



Rééducation En Sourire avec le Thérémine

PSTE 219

Professeur :
Céline BARTH

Equipe :
Benjamin LEVY
Pierre MOREAU
Marine BOILEAU
Pauline ELEUTERIO
Philippe ONG
Rym TAOUTI



ECE PARIS
ÉCOLE D'INGÉNIEURS

9 Décembre 2015

Table des matières

Introduction	3
1 Organisation	4
1.1 Planning	4
1.2 Répartition des tâches	4
2 Etat de l'art	5
2.1 Circuit électrique et conversion numérique	5
2.1.1 Fonctionnement d'un thérémine	5
2.1.2 Étude du projet de Belot Simon et Granier Antonin	6
2.1.3 Circuit thérémine/convertisseur - M.Nawrath	7
2.1.4 Notre choix	8
2.2 La rééducation du membre supérieur	9
2.2.1 Solutions existantes	9
2.2.2 Science de la rééducation	9
3 Objectifs	11
Conclusion	13
Annexes	14
.1 Planning Prévisionnel	15
.2 Architecture du projet	16
.3 Tableau comparatif	17
Références	18

Table des images

2.1	Schéma des blocs Belot-Granier	6
2.2	Schéma thérémine par M.Nawarth	7
2.3	Étapes de conversions du signal	8
2.4	Ré-éducation de l'épaule (SFRE)	10
1	Planning prévisionnel	15
2	Architecture du projet	16

Introduction

Le projet

Notre sujet intitulé « R.E.S.T. » a pour but de créer une boîte à jeux rééducative, pour aider la récupération de la motricité du membre supérieur. Cette boîte à jeux devra être contrôlée par gestuelle afin qu'un enfant puisse retrouver la coordination entre ses gestes et un déplacement.

Cette solution, grâce à différents niveaux de progression, aidera ainsi à l'enfant dans une rééducation motivante et ludique du membre supérieur.

La R.E.S.T. pourra donc être adoptée comme boîte à jeux dans les foyers familiaux, permettant une rééducation ludique à la maison.

L'équipe

Notre équipe est constituée de (dans l'ordre de l'image) :

- Benjamin Levy (Chef de Projet)
- Marine Boileau
- Pierre Moreau
- Rym Taouti
- Philippe Ong
- Pauline Euleterio



Partie 1

Organisation

1.1 Planning

Le projet se déroule de septembre 2015 à mai 2016. Le premier semestre est consacré aux recherches pour établir un état de l'art et le cahier des charges. Nous avons donc planifié la conception sur le second semestre comme présenté dans le diagramme en annexe 1.

1.2 Répartition des tâches

La répartition des tâches a été spontanée. Benjamin, Pierre et Rym ayant des compétences en électronique, se sont directement penché sur les schéma et les interprétations du théramine avec Philippe. Pauline ayant eu un cursus en faculté de médecine, elle s'est intéressée au domaine de la rééducation en cernant les besoins ré-éducatifs. En général, nous avons tous étudié un projet d'étude différent sur le théramine que nous pouvons trouver sur internet et dont nous allons parler dans ce rapport.

Partie 2

Etat de l'art

2.1 Circuit électrique et conversion numérique

2.1.1 Fonctionnement d'un thérémine

Nous nous étions fixés de réaliser un thérémine. De nombreuses avancées technologiques ont été faites depuis l'invention de cet instrument, qui fonctionne sur un principe simple : la capacitance du corps humain.

En effet cela marche comme si notre propre corps faisait partie du circuit. Deux antennes, chacune contrôlée par un bras, vont calculer les distances antenne-bras et les positions de nos doigts. Deux fréquences variables vont alors être émises : une, issue de la première antenne qui commande la note, et l'autre, issue de la deuxième antenne qui commande le volume. Les sons produits par l'instrument de musique sont issues de ces fréquences variables.

