



Ecole Internationale des Sciences du Traitement de l'Information

Pilote : Thérapie robotique pour l'autisme

Rapport de projet de fin d'études ingénieur

Effectué d'août 2013 à avril 2014



En collaboration avec :



Sommaire

I.	Présentation du projet	4
1.	Description	4
1.1	Idée initiale	4
1.2	Problématique et objectif général du projet:.....	4
1.3	Questions de recherche	4
2.	Contexte	5
2.1	Présentation collaborateurs	5
2.2	Etat de l'art	7
3.	Organisation	9
3.1	Moyens	9
3.2	Planification	9
3.3	Décisions	9
II.	Réalisation	10
1.	Prise en main	10
1.1	Prométhée	10
1.2	NAO	11
2.	Synchronisation	12
3.	Fonctionnement	12
3.1	Flot optique	12
3.2	Contrôle moteur	15
3.3	Réseau de neurone	17
4.	Mise en pratique	19
4.1	Système	19
4.2	Télécommande	20
III.	Résultats & observations	22
1.1	Présentation des enfants et commentaire des séances	22
1.2	Les données	25
1.3	Problèmes rencontrés	29

Remerciements :

Avant tout, nous tenions à remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à ce projet de recherche. Tout d'abord, un grand merci au laboratoire ETIS et ses tutelles (ENSEA, université de cergy pontoise, CNRS) pour leur confiance en nous, leur aide tout au long du projet, leur patiente et leur enseignement. Mais aussi pour nous avoir laissé accéder à leurs locaux et utiliser leur matériel et notamment le robot NAO sans lequel nous n'aurions pas pu mener notre projet à bien. Parmi les chercheurs du laboratoire ETIS, nous tenons tout particulièrement à remercier Ghilès Mostafaoui qui a réellement eu pour nous un rôle de tuteur tout au long du projet, mais aussi khursheed Syed Hasnain, Arnaud Blanchard Philippe Gaussier , Pierre Andry et Caroline Grand. Nous remercions aussi de façon générale tous les membres d'ETIS qui ont tous à un moment ou à un autre contribué à la réussite du projet ne serait-ce que par leur bonne humeur quotidienne.

De plus, il est important de remercier Isabelle Roland, présidente de l'association EnsembleAutisme95 sans qui rien de tout cela n'aurait été possible. En effet, elle nous a apporté sa confiance, son temps, ses connaissances en matière d'autisme mais aussi ses locaux et son réseau. Elle fut indéniablement un pilier de ce projet. Nous remercions aussi toutes les mères des enfants autistes qui ont participé à ce projet, Joséphine Valentin mère de Mathieu, Marie Touzet, mère d'Adrien, Nathalie Pradeau, mère de Bastian et Isabelle Roland, mère d'Alexandre, pour nous avoir accordés leur confiance ainsi que leurs enfants.

Remerciement également à Florent Chauvin et Anne-Charlotte Rambaud pour avoir participé à l'élaboration de la problématique de recherche, du système final et des gestes à réaliser. Merci de nous avoir apporté les connaissances en matière d'autisme qui nous manquaient et une meilleure compréhension du projet.

Merci aussi à Olivier Joubert et Adriana Tapus qui nous ont aidés à nous lancer dans le sujet et nous ont guidés aux prémices du projet.

Un grand merci à notre responsable d'option Nga Nguyen qui a proposé le sujet et qui a su nous guider, nous aider, nous mettre en contact avec les bonnes personnes au bon moment et qui est toujours restée à notre écoute.

Pour finir nous remercions Nezim Fintz, directeur de l'EISTI pour nous avoir procuré un tout nouveau robot NAO pour nous aider dans nos recherches.

Ce fut pour nous un réel plaisir de travailler avec tant de personnes à la fois intéressantes et passionnées. Toutes ces personnes ont travaillé bénévolement sur ce projet de recherche ce qui les rend d'autant plus estimables.

Introduction

Après 5 ans d'études à l'EISTI, notre groupe de travail, Fanny Larradet, Mylène Le Hen et Aurélie Fajardo, a entamé notre Projet de Fin d'Etude (PFE) qui représente l'étape finale de notre formation. Ce dernier est un projet de recherche encadré par des professionnels ainsi que par l'école. Après une proposition de travail avec le robot NAO par notre responsable d'option Nga Nguyen durant l'été 2013, nous nous sommes mises à préparer ce projet. Intéressées par le sujet de recherche de ASK NAO, nous avons donc envisagé de travailler avec les enfants autistes. Tout au long de ces 9 mois (août 2013- avril 2014), nous avons alterné gestion de projet, mise en relation de personnes, recherche bibliographiques, compréhension du projet, programmation, expérimentations et enfin constatations pour rendre ce projet de fin d'étude et présenter aujourd'hui nos conclusions.

I. Présentation du projet

1. Description

1.1 Idée initiale

L'idée principale avec laquelle nous avons commencé ce projet de fin d'études est d'améliorer le comportement social des enfants autistes à l'aide d'un robot humanoïde.

1.2 Problématique et objectif général du projet:

Problématique : La robotique peut-elle avoir un aspect positif sur le spectre autistique?

La majorité des enfants, et notamment ceux atteints d'autisme sont attirés par les robots. Contrairement à l'homme, un robot émet peu de stimuli. Ce fait-là n'est pas négligeable car on sait que les enfants autistes n'interprètent pas les informations de la même manière que nous. Il s'agit pour eux d'informations brutes qu'il est compliqué de traiter. De plus, le robot a un comportement répétitif et prévisible qui peut être rassurant pour un enfant autiste. Cela nous amène à penser qu'introduire un robot pourrait avoir un aspect positif dans les dispositifs d'aide à l'apprentissage et au développement des enfants autistes. Cette idée a déjà été le sujet de plusieurs grands projets dont nous vous parlerons par la suite et les résultats encourageants nous ont convaincu de consacrer notre projet sur la base cette idée-là.

L'objectif général de notre projet de fin d'étude est donc d'étudier l'impact de la robotique sur les interactions sociales des enfants autistes.

1.3 Questions de recherche

Durant la phase de recherche bibliographique de notre projet, plusieurs questions de recherche se sont ouvertes à nous. Tout d'abord, nous ne savons toujours pas si le robot humanoïde a de meilleures chances de réussite face à un autre type de robot. Nous avons fait le choix d'un robot humanoïde car nos travaux portent sur l'imitation et la synchronie, il est donc important pour nous que l'enfant associe le robot à une forme humaine (bras, tête, mains etc). Cependant, en parallèle

une jeune start-up leka a, elle, fait le choix de travailler avec un robot nommé Moti qui a la forme d'une sphère.

Ensuite, une question importante à laquelle nous aimerions tenter d'apporter un début de réponse est de savoir au bout de combien de temps nous pourrons voir une amélioration des interactions sociales des enfants autistes.

Pour finir, une question essentielle à notre projet – car elle apporte une nouveauté comparé aux autres travaux réalisés sur ce même sujet – est de savoir si la synchronisation du robot sur l'enfant autiste permet d'obtenir une plus grande attention et concentration de l'enfant.

2. Contexte

2.1 Présentation collaborateurs

a. ETIS



Notre collaborateur principal est le centre de recherche ETIS : Equipes Traitement de l'Information et Systèmes. Unité de recherche commune au CNRS à l'ENSEA Cergy et à l'Université de Cergy-Pontoise, ses travaux se concentrent autour de la neurocybernétique, la construction de modèles neuronaux. Le but étant de réaliser des modèles computationnels précis du cerveau. Les modèles sont implémentés et testés sur des robots. Parmi les travaux réalisés au laboratoire, ce sont ceux sur la synchronisation qui nous ont le plus intéressés et dont nous nous sommes servies pour réaliser notre projet. C'est au sein de cette équipe de chercheurs passionnés et passionnants que nous avons pu réaliser notre projet de recherche.

