisées, il est donc vivement conseillé par *Emdebian.org* de migrer vers Debian Jessie où le support est complet et les chaînes beaucoup plus nombreuses et compatibles *multiarch*.

Cependant, l'écran LCD TFT connecté à la carte BeagleBone Black ne possède pas dans sa documentation de précision quant à la compatibilité des drivers (dont l'installation est par ailleurs relativement chronophage) avec les différentes versions des systèmes d'exploitation utilisables sur carte BeagleBone Black. Ce fut donc une surprise de constater que lors de la migration sur Debian 8, et après installation des drivers, l'écran n'était pas reconnu. Toute tentative d'adaptation des drivers à cette nouvelle version de l'OS Debian a conduit à des erreurs, nécessitant parfois la réinstallation complète de celui-ci pour opérer d'autres tentatives. La carte BeagleBone a finalement rendu l'âme dans cette épreuve, supposément en raison d'une modification involontaire du programme de démarrage. La carte est correctement sous tension, mais le programme de démarrage n'opère plus.

Cette expérience est donc une leçon de prudence dans les suites d'actions à « tester » lors d'une opération de debug.

Afin de ne pas réitérer cette erreur et poursuivre malgré tout le projet, il est donc décidé de recommander la carte et veiller à rester sur une version de l'OS Debian compatible avec l'écran LCD TFT (à savoir la version 7.3), car cela est une priorité pour le produit.

---

<sup>16</sup> Multi-architecture

## Chapitre IV : Premier bilan de projet

Associer la passion du sport à celle de l'électronique dans un projet entrepreneurial encouragé et soutenu, c'est indéniablement une vraie chance qui m'est donnée, ainsi qu'à tous les Etudiants Entrepreneurs, de pouvoir exprimer ma propre idée du monde de demain. Innover est partout le maître-mot, mais l'Ecole, l'Université, la pépinière d'entreprise, les intervenants partenaires aident à transformer ces mots en action en donnant des outils pour réussir.

Nous reprendrons ici différents points de synthèse du stage, notamment sur les éléments formateurs (notions abordées, gestion du projet, difficultés) et les perspectives d'une telle expérience. Rappelons que ce stage n'est qu'une partie d'un projet à plus long terme, qui a pour vocation de mener à la création d'une entreprise et d'emplois. Loin d'être un générique de fin, cette partie s'apparente donc plutôt à un bilan d'étape.

### IV.1 Rétrospective sur le travail effectué et les notions abordées

Cette étape du projet permet d'ores et déjà de faire le point entre ce qui était initialement prévu, et ce qu'il en est réellement ressorti.

#### IV.1.A Maturité et notions apportées par une telle expérience

*Quel est ton marché, quels sont les besoins, qui sont les clients ?* L'hébergement en pépinière d'entreprise permet de se confronter à des entrepreneurs, qui, sans tabou, orientent leurs questions sur ce qu'ils considèrent être les priorités. Cette approche un peu incisive aux premiers abords, m'a permis de reconsidérer ce que je croyais important ou futile, et comprendre que le produit final n'est que le dernier point d'intérêt. En effet, avant de plancher sur des solutions, encore faut-il bien connaître le problème et évaluer son impact sur la population. J'ai pu comprendre que le besoin était le cœur d'une entreprise et qu'une innovation peut être créative, mais si elle ne répond pas à un manque suffisamment exprimé, elle n'a pas de valeur.

Ce saut dans le grand bain est également l'occasion de confronter ses idées, s'interroger, se documenter, communiquer, et même redécouvrir son propre environnement d'un nouvel œil ! Les notions de besoin, de clientèle, de segmentation du marché ou encore de cycle de vente sont des sujets qui ont été au cours de cette période approfondis, et dont il me reste encore sûrement beaucoup à apprendre.

La nécessité de conception du prototype est davantage une opportunité qu'une contrainte, car cela m'a permis d'approfondir mon domaine d'étude en travaillant sur un modèle théorique et sa réalisation concrète sous forte contrainte budgétaire. J'ai pu apprendre à établir un bilan de contraintes, étude préliminaire à laquelle on se rapporte en permanence. Puis la modélisation d'un système par approche successive m'a permis de mettre en perspective les points d'importance d'une chaîne d'acquisition et de restitution des données.

J'ai pu explorer les possibles en étudiant les différents capteurs, composants, cartes et autres matériels électroniques existant sur le marché. J'ai appris à lire efficacement une documentation, à préparer mes recherches en fonction de contraintes spécifiques, et trouver des méthodes d'adaptation pour chaque élément d'une chaîne.

J'ai été également sensible à cette entrée dans le monde de l'électronique professionnelle où l'on découvre une notion de coût des pièces et des prestations. La commande de capteurs, de cartes personnalisées, d'écran, l'impression de cartes PCB... tout est chiffré dans les devis qu'il convient de lire avec précision.

L'implémentation matérielle et logicielle sont des phases particulièrement formatrices de ce travail de prototypage, où toute adaptation nécessite du temps, de l'anticipation, et bien souvent de longues heures de debug. Une chaîne d'acquisition/restitution est un système relativement riche où le travail de compatibilité est considérable et où il est parfois nécessaire de faire un pas en arrière afin de pouvoir en faire deux dans une autre direction.

La gestion d'un projet entièrement plongé dans le monde du travail, et qui plus est dans le monde de l'entrepreneuriat, apporte des valeurs de responsabilité, de gestion, d'analyse, de travail, de patience, d'autonomie et de remise en cause régulière. Cette expérience permet de gagner en maturité, en pragmatisme, par la rencontre successive de difficultés et de solutions. Elle permet de préparer à un monde où les 35 heures n'existent pas, et où le travail est le seul réel allié. L'appât du gain n'est pas ici un moteur, on y conçoit plus volontiers l'appât de croissance, mais la plus grande force de tous reste la volonté de changer les choses.

En somme, de nombreux domaines sont explorés lors d'une telle expérience. Un entrepreneur doit savoir tout faire. Sans pour autant avoir l'expertise de chaque champs d'étude, il faut cependant savoir être polyvalent, être à l'écoute et s'adapter rapidement.

#### IV.1.B Analyse parallèle entre le travail attendu et le travail réalisé

A l'évidence il est difficile de définir avec précision un calendrier provisoire lorsqu'on a encore peu l'expérience des tâches qui le composent. Voici donc quelques différences par rapport aux étapes programmées en partie II.3.B

**Cibler le besoin** - A posteriori il apparaît raisonnable de consacrer un temps d'analyse des besoins relativement long. Certaines entreprises y consacrent plusieurs mois, selon le degré de précision des études réalisées, et ce afin de minimiser le risque quant aux fonds engagés. Dans notre étude, ce travail initialement prévu pour une semaine et en fait toujours en cours. Le besoin dans le milieu du trampoline existe, certes, mais peut être rapidement limité. Il convient donc de se positionner sur un marché plus large avec un produit polyvalent ou modulable afin de répondre aux besoins du plus grand nombre. Les recherches continuent donc dans des perspectives à plus long terme.

**Recherche des technologies existantes** - La phase d'*exploration des possibles* a été plus longue que prévue (2 semaines au lieu de 1,5), et venant d'un étudiant, cela ne doit pas être une grande surprise. En effet, nous ne prenons de vrais repères qu'une fois au contact du monde professionnel. C'est ensuite avec l'expérience qu'il est possible de compresser cette étape de recherche à son minimum. Je peux donc me réjouir d'avoir pu engranger un peu de cette maturité, tout en ayant conscience que le travail est encore long avant de pouvoir réellement être « efficace » dans cette opération.

**Phase de conception : compatibilité et debug** - Il est une nouvelle fois difficile d'évaluer le temps nécessaire à la résolution des problèmes d'implémentation matérielle et logicielle. Compatibilité, types de données, versions d'OS, drivers... La documentation accompagne ce processus de recherche de solution, mais il semble bien souvent que la technologie évolue plus rapidement que son support. Ainsi le temps de résolution vient allonger le temps global de conception, dont la fin n'était de toute façon pas prévue avant la date de rendu de ce rapport.