Lorsqu'elles sont émises, ces fréquences ne font pas parties du domaine audible. Pour entendre un son, ces fréquences vont devoir suivre un chemin tout le long du thérémine. Le premier "bloc" que va rencontrer la fréquence variable issue de "l'antenne note" est le mélangeur. Ici, cette fréquence variable va être mélangée à une fréquence de référence pour ensuite n'en faire sortir que la soustraction des deux. En effet, cette soustraction va créer un signal audible, néanmoins pas assez fort pour être entendu.

C'est pourquoi, ce signal va rejoindre un deuxième bloc, le "Voltage Controlled Amplifier" qui va augmenter son amplitude en fonction de la fréquence variable issue de "l'antenne volume". Toutefois, le signal ne sera toujours pas assez fort.

Enfin, le bloc suivant va rajouter une amplification supplémentaire pour pouvoir bien entendre le son final produit par le thérémine.

2.1.2 Étude du projet de Belot Simon et Granier Antonin

Parmi les projets présents sur internet, nous en avons sélectionné qui vont nous être utile pour comprendre le fonctionnement électronique du thérémine. En voici l'étude :

Étant débutants en électronique, il n'était pas envisageable pour eux d'assembler les composants en se basant uniquement sur la connaissance des rôles de chacun afin de reproduire les effets recherchés du thérémine. Ils se sont donc appuyés sur un circuit déjà existant afin d'en comprendre le fonctionnement et ainsi en construire leur propre prototype. Leur montage est assez différent de l'original créé en 1919, en raison des nouveaux composants créés entre temps qui sont plus simples à manipuler et plus efficaces tels que les transistors ou les bobines miniaturisées.

Leur première étape était de se procurer les éléments électroniques nécessaires à leur montage et de réaliser leur circuit imprimé. Le circuit est composé de plusieurs blocs ayant chacun une fonction différente (oscillateurs, mélangeur, amplificateur, haut-parleurs...). Leur étude comporte une description des rôles de chacun et de leur utilité dans le circuit. Ceci représente un avantage car il permet d'étudier les blocs indépendamment, de les tester et de comprendre leur fonctionnement avec précision. Néanmoins, leur étude étant concentrée sur ces blocs, leurs explications y sont abondantes et rigoureuses. Voici leur schéma représentatif des différents blocs :

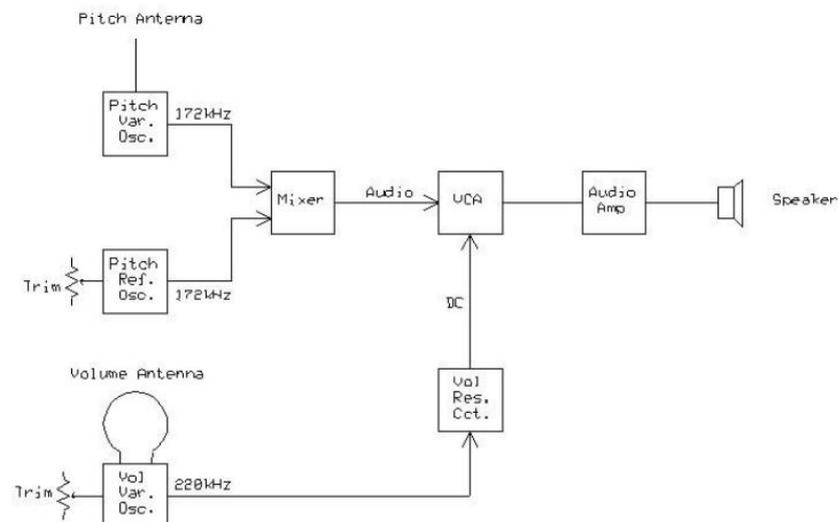


Image 2.1 – Schéma des blocs Belot-Granier

Par manque de temps, ils ont restreint leur étude à seulement trois modules du circuit :

- L'oscillateur de fréquence de référence
- Les oscillateurs de fréquence variable reliés aux antennes

— Le mélangeur.