Bien que la majorité du laboratoire nous ait aidé à un moment ou un autre pour l'avancement du projet, c'est notamment Ghilès Mostafaoui qui nous a guidé tout au long du projet et que nous considérons comme un tuteur à ce projet. khursheed Syed Hasnain, Arnaud Blanchard Philippe Gaussier, Pierre Andry et Caroline Grand sont aussi à citer comme acteurs essentiels dans notre projet.

b. Ensemble autisme



Bien que nouvelle née cette année, l'association Ensemble Autisme 95 nous a accordé son temps et son enthousiasme au cours de ce projet. Association d'aide aux parents d'enfants autistes, elle permet le travail avec des professionnels du métier grâce à ses locaux adaptés. Elle accompagne,

informe et rassemble. Véritable bouée de sauvetage pour ses parents, cette association et notamment Isabelle Roland sa présidente, nous a permis de mener à bien notre projet en nous apportant toute l'aide et les ressources nécessaires.

c. Psycho-prat



Notre équipe n'étant à l'origine composée que d'ingénieurs informaticiens, le recours à une aide spécialisée dans l'autisme nous a paru indispensable. Pensant qu'il serait plus intéressant de travailler avec des étudiants afin de rendre un projet commun à plusieurs écoles, nous avons contactés la seule école de psychologue spécialisée dans l'autisme d'Ile de France : Psycho-prat (Ecole de Psychologue Practiciens). Un grand nombre d'étudiants ont répondu à notre appel, intéressés par le projet. Seulement 2 ont véritablement participé à celui-ci, Florent Chauvin et Anne-Charlotte Rambaud. Ils nous ont tout d'abord éclairés sur l'autisme et ses aspects. Nous avons par la suite déterminé ensemble les gestes que le robot pourrait effectuer qui serait éventuellement intéressant pour l'enfant autiste. Nos connaissances sur le robot NAO associées à leur maîtrise du spectre autistique nous ont permis de démarrer le projet avec des bases solides.

Ils n'ont pas pu faire de celui-ci un projet de fin d'étude comme nous l'aurions voulu. Ils ont donc participé au projet de manière bénévole, par simple intérêt pour le sujet.

d. Autres



D'autres personnes ont aidé à l'avancement du projet de manière plus ponctuelle. Notamment Aldebaran Robotics, l'entreprise créatrice du robot NAO par le biais d'Olivier Joubert. En effet, travaillant au sein de ASK NAO, équipe de recherche pour l'autisme, il a pu nous guider aux prémices du projet.

Adriana Tapus, enseignante chercheuse à l'ENSTA, ayant déjà travaillé dans le domaine de la robotique pour l'autisme nous a, elle aussi, guidé dans notre recherche de problématique.

2.2 Etat de l'art

a. Autisme

L'autisme se caractérise non seulement par des troubles de la communication mais également par d'importantes difficultés d'adaptation à l'environnement physique et social. L'autisme apparaît dans la petite enfance, avant l'âge de 3 ans, puis persiste tout au long de sa vie. On estime qu'environ 100 000 jeunes de moins de 20 ans sont atteints de troubles envahissant du développement (TED) en France. L'autisme infantile concernerait environ 30 000 d'entre eux. Les TED touchent trois fois plus de garçons que de filles

Ce n'est que récemment, dans les années 1970, que des études concernant les modes de dysfonctionnement cognitif propres aux enfants autistes sont menées. Ces études permettent notamment la compréhension fonctionnelle, développementale et différentielle des modes de compréhension de l'environnement que les enfants autistes peuvent développer.

Actuellement, il n'existe pas de traitement de l'autisme, mais une prise en charge précoce et adaptée à l'enfant permet d'améliorer ses capacités à interagir avec le monde. La difficulté dans la prévention de l'autisme est que les causes de l'autisme sont très diverses. En effet, elles peuvent être d'ordre génétique, neuropsychologique, biochimique, environnementale etc. De plus, malgré le fait que le syndrome autistique soit clairement identifiable chez un enfant, le spectre autistique reste tout de même très large.

L'autisme a été déclaré grande cause nationale pour l'année 2012. La grande cause nationale doit permettre de mieux faire connaître les difficultés que rencontrent les personnes autistes pour appréhender le monde qui les entoure et inviter chacun à les accueillir et les aider en milieu ordinaire.

b. Autisme et imitation

L'imitation sert à l'apprentissage et à la communication, elle a donc un rôle développemental essentiel. De ce fait, tout dysfonctionnement chez l'enfant crée des troubles et des déficits majeurs.

Jacqueline Nadel - spécialiste du développement de la communication non verbale, sur la base de l'imitation et de l'émotion, chez le jeune enfant et l'enfant avec autisme – nous apprend que les enfants autistes imitent très peu et très mal mais ils ont quand même cette capacité et en particulier si l'exécution des mouvements n'est pas trop rapide. La lecture de ses travaux concernant l'imitation et l'autisme sont d'une grande aide pour la réalisation de notre PFE.

c. Robotique et autisme

La robotique est l'ensemble des techniques permettant la conception et la réalisation de machines ou de robots. Dans le cadre de notre projet, nous avons utilisé le robot Nao qui est un robot humanoïde autonome, programmable et interactif de 58 cm de haut et de 5 kg, développé par la société française Aldebaran Robotics, une start-up spécialisée dans la robotique humanoïde dont le siège social est situé à Paris. Développé dans le cadre du projet ASK NAO (Autism Solution for

Kids), des chercheurs américains de l'université de Vanderbilt ont programmé ces robots afin d'aider les enfants autistes dans l'amélioration de leurs relations avec leur environnement.

L'idée d'utiliser la technologie pour améliorer notre compréhension de l'autisme et aider les autistes dans leur apprentissage et leur développement social est apparue en 1976. Cette idée a notamment donné naissance par la suite à plusieurs projets en rapport avec notre thème :

- Le projet AuRoRa (Autonomous mobile Robot as a Remedial tool forAutistic children) étudie l'utilisation de robots comme des outils qui pourraient avoir un rôle éducatif ou thérapeutique pour les enfants atteints d'autisme. Le projet a débuté en 1998 à l'initiative du professeur Kerstin Dautenhahn, de l'université de Hertfordshire. Ce projet a pour objectif d'utiliser les robots autonomes et interactifs comme interface entre l'enfant autiste et le monde qui l'entoure. Ce programme a pour ambition d'aider les autistes à développer et accroître les capacités d'interactions sociales et de communication. Leur objectif à long terme est le développement d'une plate-forme robotique - qui pourrait être utilisée dans les écoles par les enseignants et les thérapeutes - permettant aux enfants autistes de développer leurs interactions sociales. À court terme, l'efficacité des robots doit être évaluée afin d'être en mesure de déterminer les forces et les faiblesses de cette approche. En effet, le niveau d'interaction des enfants avec le robot est un facteur important dans le succès du projet.



Figure 1 AuRoRa

- Le projet ASK NAO évoqué précédemment est donc un programme semblable utilisant le robot NAO qui s'est enrichi de programmes spécialement conçus pour les besoins des enfants autistes.



Figure 2 ASK NAO

3. Organisation

3.1 Moyens

Le matériel nécessaire était principalement le robot. Etant disponible grâce à ETIS, nous sommes partis de l'idée que nous allions travailler avec celui-ci. Il était possible de faire commander le robot par l'école. Cependant, le temps de faire la demande et de recevoir le robot, nous aurions eu du retard dans le planning. Nous avons alors pensé utiliser le NAO d'ETIS en attendant l'arrivée éventuelle du nouveau robot.