#### IV.1.C Synthèse des principales difficultés et des choix opérés

Bien que certains points aient été abordés précédemment, voici une synthèse complète des éléments problématiques lors de ce stage, et les choix engagés pour les résoudre.

**Créer une entreprise, pas sans Business Plan !** - Porter une idée et anticiper sa mise en œuvre globale n'est pas suffisante pour créer son entreprise, il faut s'appuyer sur des données techniques chiffrées : environnement, marché, besoin, prévisions financières à 3 ou 5 ans, etc. Il faut anticiper et apporter un niveau de détail que l'on ne soupçonne pas avant d'y être réellement confronté. Comme cela est expliqué en partie II.2.D , la conception d'un prototype libère cette tension des chiffres en permettant d'évaluer concrètement les coûts de production du produit final, et rassurer par ailleurs les clients et les investisseurs.

**Etude du besoin** - Cela a déjà été mentionné précédemment, mais ce point est capital : il ne doit pas être envisagé de vendre un produit sans être sûr qu'il réponde à de réels besoins. Une étude approfondie a donc été engagée (voir partie II.2.C ), mais elle reste à poursuivre.

**Frais réels d'une création d'entreprise** - Une rencontre avec un expert-comptable a été l'occasion de prendre conscience du coût d'une création d'entreprise et de la nécessité de l'opérer au bon moment. Pour simple exemple, la création d'une SAS comprend les frais d'expert-comptable (800€), la parution sur journal officiel (200€), l'immatriculation à la Chambre de Commerce et d'Industrie (200€), et l'immatriculation au Registre du commerce et des sociétés (50€). Soit un total estimé globalement à 1 250 € sans compter les prestations de conseils supplémentaires ou encore le dépôt d'une marque, ainsi que les frais annuels de fonctionnement. Cette somme est donc à n'engager qu'au dernier moment. Dans notre cas, l'hébergement en couveuse ou incubateur permettrait d'utiliser leur numéro de Siret pour les premières commandes avant la création officielle de l'entreprise lorsque les chiffres sont concluants.

**Superviseur/Contrôleur, sous quelle forme ?** - Passer d'un modèle théorique à une implémentation concrète nécessite de nombreuses heures de recherches et de choix. Nous connaissons donc bien en 4<sup>e</sup> Année le modèle Supervision/Contrôle, mais nous ne connaissons pas encore tous les moyens de les mettre en œuvre et surtout leurs coûts. Cette étape oblige à considérer de nombreuses possibilités et les comparer les unes aux autres avant de trancher. Ainsi, dans la partie III.2.B nous optons pour des solutions d'implémentation qui sont accessibles et fonctionnelles, car ce sont là les priorités dans notre projet.

**Cross-compilation d'une interface graphique** - L'implémentation d'interface graphique est plutôt un travail fastidieux. Mélange de création, d'ergonomie et de résolution de problèmes logiciels, il est difficile de tout apprendre à partir de très peu, ce n'est en effet pas le cœur du métier

d'ingénieur en électronique. Cependant, il semble que nous nous dirigeons vers un futur fait d'Interfaces Hommes Machines, où l'utilisateur souhaite tout contrôler du doigt (écrans sur les machines à laver, les réfrigérateurs, etc.), il est donc intéressant de se plonger dans cet univers et d'en connaître les spécificités.

**Démarrage rapide de l'application** - L'une des exigences fonctionnelle du système est d'obtenir le démarrage de l'interface graphique en moins de 10 secondes, lorsque l'OS seul peut parfois mettre jusqu'à 2 minutes pour afficher le bureau. Une solution doit donc être trouvée, et j'ai pour cela un ouvrage sur le *Yocto Project* qui promet de pouvoir concevoir sa propre version du noyau Linux en choisissant sa propre « recette ». Le temps ne m'a pas permis d'aborder encore ce sujet, mais cela devrait être fait prochainement.

Ce stage, et à fortiori ce projet, nécessite de nombreux choix, et un temps considérable à lire de la documentation, car nous ne cessons jamais d'apprendre. Un chemin sinueux mais passionnant !

## IV.2 Perspectives du projet et de l'entreprise

### IV.2.A Travail restant

Voici sous forme de liste les tâches programmées (ToDo List) pour les semaines à venir concernant le prototype :

1. Intégration de l'interface sur BeagleBone avec ajout des fonctionnalités spécifiques aux entrées/sorties
2. Réduction du temps de démarrage de l'OS et lancement automatique de l'interface
3. Sécurisation de l'interface
4. Tests en environnement d'utilisation : mesures de distances et de temps de vol, calcul de position et transmission des informations par le micro-contrôleur
5. Connexion Superviseur-Contrôleur et tests en environnement d'utilisation
6. Réduction et synthèse matérielle sur SOC, et estimations des coûts standards de production

### IV.2.B Projection de viabilité du produit

La commercialisation du produit pourra être considérée viable si la marge est suffisante pour contenir les charges et libérer des bénéfices. Ainsi, à l'issue du prototypage, il sera nécessaire de réévaluer le prix de vente en fonction des coûts de production et des charges, et vérifier que ce prix de vente reste cohérent avec l'étude de marché : *combien de clients sont prêts à acheter et pour quelle tranche de prix ?* Un juste point d'équilibre devra donc être trouvé avant commercialisation.

### IV.2.C Orientation de l'entreprise

Puisque l'on attend de chaque organisation, de la tête de l'Etat jusqu'à l'entreprise unipersonnelle, d'être en mesure de décrire précisément son cap, il est donc normal de s'efforcer de clarifier les grandes lignes de cet entrepreneuriat étudiant pour les années à venir.

**a) Perspectives à 1-2 ans :*****Effectifs :***

- 2 profils R&D et assemblage
- 1 profil Vente & Service Client
- 1 profil Gestion Communication

***Structure d'hébergement :***

Local en location (partage de locaux parisiens dans le cadre d'un accord avec la FFGym), ou hébergement en pépinière d'entreprise.

***Activité :***

Diversification de la production vers des outils modulaires s'adaptant à la préparation sportive. (support vidéo multi-surfaces, service d'analyse des données, outils statistiques polyvalents, système de programmation des séquences d'entraînement vis-à-vis des échéances)

**b) Perspectives à plus long terme (3-5 ans) :*****Activité :***

Sous-traitance de l'activité R&D, production et assemblage, et renforcement de la position de proximité de l'entreprise sur le marché de l'équipement sportif : embauche sur le secteur Contact Clientèle (prévenir les besoins, renforcer l'implantation, répondre aux attentes), et sur le Cycle de Vente (retour sur utilisation, fidélisation, renforcement de l'offre de services complémentaires, élargissement du marché-cible). Reconversion des profils R&D dans l'entreprise : ils opèreront le suivi du bon développement du produit, et la bonne communication entre le sous-traitant et l'entreprise

***Effectifs :***

- 2 profils Suivi du développement
- 1 profil Vente & Service Client
- 1 profil Gestion Communication
- 1 profil Contact clientèle
- 1 profil Cycle de vente

## Conclusion

Dans un climat favorable à l'entrepreneuriat, on découvre de nombreux outils, dispositifs, concours, espaces de partage, soutiens en faveur de cet élan de création, prêts à convaincre les nouvelles générations à s'engager à *changer le monde*. Ce souffle positif n'est pas un simple espoir, c'est l'atmosphère quotidienne au sein de la pépinière d'entreprise du CEEI de Nice. Chacun à sa façon met le doigt sur un besoin et travaille à y apporter une solution.