Nous avons étudié les trois modules du circuit et pouvons en conclure qu'étudier la réalisation d'un projet nous permet de suivre les étapes des auteurs, d'analyser les problèmes qu'ils ont rencontrés et les solutions qu'ils ont apportés, et enfin de s'enrichir des connaissances qu'ils ont acquises. Étant donné que nous allons devoir suivre les mêmes étapes qu'eux (hormis la partie finale car ils souhaitent transformer le signal électrique en signal audible alors que dans notre cas, nous allons joindre ce signal électrique à un signal numérique), ce document nous apporte un premier squelette précieux à notre cheminement. Néanmoins, notre objectif ne sera pas d'obtenir le son de l'instrument, mais d'obtenir des informations à envoyer à un ordinateur pour contrôler notre jeu. C'est pour cette raison que nous avons étudié le circuit de M. Nawrath.

2.1.3 Circuit thérémine/convertisseur - M.Nawrath

Mr Martin Nawrath, ingénieur en sciences expérimentales de l'ordinateur à l'Académie des Arts Médiatiques de Cologne (KHM), publie en 2009 un document expliquant son approche pour créer un module thérémine envoyant un signal digital à l'Arduino.

Voici le schéma proposé :

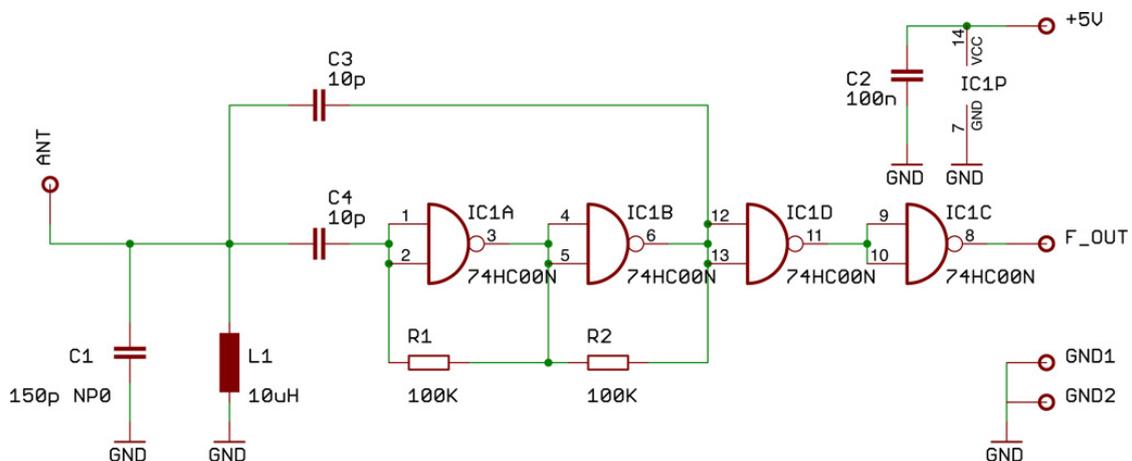


Image 2.2 – Schéma thérémine par M.Nawrath

Analysons maintenant cette solution :

Le condensateur C1 et la bobine L1 créent en résonance une fréquence de $4.11MHz$.

Les portes IC1A et IC1B amplifient le signal, et le condensateur C3 permet une contre-réaction afin d'avoir une oscillation régulière et dépourvue des parasites (filtre passe bas). Le signal passe donc de l'état 1 à l'état 2 de l'image 2.2.

Les portes IC1C et IC1D redressent le signal sinusoïdal en signal carré, représenté par le 3^{ième} schéma de l'image 2.2.

L'antenne reliée au circuit LC produit l'effet thérémine. Si une personne ou un matériau conducteur s'approche de l'antenne, sa capacitance diminue et elle induit une déviation de la fréquence produite par le circuit LC.

Dans son approche, Martin Nawarth utilise un Arduino pour lire le signal carré et le transmettre à un ordinateur via USB. Il est donc intéressant de s'aider de ce projet car il regroupe différents objectifs de notre projet (cf.2.1.4).