Pour le projet, nous avons aussi besoin de 2 caméras, une qui filmerait la séance dans sa totalité et l'autre caméra servirait pour la synchronisation du robot, celle intégrée étant de trop mauvaise qualité pour l'analyse des images. De plus une caméra à grand champ était nécessaire afin de voir toute la pièce. Celles-ci nous ont toutes deux été fournies par ETIS. La caméra de NAO étant de trop mauvaise qualité, on a utilisé une caméra à grand champs.

En ce qui concerne le lieu des séances avec les enfants, il a été naturel de choisir les locaux de l'association ensemble autisme car les enfants connaissaient déjà les lieux et la salle comportait un ensemble de tapis qui nous ont permis de cacher les fils et l'alimentation du robot, possible distractions pour les enfants.

3.2 Planification



3.3 Décisions

Les principales décisions à prendre ont été le lieu des séances, les enfants participants à l'expérimentation et les gestes d'imitation.

Comme dit précédemment Le lieu des séances s'est porté naturellement vers l'association. Pour le choix des enfants, c'est surtout Isabelle qui a pris cette décision dans la mesure où il fallait des enfants qui aient des lacunes en imitation mais qui puisse éventuellement être intéressés par NAO. De plus, il fallait que les parents soient disponibles et acceptent de participer au projet.

En ce qui concerne les gestes, ce sont les étudiants en psychologie qui ont choisi les gestes dans la mesure de ce qui était possible pour NAO. En effet, celui-ci ne pouvant faire que des gestes avec les bras et ne pouvant pas tenir d'objets, les possibilités de gestes étaient assez limitées.

Au cours des premières séances, Nous nous sommes rendu compte que le robot n'attirait pas l'attention des enfants comme prévu. Nous avons donc décidé de rajouter des stimuli. Nous avons alors activé les lumières sur les yeux du robot lors des mouvements. Nous avons aussi utilisé les micros du robot afin d'inciter l'enfant à imiter. Pour cela, une fonction à la télécommande a été ajoutée afin de faire dire « imite moi » au robot.

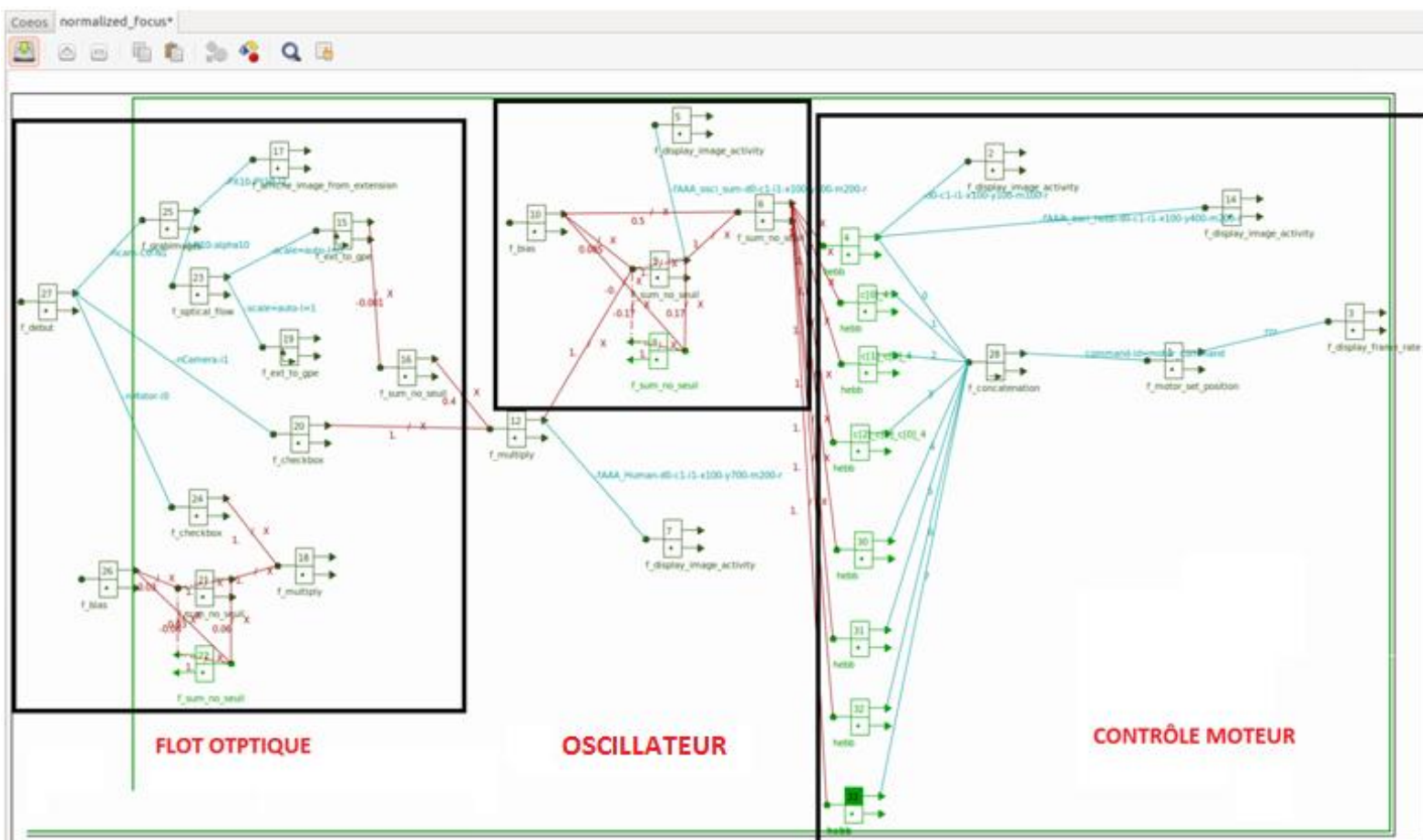
II. Réalisation

1. Prise en main

1.1 Prométhée

Comme dit précédemment, nous avons utilisé le NAO du laboratoire de recherche ETIS. Ils nous ont fourni le robot mais aussi le logiciel qu'ils ont programmé afin de le contrôler. En effet, ils n'utilisent pas chorégraphe, le logiciel fournis par Aldebaran, mais un logiciel personnalisé permettant de plus grandes choses. Ce dernier permet notamment via une interface graphique de lier des fonctions précédemment codées. On peut ainsi créer un réseau de neurones qui gère notre application et notamment le principe de synchronisation (Voir section II.2.). Prométhée est composé de deux parties. Un script qui contient nos trois parties que nous expliquerons plus tard (Voir section II.3.), le flot optique, le réseau de neurone et le contrôle moteur. Mais aussi un fichier .dev qui permet de définir les mouvements à réaliser par le robot. Le contrôle moteur va ainsi lire ce fichier et transmettre ces informations au robot. Cette séparation nous a permis de ne créer qu'un script pour tous les gestes à réaliser et ne changer que les .dev . Dans la pratique il a tout de même fallu créer deux scripts en raison de la nécessité d'avoir un flot optique vertical et un horizontal (Voir section II.3.1.).