C'est au sein de cette synergie que j'ai pu installer mon bureau pour y développer mon projet. Changer la façon dont s'entraînent les sportifs, améliorer leur quotidien en y apportant la technologie et l'analyse de données qui viendra les soulager, eux et leurs entraîneurs. Ce besoin exprimé trop souvent pour être ignoré n'atteint pas encore le monde de l'innovation technologique attaché à répondre à une demande d'objets tout-public. J'ai donc étudié le marché, ses problèmes, et confronté mes idées aux personnes exprimant leurs besoins. Car c'est bien cela le pilier d'une entreprise : le client, son besoin, ses envies. En étudiant plus particulièrement les retours sur investissement attendus, l'utilisation souhaitée, les fonctionnalités indispensables, il a été possible de définir avec plus de précision l'activité de l'entreprise à envisager. Mais avant cela, les formalités ne nous quittant jamais vraiment, il faut établir un bilan des objectifs, chiffrer avec précision le budget prévisionnel sur les années à venir, et ce, à partir de données dont les certitudes ne sont pas suffisamment grandes pour que le business plan soit infaillible. La solution à ce problème a donc été de considérer la conception d'un prototype permettant d'évaluer les coûts de production du produit final et ainsi démontrer la viabilité aux clients et surtout aux investisseurs.

Cette étape de prototypage m'a permis de mettre en pratique mes connaissances acquises au cours de mon cursus scolaire d'élève ingénieur, mais il m'a été nécessaire d'aller beaucoup plus loin, en me confrontant aux différentes problématiques rencontrées. En effet, après avoir structuré le bilan des contraintes, et approfondi la modélisation théorique, il m'a fallu acquérir de nouvelles notions inhérentes au travail en milieu professionnel sous fortes contraintes budgétaires. Les choix d'implémentation matérielle et logicielle ont notamment été guidés par l'aspect fonctionnel et accessible, et leur articulation sujette à un travail d'analyse et de compatibilité. J'ai pu aborder et renforcer mes compétences sur des points spécifiques aux systèmes embarqués comme la programmation de registres système ou la cross-compilation sur carte de développement. Le temps consacré à l'étude de portabilité, au debug et à la recherche de solutions de coordination m'a été bénéfique et m'a permis de gagner en automatismes. Le travail d'interface graphique a été particulièrement formateur et intéressant, non seulement dans sa réalisation en langage descriptif QML, mais également dans son adaptation sur système distant.

Ce stage n'est donc qu'une étape d'un projet qui se profile à plus long terme, mêlant à la fois stratégie commerciale, solution technique, et gestion d'entreprise. Les valeurs apportées sont fortes dans ce type d'expérience où l'on peut apprendre notamment la valeur du travail et comprendre que le meilleur moteur n'est pas l'appât du gain mais la volonté de changer les choses, d'apporter satisfaction aux clients en répondant à leurs besoins. C'est une leçon qui n'est jamais vraiment finie, nous avons tous tellement à apprendre. C'est également cette expérience qui me pousse aujourd'hui à considérer une formation complémentaire en management à la suite de ma formation d'ingénieur, afin de pouvoir répondre encore davantage à l'exigence d'un entrepreneur d'être absolument polyvalent.

## Bibliographie

Bézanger, C. (2015). *Manipulation des registres système - les Timers*.

FIG. (2014). *Norme des engins - Fédération Internationale de Gymnastique*.

Lahaye, A. (2012). *Les interfaces graphiques dans l'embarque*. Open Wide.

Léger, C. (2013). *La création d'entreprise par les jeunes : Mythe ou réalité ?* Insee Méthodes.

Molloy, D. (2015). *Exploring Beaglebone : Tools and Techniques for building with Embedded Linux*. Wiley.

Ries, E. (2015). *Lean Startup : Adoptez l'innovation continue*. Pearson.

Ryannel, J. (2015). *QmlBook - The online book about Qt5 and QML*.

Salvador, O. (2014). *Embedded Linux Development with Yocto Project*. Packt Publishing.

## Annexes

A.	Rapports d'entretien avec Laurent Masson, incubateur PACA Est.....	54
B.	Etude des contraintes de temps en fonction de l'enfoncement du gymnaste.....	62
C.	Schéma du circuit logique via <i>Eagle 7.3.0</i> (Cadsoft).....	63
D.	Eléments de synthèse du PCB.....	64
	D.1. Schéma de routage sur PCB avec l'outil <i>Eagle 7.3.0</i> (Cadsoft)	
	D.2. Modélisation du PCB sous <i>Sketch'Up</i>	
E.	Programme d'exécution du micro-contrôleur.....	65
	E.1. Code du fichier <i>controle.ino</i>	
	E.2. Code du fichier <i>controle.h</i>	
F.	Modélisation de l'interface graphique avec <i>Qt</i> .....	71

## Annexe A. Rapports d'entretien avec Laurent Masson, incubateur PACA Est

### Rapport d'entretien n°1

*Laurent Masson - Incubateur Paca Est, le Lundi 22 juin 14h*

#### 1. « Etat des lieux »

Après avoir reformulé le projet donnant lieu à la création d'entreprise, j'ai exposé le plan de projet provisoire pour ces 9 semaines de « stage étudiant entrepreneur ». Deux parties distinctes en émergent : la première est une partie technique, ayant pour but la conception d'une machine électronique fonctionnelle. La seconde partie concerne la gestion de l'entreprise, notamment les étapes de positionnement, de stratégie de vente, de création du business plan etc.

La création technique intervient pour sa plus grande part en début de stage pour plusieurs raisons. Tout d'abord, j'ai pu observer en contactant différents organismes du sports pouvant être potentiellement intéressés à soutenir l'entreprise, que celles-ci demandent systématiquement des précisions chiffrées, typiquement celles contenues dans un business plan. L'entretien avec l'expert-comptable a également confirmé ce protocole qui consiste à proposer aux investisseur un dossier solide et construit avant de pouvoir espérer tout soutien, financier ou non. Or pour l'élaboration du business plan et spécifiquement pour sa partie de prévision du budget, il est absolument indispensable qu'une estimation précise du coup de production du produit puisse être donnée. Cela n'est à l'heure actuelle pas encore possible, n'ayant pas de prototype. La décision est donc prise de concevoir le prototype sur mes fonds propres, avant de pouvoir conclure le business plan.

Une autre raison plus académique me pousse à donner la priorité à la conception technique, puisque mon stage d'étudiant entrepreneur se substitue à un stage d'assistant ingénieur ayant pour but d'accumuler des compétences techniques en entreprise. Il est donc important de consacrer une part non négligeable de mon temps à travailler spécifiquement sur l'électronique embarquée.

L'objectif principal de ce lancement dans l'entrepreneuriat et de répondre à un besoin, certes très spécifique (trampoline), mais existant : 300 clubs participent aux compétitions de Trampoline chaque année, et seulement 5 d'entre eux sont équipés du matériel électronique utilisé en compétition. En effet celui-ci coûte cher (2000€) et la concurrence est inexistante (un fournisseur Russe uniquement). Mon souhait est donc de concevoir une machine apportant plus de fonctionnalités, notamment pour aider à l'entraînement, et surtout à un prix plus abordable (600€). L'objectif, dans un premier temps est la vente de 100 produits (CA de 60 000€), qui permet de s'implanter sur le marché de manière stable avant d'envisager la production d'autres lignes de produits (besoins dans d'autres sports).

#### 2. Points de précisions

A la suite de cette première étape de présentation de l'avancement du projet, vous m'avez suggéré de prendre connaissance de la méthode Lean pour les startup afin d'associer la conception du prototype à un modèle de démarrage d'entreprise progressif et cohérent.

Vous m'avez également rappelé le placement possible d'une banque ou de différents investisseurs :

- Un banque acceptera un prêt si elle a la garantie de pouvoir être remboursée au vu de mes fonds propre, ou si le flux financier sur l'entreprise est suffisamment important.
- Un investisseur peut effectuer un placement dans une startup dans sa phase de construction et de lancement, mais cela est un placement fortement risqué et s'adresse à des profils d'entreprises innovantes différentes de celle que je projette.
- Un investisseur peut également attendre les premiers clients ayant donné un retour positif pour être convaincu. Ainsi il accompagne l'entreprise dans sa progression en part de marché pour passer par exemple de 5% à 20%, 30% 50%...