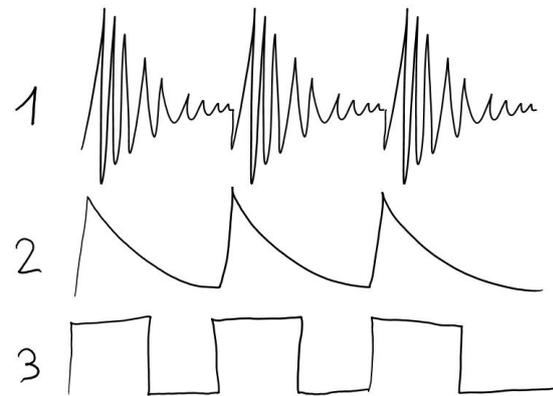


Image 2.3 – Étapes de conversions du signal

2.1.4 Notre choix

Nous avons fait le choix de travailler avec une RaspberryPi pour une raison de pratique. En effet, comme nous pouvons le voir sur le schéma en annexe 2, il est plus facile d'utiliser ce type de carte pour notre projet comparé à une carte Arduino. Sur cette dernière nous devrions prendre les valeurs des tensions d'entrée générées par la main de l'utilisateur et le circuit, puis enregistrer les valeurs dans un fichier de l'ordinateur connecté à l'Arduino. Dans cette ordinateur, depuis le jeu, nous devrions accéder au dit fichier, et les interpréter pour ce jeu. Par contre, avec une RaspberryPi, nous n'auront juste qu'à prendre les valeurs, et les lancer directement dans le jeu, intégré dans l'ordinateur interne de la RaspberryPi. Il est donc plus simple d'utiliser cette dernière plutôt que l'Arduino, car elle nous évite de passer par l'enregistrement de fichier, et l'obligation d'avoir un ordinateur en plus du circuit et de l'écran. L'autre avantage c'est qu'on peut brancher un câble HDMI directement sur la carte. Au final nous aurions comme une boîte, comprenant le circuit à l'intérieur, l'antenne et le câble connecté à l'écran à l'extérieur.

2.2 La rééducation du membre supérieur

2.2.1 Solutions existantes

Nous avons en premier lieu restreint nos recherches aux moyens et aux appareils de rééducation du membre supérieur (et plus précisément du bras et de l'épaule). Malgré ces restrictions nous avons trouvé un trop grand nombre de résultats c'est pour ça que nous avons choisi de ne détailler que les principaux, et ceux qui nous paraissaient les plus cohérents avec le sujet que nous avons choisi dans le tableau situé en annexe.

Plusieurs appareils existent à faible coût, pour les plus rustiques il y a par exemple l'élastique ou le Sissel Reha Pro. Ces deux derniers sont efficaces mais la répétition du même mouvement peut très rapidement devenir ennuyante, et en particulier le patient ne considère pas sa rééducation comme motivante. A cause de cela, il peut facilement se décourager. Le Motomed a aussi comme critère la répétition des mouvements mais aussi la sécurité lors de son utilisation. En revanche son prix est conséquent.

Nous avons aussi choisi d'inclure des appareils plus professionnels que seuls les centres hospitaliers peuvent s'offrir, pour de multiples raisons, le Lokomat V6 et l'Armeo therapy apporte à la rééducation un côté ludique (met en scène un personnage à l'écran grâce aux efforts physiques) mais son prix est élevé (700000€ pour les deux appareils réunis).

2.2.2 Science de la rééducation

En nous aidant du mémoire du Dr. Laroche nous avons pu cerner les principes de la rééducation du membre supérieur.

D'après l'OMS, l'éducation thérapeutique permet aux patients d'acquérir et de conserver les capacités et les compétences qui les aident à vivre. Cette éducation implique des activités organisées de sensibilisation, d'information, d'apprentissage de l'autogestion et de soutien psychologique concernant la maladie, le traitement prescrit, les soins, le cadre hospitalier et les comportements de santé et de maladie. Mais ce n'est pas tout, elle vise aussi à aider les patient et leurs familles à comprendre la maladie et le traitement, coopérer avec les soignants, vivre plus sainement et améliorer leur qualité de vie.