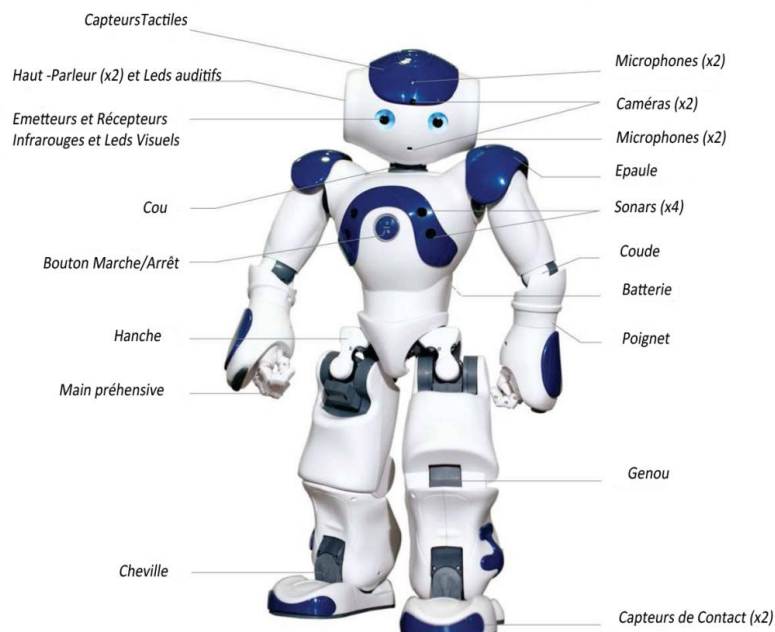
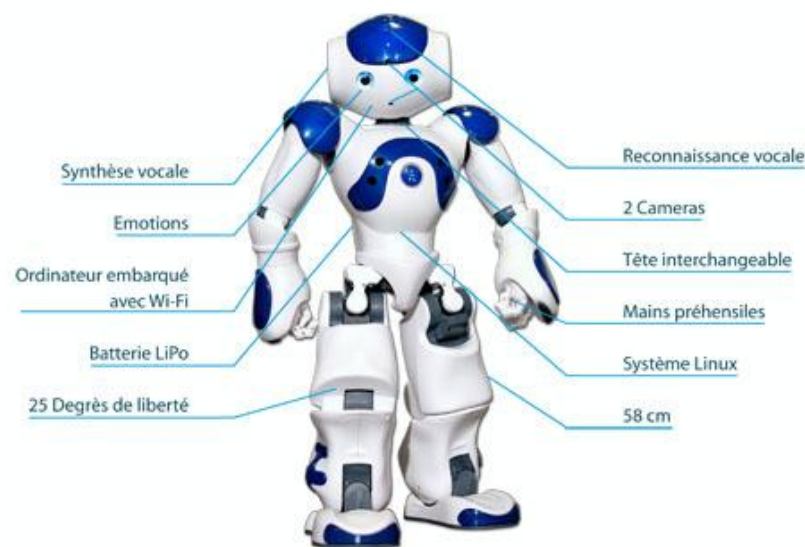
Le fichier script :



La prise en main de Prométhée fut une partie importante de notre PFE puisqu'il n'existe aucune documentation du logiciel. Nous avons donc dû nous plonger au cœur du code pour tenter de comprendre le fonctionnement global. Une fois cela accompli, il a fallu modifier les codes préexistants pour créer notre propre script adapté à nos besoins. Là encore une difficulté puisqu'en cas de problème aucun document ou recherche ne nous permettait d'avoir une réponse. Il a donc fallu chercher nous-mêmes, demander autour de nous de l'aide, des explications. Heureusement, les chercheurs présents étaient tous capables et volontaires pour nous aider dans cette tâche ce qui nous a permis d'avancer relativement rapidement.

1.2 NAO

A l'origine aucune de nous n'avez eu de contact avec un robot NAO. Il a donc fallu un temps d'adaptation pour comprendre son fonctionnement, ses capacités motrices, orales, ses lumières etc...



Nao est un robot de petite taille (58 cm) comprenant 25 degrés de liberté. Cependant, notre NAO étant relativement vieux, il n'était pas possible d'utiliser ses moteurs inférieurs. Nous nous sommes donc contentés d'utiliser ses 6 moteurs de chaque côté :

- Epaule (rotation horizontale et verticale)
- coude (rotation horizontale et verticale)

- poignet

Nous avons aussi utilisé ses lumières au niveau des yeux afin d'attirer l'attention des enfants.

Nao possède un capteur wifi ainsi qu'un câble Ethernet. L'utilisation de Prométhée nous imposait l'utilisation du câble Ethernet ce qui ne posait pas de problème, notre NAO étant de toute façon immobile. On a cependant dû camoufler celui-ci lors des séances pour éviter toute distraction vis-à-vis des enfants avec les fils.

L'acquisition du nouveau NAO en fin de projet nous a permis de tester l'intérêt des enfants sur un robot beaucoup plus mobile sans pour autant pouvoir l'utiliser pour tester l'imitation avec le programme. (Voir section III. résultats et observations)

2. Synchronisation

On remarque que naturellement, les humains se synchronisent les uns avec les autres. Que ce soit au niveau du rythme de la parole, des gestes, de la marche etc.... Observez deux personnes qui marchent côte-à-côte et vous vous apercevrez que petit à petit elles se synchronisent de façon non-intentionnelle et finissent par marcher au même rythme. Cependant, si les rythmes naturels de ces deux personnes sont trop éloignés, la synchronisation non-intentionnelle ne peut pas se faire, la personne doit alors fournir un effort intentionnel pour se synchroniser. Ceci est fatigant pour la personne puisque ça demande un réel effort.

Le laboratoire ETIS, ayant pour but de reproduire au plus près l'humain et ses caractéristiques afin de mieux le comprendre, a donc réalisé un modèle de synchronisation que nous avons pu réutiliser. Celui-ci était basé sur la synchronisation d'un geste simple entre un robot et un humain.

Le robot faisait donc un mouvement vertical du bras face à un humain et on pouvait assister à la synchronisation des deux parties. Le robot et l'humain tentaient donc de façon non intentionnelle de se rapprocher du rythme naturel de l'autre. Nous avons réutilisé ce modèle dans nos expériences afin de voir si la synchronisation avec l'enfant permettait une plus grande concentration de l'enfant (Voir section III. résultats et observations).

3. Fonctionnement

3.1 Flot optique

La mesure du flot optique ω est une étape de traitement de l'image dite de bas niveau. Cette mesure est indispensable dans l'étape de synchronisation du robot NAO. Le flot optique est défini comme le champ de vitesse décrivant le mouvement apparent des motifs d'intensité de l'image sous la forme d'un champ de vecteur.

Tout d'abord, on part de l'hypothèse que l'intensité d'un point image est indépendante du temps. Cela signifie que quel que soit le déplacement d'un point sur l'image au court du temps, son intensité ne change jamais.

Soit la fonction intensité $I(x, y, t)$ qui calcule la valeur de l'intensité d'un pixel de coordonnées (x, y) à un instant t . On a alors

$$I(x, y, t) = I(x + \Delta x, y + \Delta y, t + \Delta t)$$

Cela implique donc que la dérivée particulière de la fonction intensité $I(x, y, t)$ le long du flot optique est nulle, soit

$$\frac{\partial I}{\partial x} \cdot \frac{dx}{dt} + \frac{\partial I}{\partial y} \cdot \frac{dy}{dt} + \frac{\partial I}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

Cependant, cette contrainte est insuffisante pour déterminer le flot optique ω car on dispose d'une seule équation linéaire pour deux inconnues. On est donc en présence de trop de solutions possibles pour évaluer la solution réelle, il faut donc ajouter une autre contrainte. Nous avons utilisé la méthode de Lucas et Kanade qui est une approche locale différentielle pour l'extraction du flot optique. Son hypothèse est que le flot optique est localement constant sur un voisinage spatial. Cette méthode permet donc de déterminer le placement d'un pixel à partir de l'information des pixels voisins. Ce qui nous donne

$$\frac{\delta^2 u}{\delta x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} = 0 \quad (2)$$

Au final, on a $(1) + \alpha(2) = 0$ et l'on peut alors trouver la matrice de vecteur vitesse comme on peut le voir sur l'image ci-dessous.