### **3. Modèle d'entreprise**

A la suite de cette échange dont j'ai pu apprécier la pédagogie, vous m'avez encouragé à me poser la question du type d'entreprise que j'envisage, par exemple :

- Ce projet a-t-il simplement une portée locale et un objectif universitaire ?
- A la suite de mes études, il est envisageable d'approfondir mon champs de compétences dans l'analyse et la recherche de solutions aux problématiques technologiques du sport (typiquement sous la forme d'une thèse par exemple), avant d'opter pour une position de conseil dans les outils de mesure de la performance sportive. Ainsi la production et la vente de produits ne seraient plus à ma charge, et cela me permettrait d'être impliqué dans de plus nombreux segments. Est-ce ce type d'entreprise qui me conviendrait le mieux ?
- Enfin, est-ce qu'une entreprise portant un produit sur les phases de recherche, conception, production et vente ne présente pas trop de risques ? En effet, cela implique notamment des fonds, une structure et une organisation de plus grande dimension.

Il est donc important, avant même d'évoquer les stratégies de vente et le business plan, de se positionner sur un modèle d'entreprise cohérent. Des informations complémentaires se trouvent sur le site de l'APCE.

### **4. Répondre aux bons besoins**

Nous évoquons ensuite le type de produit à concevoir.

Le produit envisagé a-t-il pour principal objet de mesurer des performances précises, notamment l'enregistrement de records, ou se destine-t-il à des mesures pour l'entraînement et l'amélioration de performances ?

A cette question, la réponse est d'apporter un outil accompagnant l'entraînement, et destiné aux nombreux clubs qui n'ont pas les moyens de s'équiper avec le matériel de compétition. Nous privilégions donc un produit simple, moins précis, et moins cher afin de satisfaire ce type de clientèle.

Quels différents besoins ont été évoqués par les acteurs du sport ?

- Un système d'enregistrement et d'analyse du rythme cardiaque pour les nageurs. Cette solution s'adresse au coach pour son aspect « temps réel », mais peut également être utile aux athlètes à posteriori comme aide au débriefing d'une performance. J'ai également évoqué la possibilité de concevoir une ligne subaquatique à placer au fond de l'eau pour indiquer aux nageurs avec des LEDs la progression théorique attendue. Cependant, ce système est une solution technique à un besoin spécifique, et il faudrait être sûr que l'attente est réelle avant de développer ce genre de produit.

- Un système de mesure et d'analyse des forces et des appuis pour les sports de combat, avec support vidéo. Ce segment s'adresse à un public plus large étant donné le nombre de disciplines de combat, d'autant qu'il est tout à fait envisageable de toucher également les compétiteurs en gymnastique avec un tel dispositif. La piste est donc à explorer car elle offre potentiellement un marché plus vaste, avec un chiffre d'affaire potentiel plus intéressant.

*Rappel : l'estimation grossière du chiffre d'affaire associé à la machine dédiée au trampoligne et de 60 000 € (100 machines à 600€).*

Il peut être judicieux de réfléchir à répondre aux besoins présentant le marché le plus intéressant pour le développement de l'entreprise, en contactant les acteurs locaux notamment (Directeur du Pôle France d'Antibes par exemple). Il sera par la suite nécessaire de valider ce placement et de concevoir le produit en conséquence. Dans un premier temps, un MVP est suffisant afin de « tester » le marché et obtenir un retour clientèle fiable.

***Prochain RDV fixé le Lundi 20 juillet à 10h***

## **Rapport d'entretien n°2**

*Laurent Masson - Incubateur Paca Est, le Lundi 20 juillet 10h*

Pour faire suite à notre entretien précédent, une synthèse vous est présentée abordant d'une part le modèle d'entreprise qui convient le mieux à mon projet et à mes motivations, et d'autre part les besoins exprimés pour mieux envisager le marché.

### **I. Etat des lieux**

### ***I.1. Modèle d'entreprise***

Modèle d'entreprise : SASU pour les premières années.

L'entreprise héberge pour cette période des secteurs de R&D, d'assemblage, ainsi que de Vente & Service Client. Les composants seront quant à eux commandés à des fournisseurs essentiellement étrangers.

#### ***Perspectives à 1-2 ans :***

Effectifs : 2 profils R&D et assemblage, 1 profil Vente & Service Client, 1 profil Gestion Communication

Structure d'hébergement : Local en location (partage de locaux parisiens dans le cadre d'un accord avec la FFGym)

Diversification de la production vers des outils modulaires s'adaptant à la préparation sportive. (support vidéo multi-surfaces, service d'analyse des données, outils statistiques polyvalents, système de programmation des séquences d'entraînement vis-à-vis des échéances)

#### ***Perspectives à plus long terme (3-5 ans) :***

Sous-traitance de l'activité R&D, production et assemblage, et renforcement de la position de proximité de l'entreprise sur le marché de l'équipement sportif : embauche sur le secteur Contact Clientèle (prévenir les besoins, renforcer l'implantation, répondre aux attentes), et sur le Cycle de Vente (retour sur utilisation, fidélisation, renforcement de l'offre de services complémentaires, élargissement du marché-cible).

### ***I.2. Répondre aux bons besoins***

Entretien téléphonique avec M. Carmona, directeur Pôle France Gymnastique Antibes (≈10min). Voici les idées principales qui en sont ressorties (non-hiérarchisées).

« *Il faudrait que les gymnastes soient plus suivis en dehors des entraînements, qu'ils aient une hygiène de vie à la hauteur de leur potentiel sportif.* »

« *Il nous faudrait un système de sauvegarde des performances de chaque entraînement, que les athlètes puissent voir leur progression.* »

« *Pour la vidéo, nous utilisons ponctuellement l'iPad mais un système fixe polyvalent serait plus adapté.* »

L'activité de l'entreprise peut ainsi être redéfinie, sur la base d'un socle d'outils et services communs à tous les sports :

- Capteurs connectés (appuis, tension, hauteur, déplacement)

- Analyse vidéo (alignement, vitesse, angles)
- Sauvegarde des performances : nom, date, élément de performance spécifique au sport
- Rendu statistique ponctuel et chronologique
- Programmation des séquences d'entraînement, préparation physique, repos, nutrition

## II. Précisions à apporter sur cette synthèse

A la suite de cette présentation, vous m'avez indiqué que certains points nécessitaient davantage de précisions :

### II.1. Production

La production des composants n'est pas opérée par l'entreprise, ceux-ci seront commandés à des fournisseurs, mais la production du produit fini est bien en France, car la conception et l'assemblage le sont.

A plus long terme, la production sera *externalisée* en faisant appel à un sous-traitant : attention à ne pas faire d'amalgame avec la *délocalisation*, comme cela a pu être fait à l'oral.

### II.2. Transition entre 2 et 3 ans

La transition décrite plus haut concernant la sous-traitance de l'activité de conception et d'assemblage pose un problème quant aux 2 profils (type ingénieurs-techniciens) associés à ce secteur. Il ne semble pas judicieux d'envisager des CDD, car ces contrats n'attirent plus. Cependant il peut être intéressant de penser à une reconversion de leur fonction dans l'entreprise : par exemple le suivi du bon développement du produit, et la bonne communication entre le sous-traitant et l'entreprise.

### II.3. Axes de motivation

Le type d'entreprise et ses perspectives d'évolution dépendent essentiellement des motivations de son fondateur. Aussi il peut être judicieux de préciser les différents axes de motivation qui m'animent.

Sur cette question, voici d'ores et déjà quelques éléments de réponse :

- Mon expérience dans le sport de haut niveau m'a fait prendre conscience de nombreux besoins du monde sportif, et je serais ravi de contribuer à apporter des solutions.

- J'apprécie l'idée d'apporter des outils d'aide à la performance aux structures qui ne disposent pas des ressources suffisantes pour acheter les équipements « de qualité de compétition ». L'enjeu social, proche de celui animant une structure associative me touche d'une certaine façon.

- Je reste cependant persuadé qu'il incombe davantage à une entreprise qu'à une association de démocratiser les outils technologiques dans les différents sports : l'objectif est simple mais ambitieux, devenir l'équipementier n°1 en technologie pour les structures sportives françaises.