L'éducation thérapeutique explique aussi les deux types de prises en charges kinésithérapiques. Premièrement, il s'agit de la méthode dite passive : seul le kinésithérapeute a une action sur la pathologie, par le biais de massages. Deuxièmement, et c'est cette partie qui nous intéresse, il y a la méthode dite active : le patient est sollicité, il pratique lui-même les exercices thérapeutiques après que ceux-ci aient été expliqués par le praticien.

Dans ce mémoire, le Dr Laroche explique notamment l'importance de l'éducation du patient face à sa pathologie et celle de la motivation de celui-ci lors du traitement de la pathologie.

Selon le Dr Laroche, l'auto-rééducation apporte la possibilité au patient d'être traité sur une plus longue durée, et de ce fait, elle permet d'obtenir de meilleurs résultats thérapeutiques. Néanmoins, durant cette période, le patient ne doit pas être laissé à lui-même, mais doit en effet continuer d'être suivi par le kinésithérapeute.

Dr Laroche nous fait aussi part dans son rapport d'une étude sur la rééducation de la main et cela nous a fait comprendre que nous ne pourrions pas nous concentrer sur celle-ci car cette rééducation est particulière et ne peut pas être faite par notre projet. C'est pourquoi nous allons nous concentrer sur le bras en lui-même ainsi que l'épaule.

En cherchant plus, selon la SFRE (Société Française de Rééducation de l'Épaule), les gestes à réaliser pour ré-éduquer l'épaule sont les suivants :

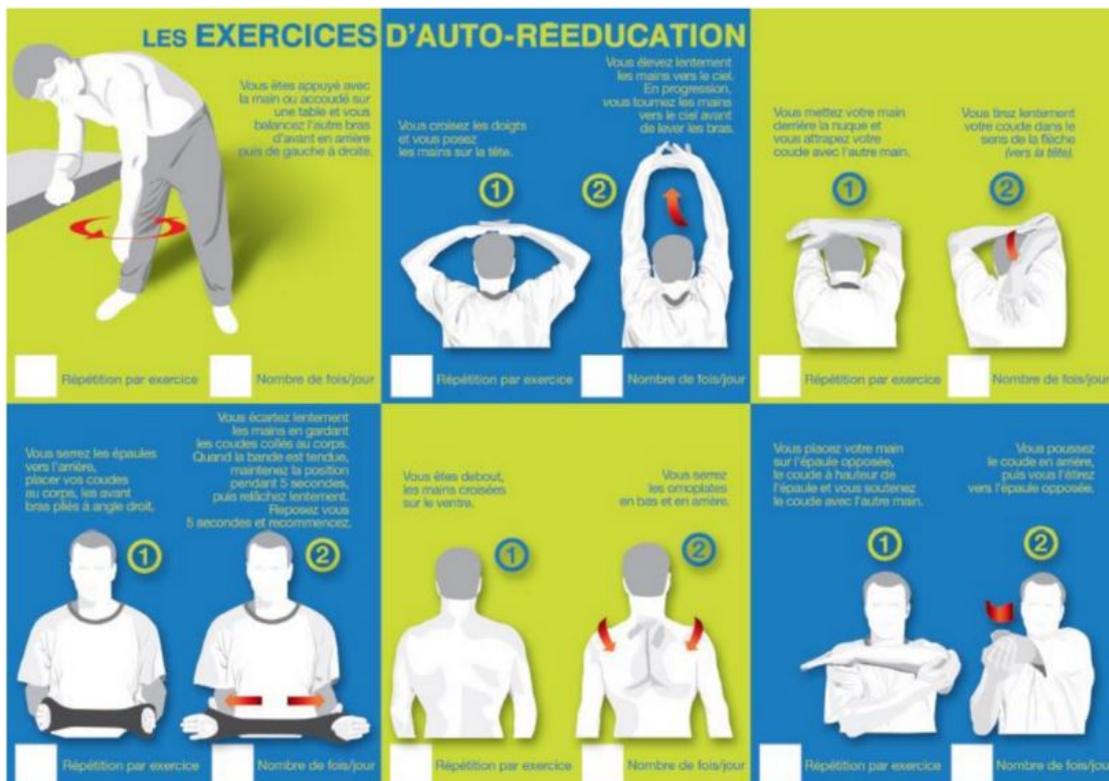


Image 2.4 – Ré-éducation de l'épaule (SFRE)