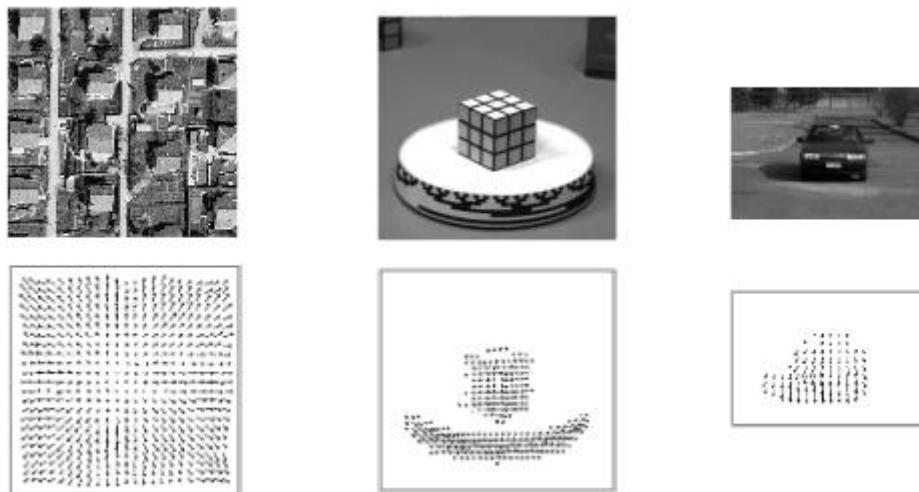
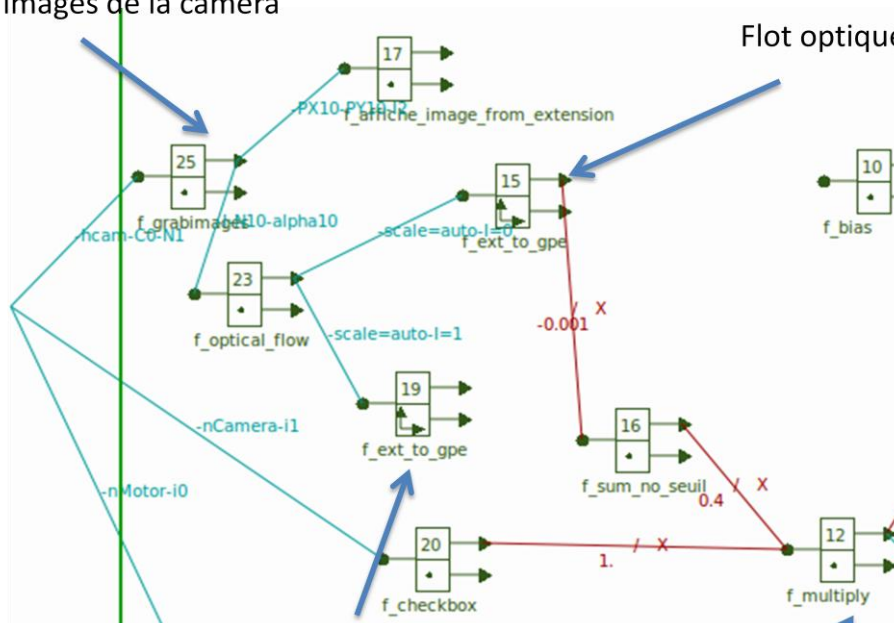


Figure 3 Flot optique : champs de vecteurs associés au mouvement de l'image

Sous Prométhée, une fonction permettant de calculer le flot optique a déjà été développée par les membres d'Etis. Il s'agit de la fonction `f_optical_flow` que vous pouvez voir sur l'image ci-dessous

Fonction qui récupère
les images de la caméra

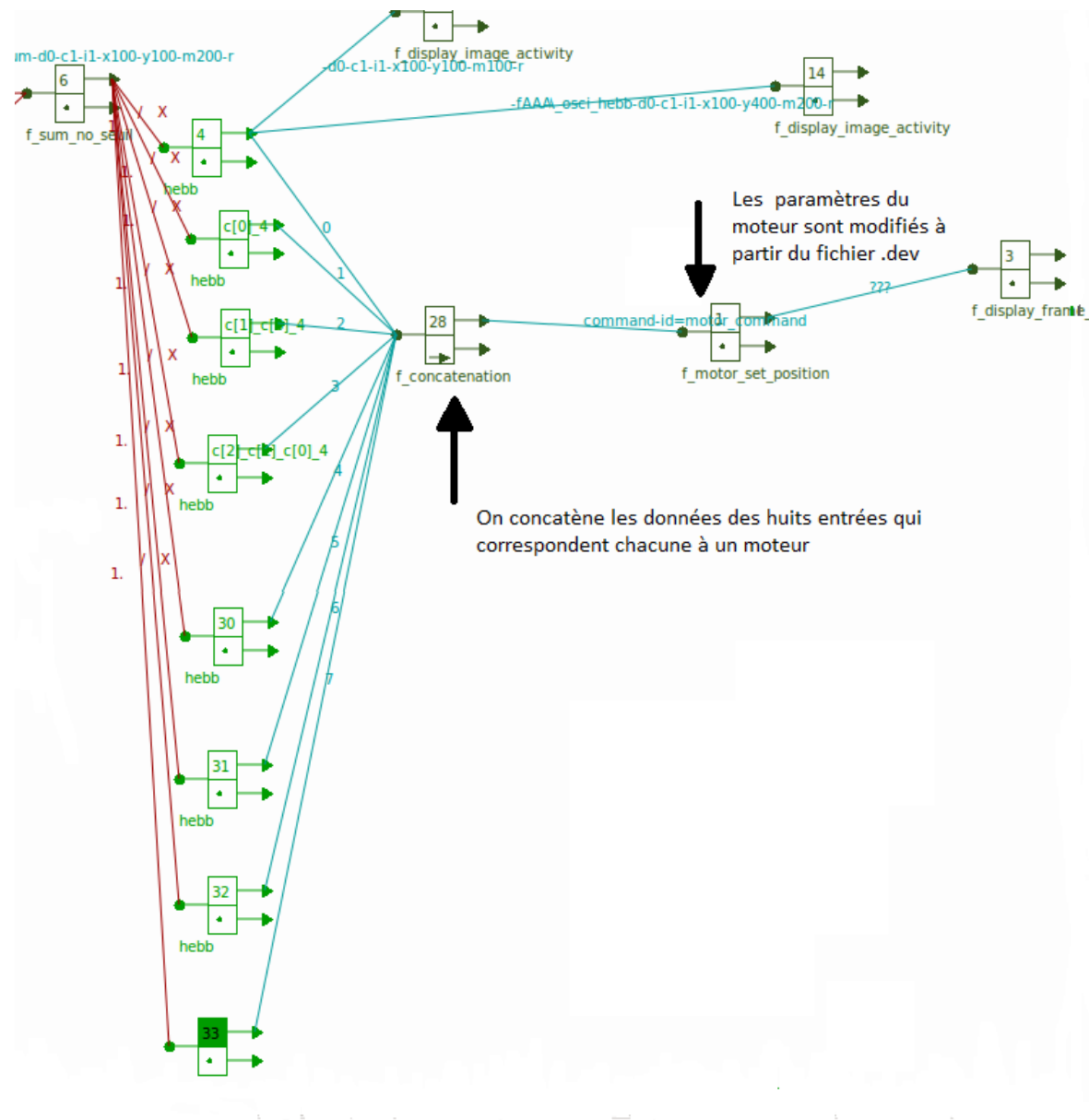


Flot optique vertical

Envoie la matrice image
au réseau de neurone

Figure 4 Calcul du flot optique sous Prométhée

3.2 Contrôle moteur



Le contrôle moteur est la partie du programme qui gère les déplacements et les rotations des différentes articulations moteurs du robot. De plus, le rythme du déplacement est défini, cette information est transmise dans les neurones correspondant aux moteurs. Les données des positions sont définies dans le fichier .dev. Celui-ci est précisé lors de l'exécution. C'est ce fichier qui va faire la distinction entre chaque mouvement. Au niveau des fichiers coeos (script) , ceux qui définissent le réseau de neurones.