Vous indiquez qu'il peut être important d'évaluer en quoi l'activité de l'entreprise se démarque des entreprises de démocratisation de la technologie grand public, ou des entreprises de technologie déjà présentes dans le monde du sport.

Vous indiquez également la possibilité qu'un choix s'impose entre un prix de vente faible (nécessite un volume de vente important) ou un produit plus haut de gamme (moins de volume mais plus rentable).

#### ***II.4. Hiérarchisation des besoins***

Vous pointez l'ordre surprenant des besoins exprimés par M. Carmona lors de notre entretien. En effet, l'approche utilisée dans notre discussion ne m'a pas permis de hiérarchiser les besoins : j'ai opéré par précision successive du cadre de l'objet d'étude : cadre global du pôle, puis le cadre des entraînements, avant d'aborder finalement la technologie lors des entraînements.

Lors des futurs entretiens il serait pertinent de préciser d'une part le sujet d'étude, et d'autre part de poser une question ouverte sur les besoins afin de laisser l'interlocuteur hiérarchiser lui-même ses besoins. Par exemple : « *Comment voyez-vous tel sujet (capteurs sur athlètes) Voilà mon projet, qu'en pensez-vous ? Que peut-on envisager ensemble ?* »

#### ***II.5. Problématique d'un système complet***

Vous notez que la synthèse des outils et services proposés par l'entreprise est très diversifiée : un problème de priorité des tâches se pose sur un système complet comme celui-ci : par où faut-il commencer ?

Il est encore trop tôt pour développer une offre complète avec outils et services. Il faudrait d'abord évaluer quels sont les besoins minimums. Mon profil d'élève-ingénieur me pousse à chercher d'emblée des solutions, cependant lors de la création d'une entreprise, il est judicieux de s'attarder plus longuement sur les besoins, les écrire, les hiérarchiser et les valider avant de passer à l'étape suivante.

Il serait donc intéressant pour notre prochain rendez-vous de recueillir l'avis de différents entraîneurs afin de mieux connaître leurs besoins.

***Prochain RDV fixé le vendredi 31 juillet à 10h***

### **Rapport d'entretien n°3**

*Laurent Masson - Incubateur Paca Est, le Vendredi 31 juillet 10h*

#### **I. Etat des lieux**

##### ***I.1. Enquête portant sur les besoins***

Une enquête au format PDF (à remplir directement, et retourner par mail) a été transmise à des responsables sportifs locaux, afin de la partager avec différents entraîneurs sportifs.

Destinataires :

- Directeur CREPS PACA Antibes
- Responsable des relations Sport-Etude CREPS PACA
- Directeur Pôle France Gym Antibes
- Préparateur mental

Reste à contacter : autres responsables de CREPS

### ***II.2. Première réponse***

Pour l'heure, aucune réponse provenant d'entraîneurs, mais Yoann Berteotti, préparateur mental, a pris le temps de donner son point de vue sur la question de la technologie dans le sport. Voici les éléments principaux :

- 1) Il n'y a pas UNE solution, mais une multitude
- 2) Aider l'athlète à prendre conscience de ce qu'il fait de positif à l'entraînement et en compétition
- 3) Agir pour progresser : aider à la responsabilisation, l'autonomie (, la concentration, la psychologie).
- 4) Projet de machine à temps de vol : vidéo avec ralenti + chrono pour aider à l'auto-confrontation

## **II. Méthodologie pour une enquête, un entretien**

### ***II.1. Enquête (papier ou numérique)***

Le formulaire d'enquête transmis en PDF peut également l'être grâce au dispositif « Google Form ». L'intro est bien mais l'entrée en matière trop orientée technologie : en lisant la première question, certains pourraient ne pas se sentir concernés et ne pas poursuivre. Il peut être intéressant de garder un cadre large, pour permettre de laisser s'exprimer les personnes interrogées, ou simplement cibler entraînement et les besoins, afin de s'adresser à tous.

Dans le formulaire présenté, il n'y a pas de hiérarchisation possible de l'intérêt de la technologie par rapport aux autres problématiques.

Pour ce type de consultation, un entretien permettrait de réorienter la discussion en fonction des réponses.

### ***II.2. Mener un entretien***

Méthodologie possible pour mener un entretien pour ce projet de technologie dans le sport :

- 1) Introduction : Mon projet (produit nouveau), le cadre (équipement techno en entraînement)
- 2) Quels sont les 5 problèmes principaux à l'entraînement ?  
*Expression des besoins, vocabulaire, et pondération des besoins*

- 3) Que peut apporter pour vous un équipement technologique à l'entraînement ?  
*Connecter aux problèmes précédemment exprimés : Percevoir l'expression, le champs sémantique*
- 4) Comment travaillez-vous ?  
*Lier avec les problèmes exprimés et les équipements technologiques. Analyse du besoin, des solutions déjà existantes.*
- 5) Rationaliser, présentation du projet : Possibilités de solutions
- 6) Qu'en pensez-vous ? qu'en feriez-vous ? Qu'est-ce que cela vous permet de gagner ? A vos yeux cela justifie quel budget ?  
*Comment le mettre à disposition : chaîne de décision, circuit d'achat*
- 7) Commentaires ? Questions ? A-t-on oublié quelque chose ?

**Important :** Présenter le projet avec des schémas, un aperçu visuel, un prototype, etc. Cela permet de focaliser l'attention, aider les gens à se projeter.

### III. Mise en perspective du produit dans son environnement

Le point de vue de Yoann Berteotti nous amène à nous questionner sur la place des équipements technologiques par rapport à son métier à lui : comment peuvent-ils interagir dans le cadre de la préparation mentale.

Comment le produit peut-il s'installer durablement dans un environnement autour de l'athlète, l'accompagner à l'entraînement et/ou en dehors ? Faudra-t-il le moment venu faire un choix entre la pertinence du produit dans le lien entraîneur-athlète ou plutôt entraîneur-environnement (préparation mentale, physique, médicale) ?

L'étape de recherche suivant les différents entretiens sera celle du ciblage d'un besoin considérablement exprimé, afin d'établir un MVP, puis d'envisager un test avec les partenaires.