D'après ces gestes, nous pouvons conclure quant à l'utilisation possible de notre future prototype dans la rééducation de l'épaule avec l'image bleue de gauche. En effet, il suffirait au patient de prendre un élastique autour de ses mains et d'utiliser notre jeu en même temps, pour que l'exercice soit fonctionnel.

Partie 3

Objectifs

La REST est un projet qui se déroule sur notre deuxième année de notre cursus à l'ECE Paris. Nous devons par conséquent faire en sorte d'avoir un planning qui ne soit pas trop complet sur le long terme, ce qui nous empêcherait de le finaliser. C'est pourquoi nous allons nous concentrer sur les objectifs à atteindre sur cette partie du rapport. En effet, si les objectifs sont trop nombreux ou irréalisables à notre niveau malgré les recherches effectuées dans l'état de l'art, nous risquerions de ne pas réussir à compléter ce cahier des charges (CDC). A l'inverse, il est clair que si nous devons avoir des objectifs trop simples ou bien trop rapides, cela nous permettrait de nous avancer sur les options vues dans ce CDC. Nous allons donc parler des objectifs de ce projet scientifique et technique en équipe (PSTE).

Dès que l'idée de la rééducation fut abordée, nous avons directement pensé à réaliser une interface, éducative, et jouable plus précisément. Ceci permettrait, comme dit précédemment dans l'état de l'art, de concentrer notre projet sur la rééducation des membres supérieurs de l'enfant.

Dans un second temps, nous nous étions fixés de réaliser un thérémine. Grâce à l'avancée des recherches sur cet instrument fantastique et aux nombreuses études sur celui-ci que nous trouvons sur le net (notamment celle de Martin Nawrath qui est très bien expliquée), nous pensons déjà en réaliser un avec une carte RaspberryPi (dont on précisera le model plus tard dans ce CDC). A la différence du thérémine de Mr Nawrath, le nôtre ne comprendrait pas de sons, mais un courant de sortie que nous pourrions identifier et interpréter.

De plus, le jeu que nous avons choisi d'implanter n'a pas été pris au hasard. Pour deux raisons principales, qui sont les droits d'auteurs et nos ressources de la première année d'étude au sein de l'ECE Paris, nous avons choisi de travailler sur nos projets d'informatique de l'année dernière. Cela nous permettrait donc de bien utiliser nos ressources mais aussi de nous concentrer sur l'objectif principal du projet : l'interface entre le thérémine et le jeu. Ce jeu, complété l'année dernière, devra être modifié afin de pouvoir interpréter les données reçues sur une carte RaspberryPi. En effet, au lieu d'utiliser les touches du clavier, les enfants devront utiliser leurs bras.

Nous devons donc faire la relation entre cette carte RaspBerryPi et le jeu

choisi, ce qui est l'objectif principal de ce projet : réaliser l'interface entre le thérémine et le jeu. En effet, nous devons principalement nous concentrer sur cette partie, car sans elle, les enfants ne seraient plus concernés par ce projet.

Si nous devons résumer ce paragraphe en quelques mots :

- Reprendre le jeu créé l'année passée et faire des modifications préalables
- Création d'un thérémine avec signal de sortie interprétable par le jeu.
- Apporter les données prises par la RaspberryPi au jeu
- Adapter les deux ressources entre elles en fonction de leur acceptabilité de données directement sur le jeu
- Finaliser le projet en les associant.