Les fichiers .dev définissent le moteur_commande qui est appelé dans le réseau de neurones.

```
<device id="motor_command" bus="output">

<motor type="urbi" name="RShoulderRoll" position_0="-0.5"
position_1="-0.5" />
<motor type="urbi" name="LShoulderRoll" position_0="0.5"
position_1="0.5" />
<motor type="urbi" name="RShoulderPitch" position_0="-1"
position_1="1" />
<motor type="urbi" name="LShoulderPitch" position_0="-1"
position_1="1" />
<motor type="urbi" name="RElbowRoll" position_0="0" position_1="0"
/>
<motor type="urbi" name="LElbowRoll" position_0="0" position_1="0"
/>
<motor type="urbi" name="LElbowYaw" position_0="-0.5" position_1="-
0.5" />
<motor type="urbi" name="RElbowYaw" position_0="0.5"
position_1="0.5" />
</device>
```

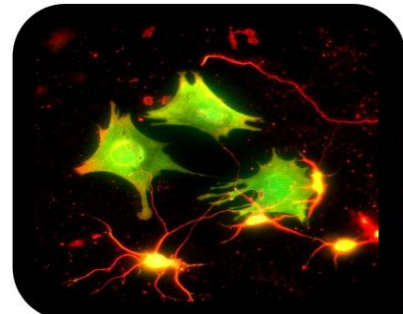
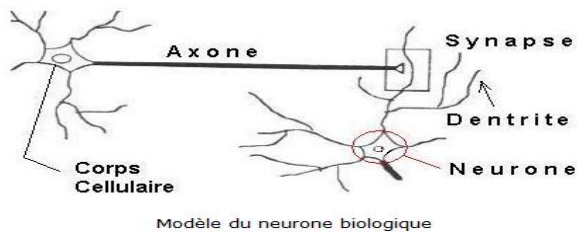
Extrait de fichier .dev

Ci- dessus, nous pouvons voir un exemple de moteur_commande. Il y est défini les différents moteurs identifiés par leur nom (par exemple, RShoulderRoll : correspond à l'articulation verticale de l'épaule droite) ainsi que la position initiale et finale du mouvement.

Lors des premiers essais, nous avons défini les positions pour les moteurs utilisés pour le déplacement, cependant entre chaque mouvement certaines positions de moteur n'étaient pas identiques. Nous avons alors redéfini les positions pour chaque moteur des bras pour chaque geste, des positions mobiles pour les moteurs utilisés (de 0.5 à 1 par exemple), et des positions fixes pour d'autres (de 0.5 à 0.5 par exemple) .

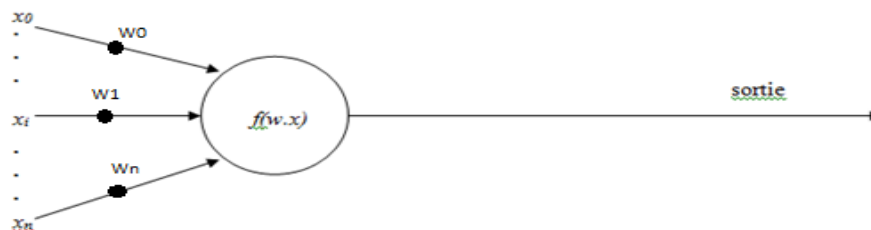
3.3 Réseau de neurone

a. Neurone biologique



Les neurones sont considérés comme le support physique de l'intelligence. C'est une cellule du système nerveux spécialisée dans la communication et le traitement d'informations. Les neurones sont reliés entre eux via des synapses. Ils peuvent ainsi échanger des informations via des influx nerveux, des sortes de "courants électriques", qui passent de neurones en neurones, et se propagent à travers tout le système nerveux. Ces influx nerveux sont ensuite traités par les neurones.

b. Neurone artificiel

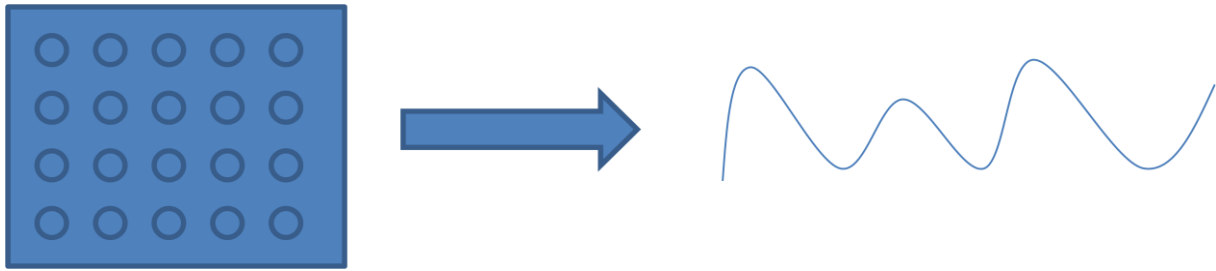


De la même manière, afin de faire le lien entre les différentes parties du programme, il est nécessaire d'utiliser un « réseau de neurone ». Un neurone artificiel est construit sur le même schéma que les neurones naturels. Ils sont capables de mémoriser des fonctions booléennes. Massivement parallèles, ces neurones sont capables d'apprendre, de mémoriser et de traiter de l'information. Ils permettent l'approximation d'une fonction.

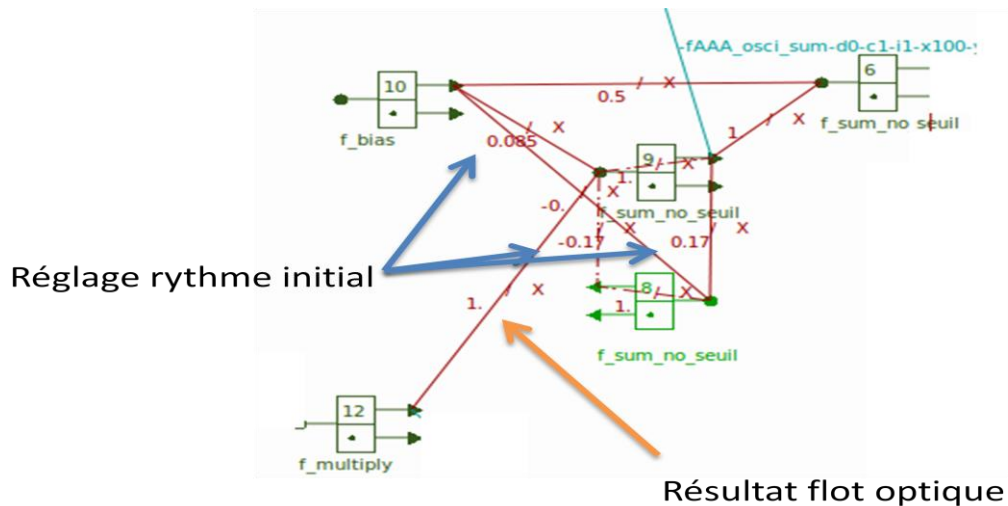
Les entrées x_0 à x_n constituent le vecteur d'entrée x . La fonction f est appelée fonction d'activation du neurone. Chaque entrée x_i est pondérée par un poids w_i , ce sont les poids des entrées qui vont permettre au neurone d'apprendre et de modifier sa sortie au fur et à mesure de l'apprentissage. La sortie du neurone est $f(wx)$, où wx représente le produit scalaire du vecteur poids par le vecteur des entrées. La fonction d'activation prendra donc comme argument un scalaire qui sera une représentation des entrées x_i atténuées par leurs poids w_i . On peut utiliser n'importe quelle fonction prenant pour argument un scalaire comme fonction d'activation.