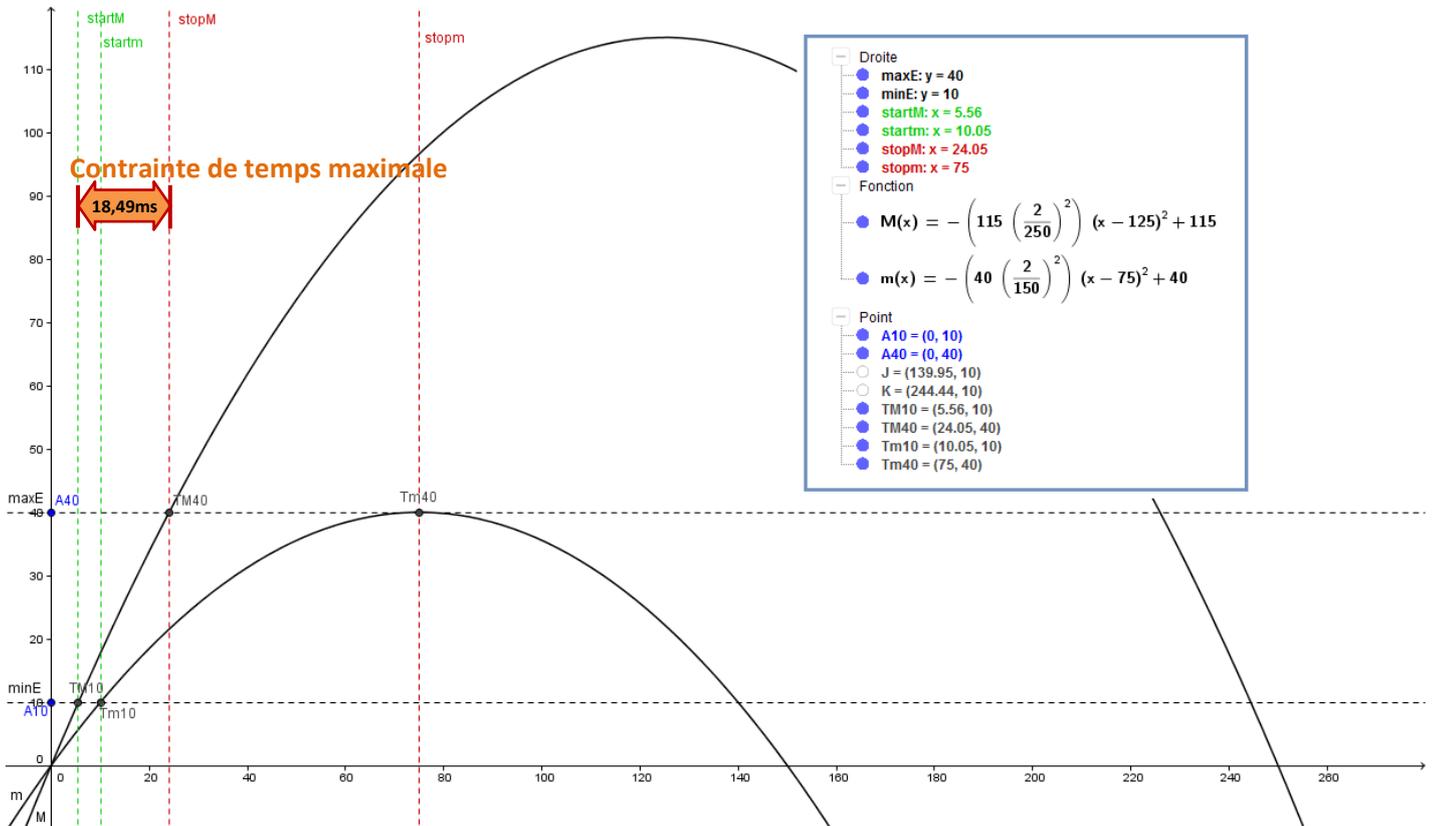
Enquêter sur des besoins en technologies alors même que les outils ne sont pas encore très développés est une chose plutôt difficile pour ma part, car les clients potentiels ne savent pas encore comment ces outils peuvent leur simplifier le quotidien à l'entraînement (analogie avec l'arrivée des tablettes où le marché, bien que sceptique en premier lieu, a pu exprimer sa satisfaction après utilisation). Il faut donc bien approfondir la question des besoins avant de proposer un produit aux personnes susceptibles de bien accueillir la technologie.

→ Demander à Yoann Berteotti son avis sur les capteurs sur les athlètes : qu'est-ce qui est plus ou moins acceptable ? dans quelle mesure cela peut être pertinent ?

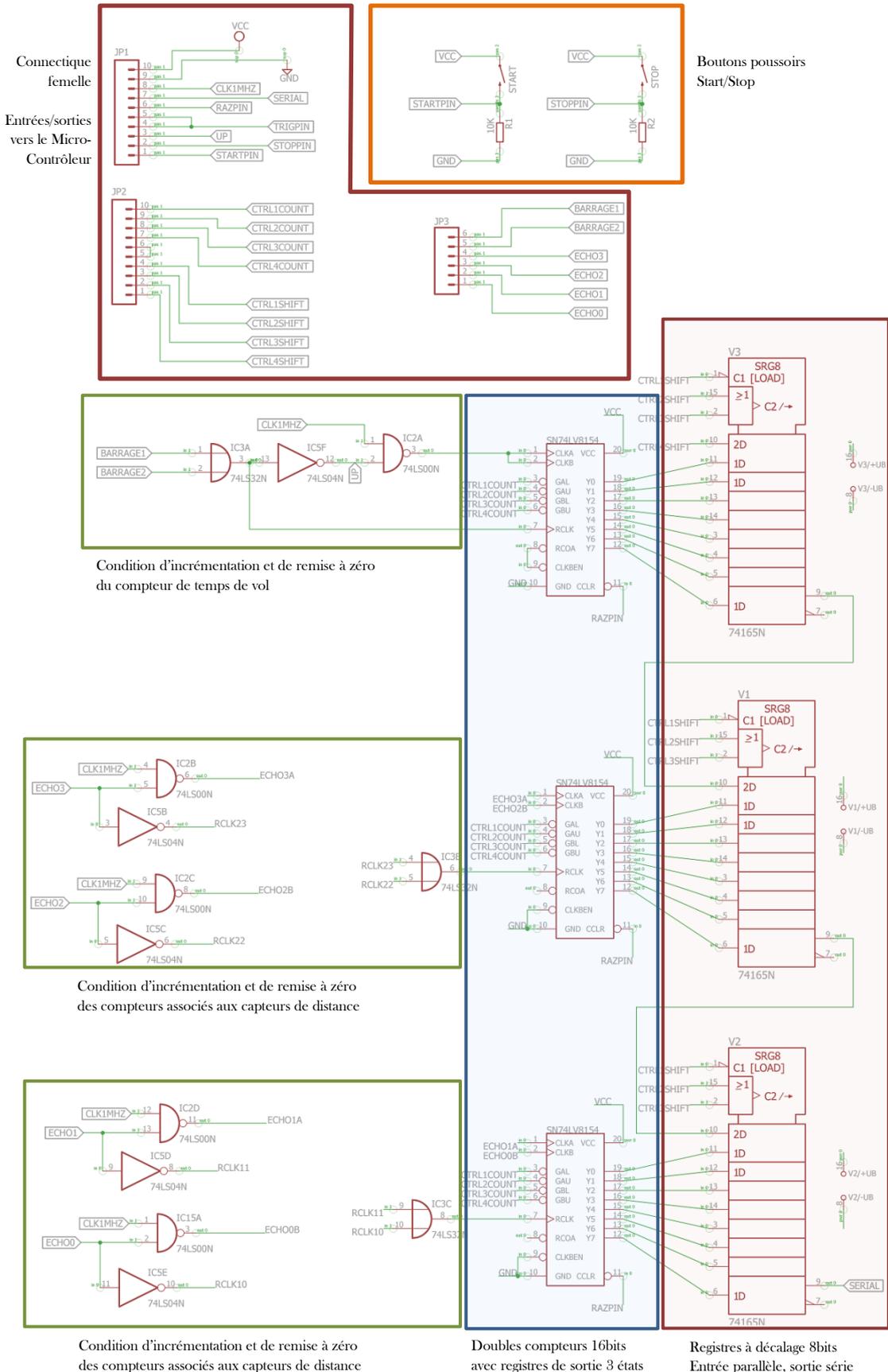
***Prochain RDV fixé le mardi 22 septembre 18h à Nice***