Conclusion

Bilan collectif

Nous avons réalisé des recherches très intéressantes sur plusieurs fonctionnements, autant dans le domaine humain que celui électrique. En effet, nous avons pu comprendre comment fonctionne la ré-éducation d'un membre et les façons de le faire, et en plus de cela nous avons pu cerner les exercices nécessaires au projet : ré-éduquer le bras et l'épaule en utilisant des élastiques, des poids, ... De plus nous avons pu identifier comment réaliser le thérémine avec une carte RaspberryPi. Nous espérons que nous pourrons mener ce projet à bien, et que nous pourrons le présenter fonctionnel à la prochaine soutenance.

Annexes

.1 Planning Prévisionnel

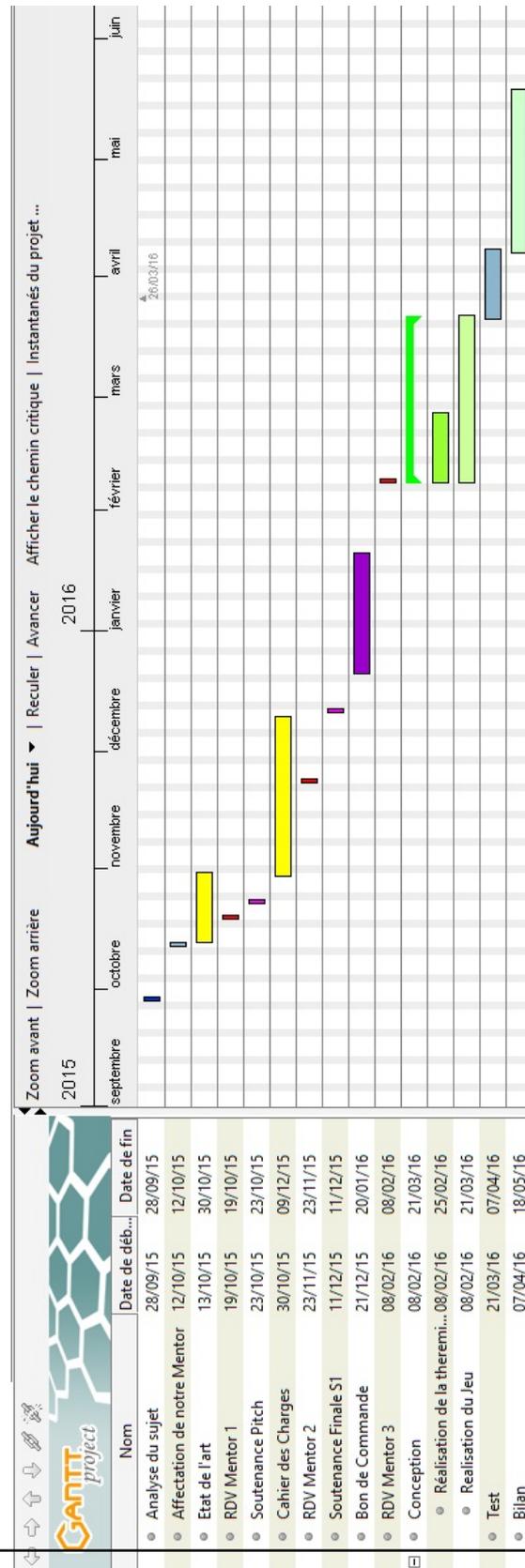


Image 1 – Planning prévisionnel

.2 Architecture du projet

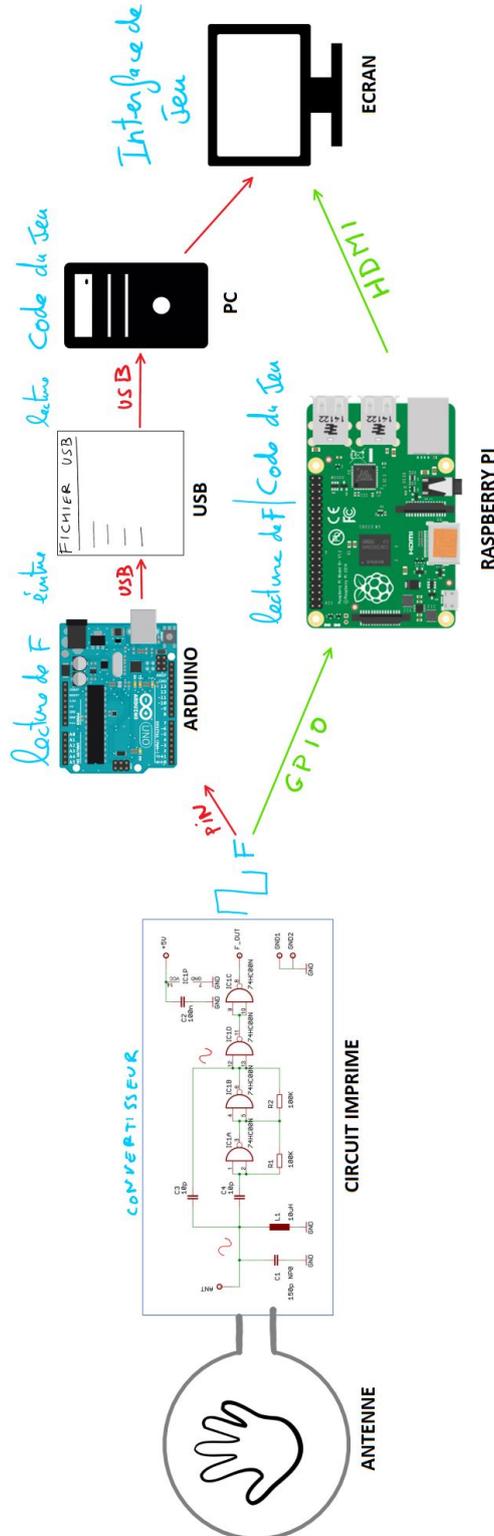


Image 2 – Architecture du projet

.3 Tableau comparatif

	MotoMED	Lokomat V6	Armeo Therapy	Sissel Reha pro	Élastique
Avantages	Facile à utiliser	ludique	ludique	Renforcement musculaire Facile à utiliser et peu volumineux	Peu volumineux Très instinctif Différend stade d'étirement de l'élastique
Inconvénients	Non couvert par la sécurité sociale	Non couvert par la sécurité sociale	Besoin de matériel et de place : ne s'adresse pas à tout le monde.	Non ludique N'aide pas à la rééducation des doigts	Non ludique Ennuyeux c'est toujours le même mouvement