c. Réseau de neurones du projet

Le réseau de neurones fait le lien entre le flot optique et le contrôle moteur. Il récupère la matrice des vecteurs vitesses envoyés par le flot optique et le traduit en courbe qui représente le rythme. Il les envoie ensuite aux moteurs du robot.



Pour cela, on utilise un système d'oscillateur :

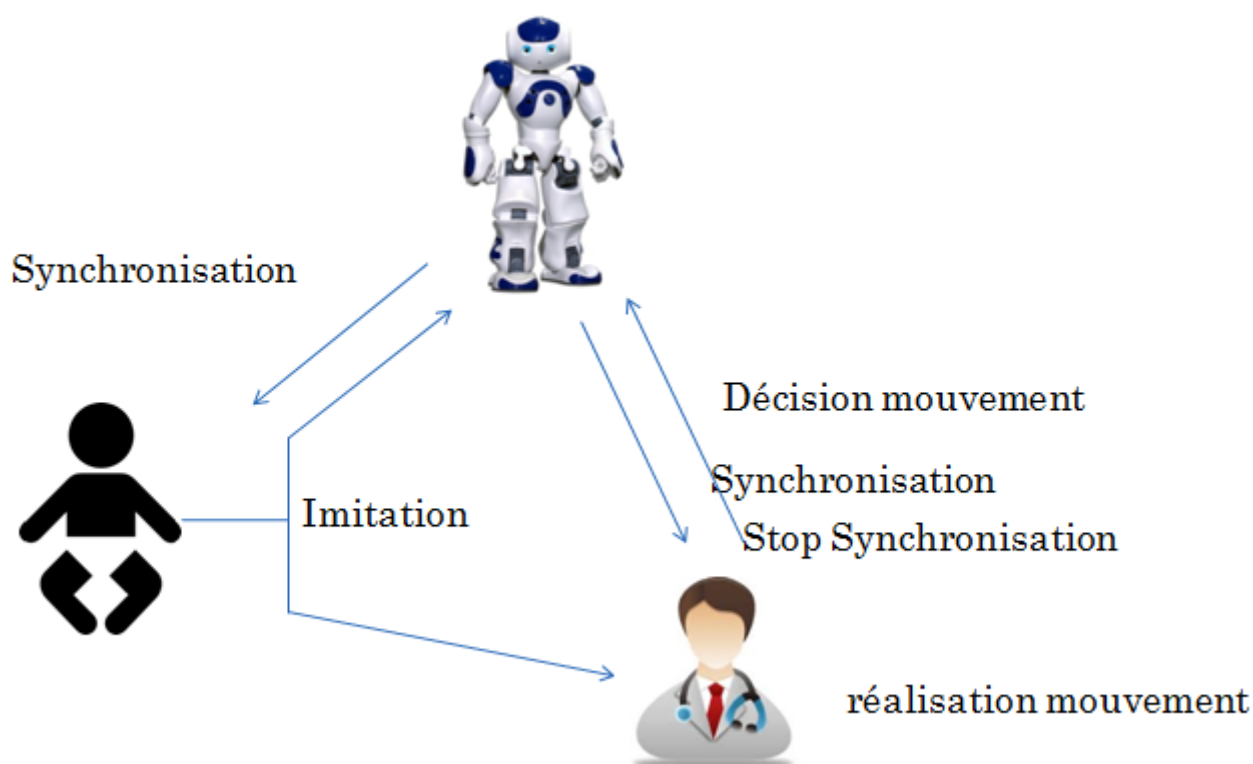


Grâce à un seuil de sensibilité on peut régler à quelle fréquence le robot effectue les gestes de façon initiale. Le programme va ensuite récupérer le résultat du flot optique et voir s'il doit augmenter ou diminuer son rythme pour se rapprocher du rythme lu. Il envoie ensuite ce nouveau rythme au contrôle moteur qui placera les nouvelles positions des moteurs.

Il est possible de régler le seuil de sensibilité. En effet, pour éviter que les changements de rythmes soient trop violents, on peut diminuer ce seuil, le robot mettra ainsi plus de temps à se synchroniser. Cela nous a en effet été utile afin de rendre ce changement plus facile à accepter pour les enfants autistes.

4. Mise en pratique

4.1 Système



Le système est composé du thérapeute, de l'enfant et du robot. Les gestes d'imitation à réaliser sont prédéfinis. En effet, les travaux précédents n'ont pas pour but que le robot puisse imiter. Le travail réel d'imitation est uniquement fait par l'enfant. Les différents gestes sont proposés par la télécommande que le thérapeute peut contrôler.

Le thérapeute commence par faire le geste et demande à l'enfant de l'imiter, le robot commence à faire le geste lorsqu'il est actionné par le thérapeute via la télécommande. En cas d'imitation de l'enfant, le robot peut alors se synchroniser avec l'enfant.

Le projet s'est fait en 4 séances. La première séance est uniquement pour que l'enfant se familiarise avec le robot, le thérapeute demande à l'enfant de l'imiter en présence du robot qui reste inactif durant la séance.

Lors de la seconde séance, le robot devient actif et fait les gestes du thérapeute mais on ne met pas en place la synchronisation. Les enfants ont semblé être intéressés par le robot mais ne restaient généralement pas concentrer longtemps.

Lors des deux dernières séances, on met le système en place dans son intégralité. Le robot se synchronise cette fois-ci avec l'enfant. A la différence de la seconde séance, le robot pouvait dire « imite moi » et les lumières étaient actionnées pendant les mouvements. Ces modifications ont permis d'attirer davantage l'attention des enfants. En ce qui concerne la synchronisation, elle n'a été

efficace que pour un enfant car les autres imitaient les mouvements pendant une durée trop courte pour que la synchronisation puisse être faite.

4.2 Télécommande

a. IHM

Le fait de travailler avec des enfants autistes apportent certaines contraintes. Notamment le fait de ne pas pouvoir être présent dans la salle lors des expériences. Le thérapeute présent avec l'enfant n'ayant bien évidemment aucune connaissance informatique, il ne pouvait pas interagir avec le programme. Nous avons donc dû créer une interface graphique afin de rendre l'interaction homme-machine plus abordable.