*(Point sur cet aspect-là et sur le calendrier général)*

## Annexe B. Etude des contraintes de temps en fonction de l'enfoncement du gymnaste

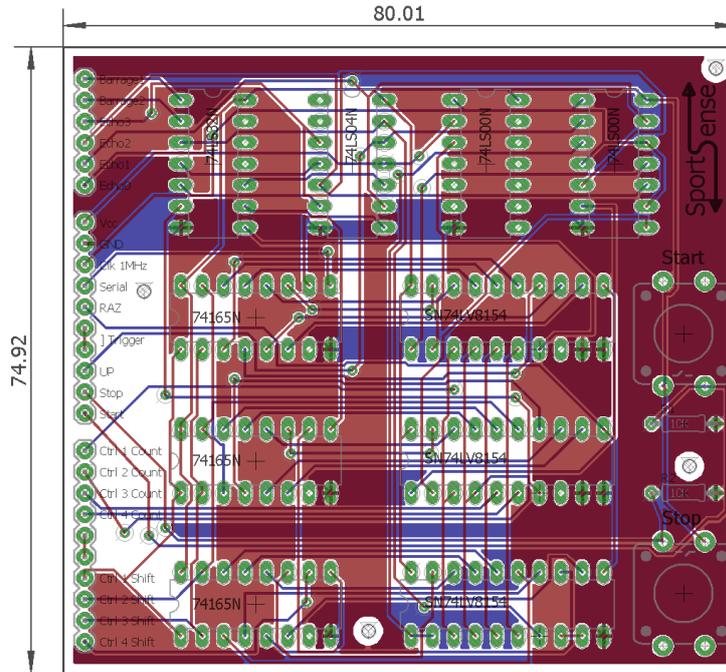


### Annexe C. Schéma du circuit logique via Eagle 7.3.0 (Cadsoft)

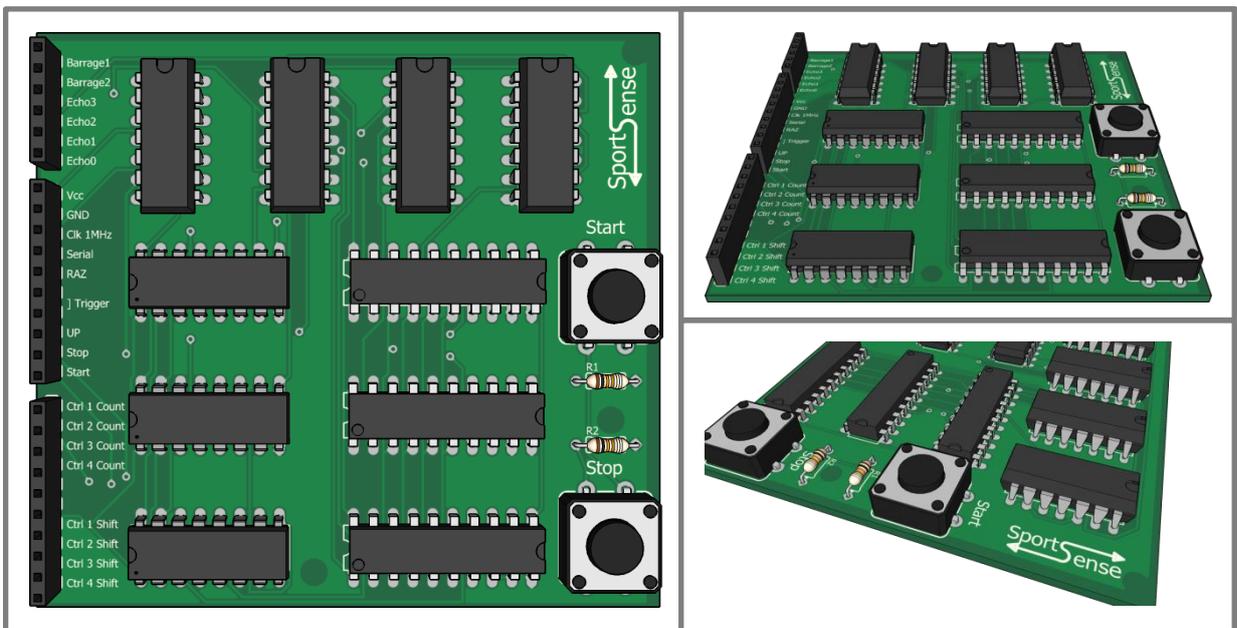


## Annexe D. Eléments de synthèse du PCB

### D.1. Schéma de routage sur PCB avec l'outil Eagle 7.3.0 (Cadsoft)



### D.2. Modélisation du PCB sous Sketch'Up



## Annexe E. Programme d'exécution du micro-contrôleur

### E.1. Code du fichier *controle.ino*

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <math.h>
#include "controle.h"

#define StartPin 2
#define StopPin 3
#define UpPin 4
#define trigPin 5
#define razPin 6
#define serialPin 7

#define freqOutputPin 10

#define ctrl1CountPin 30
#define ctrl2CountPin 31
#define ctrl3CountPin 32
#define ctrl4CountPin 33

#define ctrl1ShiftPin 36
#define ctrl2ShiftPin 37
#define ctrl3ShiftPin 38
#define ctrl4ShiftPin 39

#define echo0Pin 12
#define echo1Pin 11

#define rapportTpsDist 58.2f

/*const float rapportTpsDist = 58.2; Rapport Temps/Distance entre la durée de l'écho et la
distance associée en cm */

long onceUp = 0;
long onceDown = 0;
long getCounters[5] = {0}; /* Echo0, Echo1, Echo2, Echo3, ToF */
double distance[4] = {0.0}; /* distance associée à chaque Echo */
double coordonnees[2] = {0.0};
double tofTime;
char message[15];

const float a=505.0;
const float b=291.0;

/** Fonctions personnelles **/

/* Lit un octet depuis l'entrée série */
void transmissionSerie(char* instr){
    Serial.println(instr);
}

/* Déclenche la prise de mesure de distance */
void setTrigger(){
    digitalWrite(trigPin, LOW);
    delayMicroseconds(2);
    digitalWrite(trigPin, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
```

```
digitalWrite(trigPin, LOW);
}

/* Contrôle des Registres des Compteurs à partir d'un mot de contrôle GBU.GBL.GAU.GAL */
void setCtrlRegCount(int GBU, int GBL, int GAU, int GAL){
    digitalWrite(ctrl1CountPin, HIGH);
    digitalWrite(ctrl2CountPin, HIGH);
    digitalWrite(ctrl3CountPin, HIGH);
    digitalWrite(ctrl4CountPin, HIGH);
    digitalWrite(ctrl1CountPin, GBU);
    digitalWrite(ctrl2CountPin, GBL);
    digitalWrite(ctrl3CountPin, GAU);
    digitalWrite(ctrl4CountPin, GAL);
}

/* Contrôle des Registres à Décalage à partir d'un mot de contrôle PL.CE.CP.DS */
void setCtrlRegPiso(int PL, int CE, int CP, int DS){
    digitalWrite(ctrl1ShiftPin, PL);
    digitalWrite(ctrl2ShiftPin, CE);
    digitalWrite(ctrl3ShiftPin, CP);
    digitalWrite(ctrl4ShiftPin, DS);
}

/* Lecture d'un octet sur l'entrée série et restitution sous forme d'entier */
int readByte(){
    int byte=0;
    int i;
    int bitlu;
    setCtrlRegPiso(HIGH, LOW, LOW, LOW);
    setCtrlRegPiso(LOW, LOW, LOW, LOW); /* Chargement */
    setCtrlRegPiso(HIGH, LOW, LOW, LOW);
    bitlu=digitalRead(serialPin);
    byte = byte*2+bitlu;

    for(i=0;i<7; i++){
        setCtrlRegPiso(HIGH, LOW, HIGH, LOW);
        setCtrlRegPiso(HIGH, LOW, LOW, LOW);
        bitlu=digitalRead(serialPin);
        byte = byte*2+bitlu;
    }
    return byte;
}

/*
3 compteurs à relever en série : [Echo0|Echo1] [Echo2|Echo3] [Timer]
A chaque chargement, on reçoit les données en série de 3 compteurs (donc 3 octets)
Il faut associer chaque octet arrivant en série à sa bonne variable
4 chargements successifs (4 octets par compteur), reception série des séquences :
* Echo01-Echo21-Timer3
* Echo00-Echo20-Timer2
* Echo11-Echo31-Timer1
* Echo10-Echo30-Timer0
*/
void getCountersData(){
    int octet00=0;
    int octet01=0;
    int octet10=0;
    int octet11=0;
    int octet20=0;
    int octet21=0;
    int octet30=0;
    int octet31=0;
    int timer0=0;
```



```
x_2=a-sqrt(square(d)-square(y_2));

/* Valeur de x */
coordonnees[0]=0.5*(x_1+x_2);
/* Valeur de y */
coordonnees[1]=0.5*(y_1+y_2);
}

/*
* remise à 0 des compteurs à l'état bas sur la Pin 6
*/
void raz(){
    digitalWrite(razPin, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(razPin, LOW);
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(razPin, HIGH);
}

/** Fin des fonctions personnelles **/

/*
* Configuration des registres système et des entrées/Sorties à l'allumage du micro-contrôleur
*/
void setup()
{
    /* Préparation de la liaison série */
    Serial.begin (9600);