Principe	C'est le même système que les vélos d'appartements sauf que l'on pédale avec les bras et les mains ce qui permet la rééducation du membre supérieur	Rééducation du membre inférieur en marchant sur un tapis roulant et des supports en cas de problème.	Rééducation du bras et de la main pour les personnes atteintes de maladie neurologique à l'aide d'un joystick	Rééducation du poignet et de l'avant bras grâce à un système de pousoir : travail essentiellement le poignet.	Le patient tire l'élastique et celui-ci lui oppose une résistance plus ou moins grande en fonction de son étirement et aussi du modèle de l'élastique.
Coût	4110 €	Investissement pour une clinique de 700000€ pour l'acquisition des deux robots		Environ 60 €	Environ 10 €

Références

- [1] Belot Simon – Granier Antonin, *Mémo de VHDL : Le langage VHDL*. PCM int, Université de Bergen, 2014.
- [2] Martin Nawarth, *Theremin as a Capacitive Sensing Device*. LabIII, Académie des Arts Médiatiques de Cologne (KHM), Mai 2009.
- [3] Documentation Raspberry Pi : www.raspberrypi.org
- [4] Société française de rééducation de l'épaule : www.sfre.org
- [5] Dr Laroche, *Mémoire*. Faculté de médecine de Grenoble, 2013
- [6] Lokomat V6 : <http://www.clinique-saint-roch.com/presse/137-lokomat-armeopower-reeducation-robot-clinique.html>
- [7] Forum d'aide pour L^AT_EX : <http://tex.stackexchange.com/>
- [8] Code source L^AT_EX de notre rapport : <https://www.overleaf.com/read/xdhghhhbrvch>