    //-- 1MHz Clock on PIN 10 --//
    pinMode(freqOutputPin, OUTPUT);
    // RAZ registres de Timer/Counter 2
    TCCR2A = 0;
    TCCR2B = 0;
    TCNT2 = 0;
    // WGM22.WGM21.WGM20 = 010 => CTC Mode
    // COM2A1.COM2A0 = 01 => Toggle OC2A on compare match
    // CS22.CS21.CS20 = 001 => No Prescaler
    TCCR2A = ((1 << WGM21) | (1 << COM2A0));
    TCCR2B = (1 << CS20);
    TIMSK2 = 0;
    OCR2A = 7; // Toggles every 8 clock cycles => 1 period = 16 clock cycles <=> 1MHz
    //-- Fin paramétrage 1MHz Clock --//

    // Paramétrage des Pins d'Entrée/Sortie
    pinMode(trigPin, OUTPUT);
    pinMode(razPin, OUTPUT);
    pinMode(ctr11CountPin, OUTPUT);
    pinMode(ctr12CountPin, OUTPUT);
    pinMode(ctr13CountPin, OUTPUT);
    pinMode(ctr14CountPin, OUTPUT);
    pinMode(ctr11ShiftPin, OUTPUT);
    pinMode(ctr12ShiftPin, OUTPUT);
    pinMode(ctr13ShiftPin, OUTPUT);
    pinMode(ctr14ShiftPin, OUTPUT);
    pinMode(StartPin, INPUT);
    pinMode(StopPin, INPUT);
    pinMode(UpPin, INPUT);
    pinMode(serialPin, INPUT);
}

/*
* Boucle d'execution du micro-contrôleur :
```

```
* Mesure de la position et du temps de vol, puis transmission série
*/
void loop()
{
  /* L'athlète est dans la toile */
  while(digitalRead(UpPin)==LOW){
    /* Lorsque l'athlète atterri dans la toile */
    if(onceDown==0){
      /* Déclenchement de la prise de mesure auprès des capteurs de distance */
      setTrigger();
      /* Halte de 60ms pour être sûr de la fin des opérations de comptage */
      delayMicroseconds(60000);

      /* Import des valeurs des compteurs vers les variables du micro-contrôleur */
      getCountersData();

      /* Conversion des données en centimètres et secondes */
      for(int i=0; i<4; i++){
        distance[i]= getCounters[i]/rapportTpsDist;
      }
      tofTime=getCounters[4]/1000000.0;

      /* Mise à jour des valeurs (x,y) */
      algorithme();

      /* ToF et echoCounters */
      raz();

      /* Transmission des données (x,y) et TOF */
      sprintf(message, "data|%.1f|%.1f|%.3f", coordonnees[0], coordonnees[1], tofTime);
      transmissionSerie(message);
    }
    /* La séquence de lecture des données est exécutée, on ne la réexécute pas */
    onceDown++;
    onceUp=0;

    /* Si l'un des boutons poussoirs est actionné, l'information est transmise en série */
    if(digitalRead(StartPin)==HIGH){
      transmissionSerie("start");
    }
    if(digitalRead(StopPin)==HIGH){
      transmissionSerie("stop");
    }
  }
  /* L'athlète est dans sa phase d'envol, on analyse seulement l'état des boutons poussoirs */
  while(digitalRead(UpPin)==HIGH){
    if(digitalRead(StartPin)==HIGH){
      transmissionSerie("start");
    }
    if(digitalRead(StopPin)==HIGH){
      transmissionSerie("stop");
    }
  }
  onceDown=0;
  onceUp++;
}
}
```

E.2. Code du fichier *controle.h*

```
#ifndef _CONTROLE
#define _CONTROLE
/* Lit un octet depuis l'entrée série */
void transmissionSerie(char* instr);

/* Déclenche la prise de mesure de distance */
void setTrigger();

/* Contrôle des Registres des Compteurs à partir d'un mot de contrôle GBU.GBL.GAU.GAL */
void setCtrlRegCount(int GBU, int GBL, int GAU, int GAL);

/* Contrôle des Registres à Décalage à partir d'un mot de contrôle PL.CE.CP.DS */
void setCtrlRegPiso(int PL, int CE, int CP, int DS);

/* Lecture d'un octet sur l'entrée série et restitution sous forme d'entier */
int readByte();

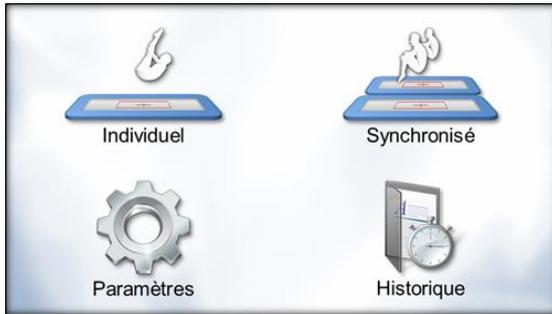
/* Importe les valeurs stockées dans les compteurs vers les variables du micro-contrôleur */
void getCountersData();

/* Algorithme de placement par coordonnées (x,y) à partir des mesures de distances */
void algorithme();

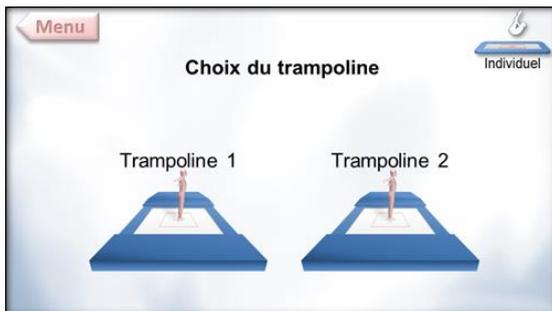
/* remise à 0 des compteurs à l'état bas sur la Pin 6 */
void raz();
#endif
```

## Annexe F. Modélisation de l'interface graphique avec Qt

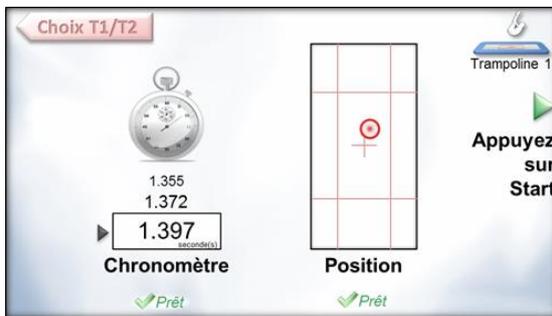
Modélisation en langage QML de l'interface



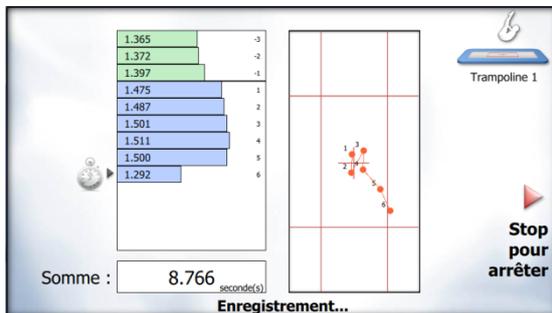
1. Ecran d'accueil, choix du mode de fonctionnement, visualisation de l'historique, ou modification des paramètres.



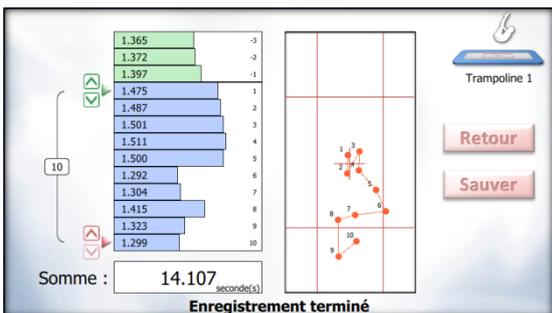
2. Mode individuel : Ecran de choix du trampoline sur lequel saute le gymnaste



3. Avant d'appuyer sur start, le système garde en mémoire les 3 dernières données (temps de vol et position).



4. Après appui sur start, le système affiche progressivement l'histogramme des temps de vol et des positions.



5. Après enregistrement, l'utilisateur peut manipuler les données (point de départ, point d'arrivée).