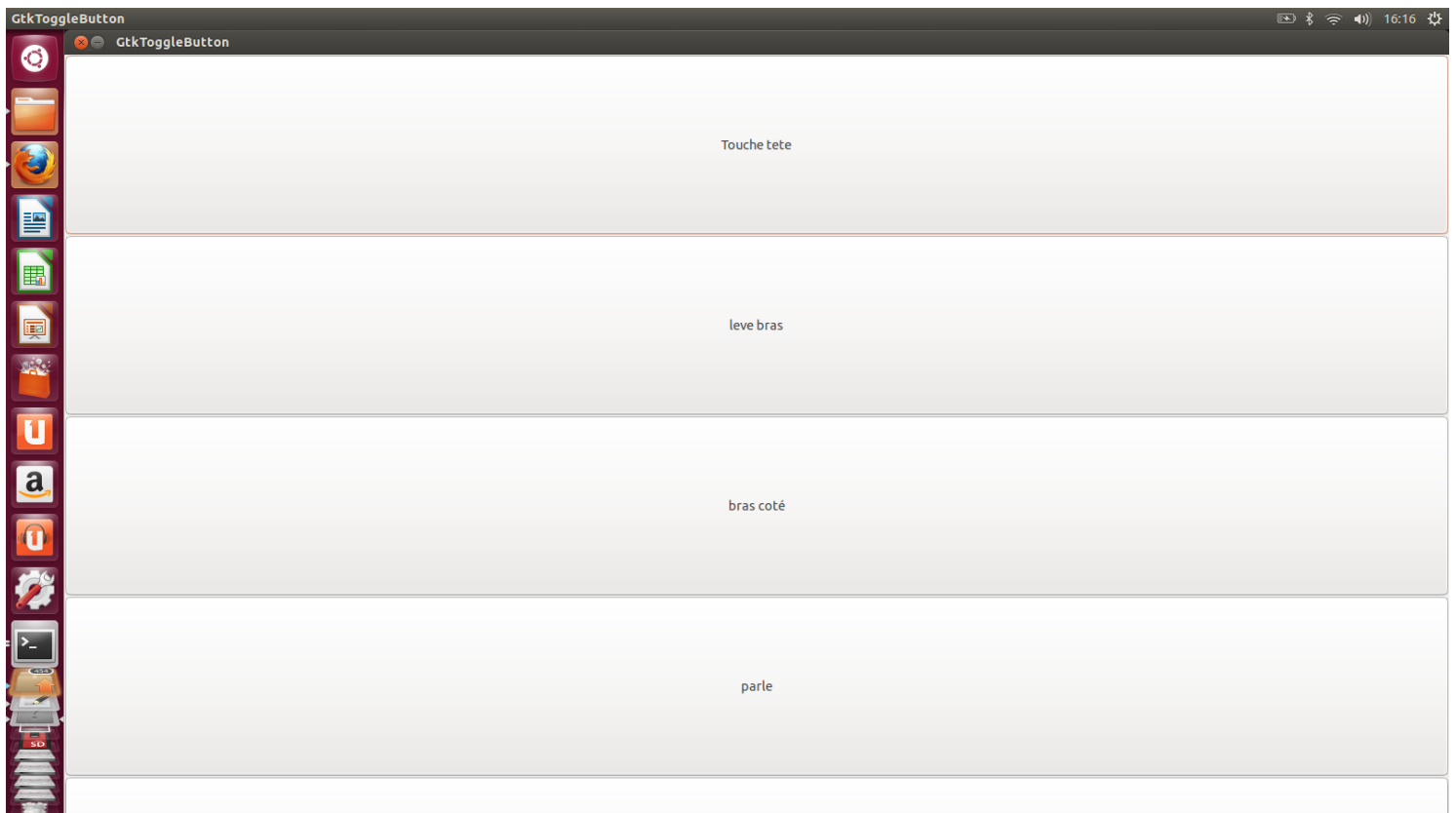


Image affichée sur l'écran de l'ordinateur

b. Connexion Ordinateur à distance

Un autre problème fut la distance avec la machine. En effet, le thérapeute a besoin d'être en contact avec l'enfant pour aider les interactions. Lui demander de rester près de l'ordinateur pour pouvoir changer les gestes du robot aurait été un facteur parasite trop important.

Nous avons donc dû trouver une solution pour palier ce problème. C'est pourquoi nous avons mis en place une télécommande afin de permettre l'interaction thérapeute-machine à distance.

Après avoir pensé à des techniques enseignées en cours comme arduino ou android, nous avons penché pour une solution adaptée à nos ressources, l'iPhone. En effet, tous les membres du groupe ayant un iPhone, c'était pour nous la seule solution possible et la plus simple pour les expériences.

Une recherche sur l'état de l'art quant à la communication iPhone-ubuntu nous a permis de trouver une technologie adaptée à nos besoins. En effet une application « Mocha VNC » nous permet de voir l'écran de l'ordinateur sur son téléphone et ainsi de pouvoir le contrôler (via l'écran tactile). Nous n'avions alors plus qu'à créer des boutons suffisamment gros sur l'écran de l'ordinateur pour qu'ils soient visibles et facilement manipulables sur le téléphone.

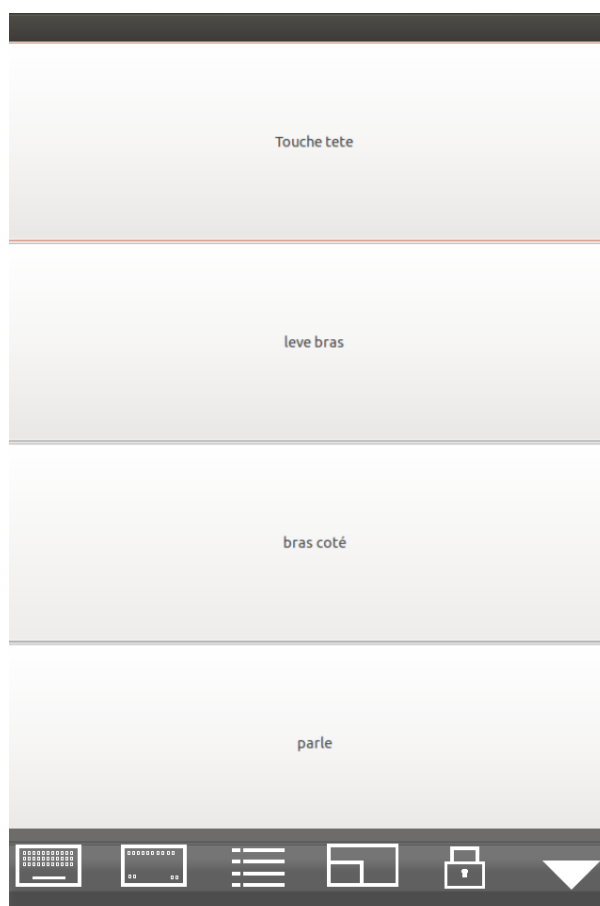


Image affichée sur l'écran du téléphone

c. Telecommande et Promethee

Afin de contrôler le robot, nous lançons un programme sous Prométhée qui donne les informations au robot sur les gestes à faire. Il a donc fallu que l'IHM lance ce script. C'est pourquoi nous avons créé l'IHM en C, langage qui permet le plus simplement de faire des commandes système. Le programme Prométhée étant trop compliqué et étendu pour que nous puissions modifier son fonctionnement global, nous n'avons pas pu faire un script qui écoute l'action de la télécommande pour modifier le mouvement du robot au sein même du processus. Nous avons donc dû pour chaque changement de mouvement, tuer le processus existant pour en recréer un nouveau. La solution bien que la plus simple reste lourde et se fait sentir sur le temps entre les gestes qui dure entre 1 et 2 secondes. Si nous avions eu plus de temps nous aurions pu trouver une solution plus performante en analysant le fonctionnement interne de Prométhée.

III. Résultats & observations

1.1 Présentation des enfants et commentaire des séances

a. Bastian



Photo de Bastian

Bastien, 12 ans, est l'ainé des enfants. En raison de son âge, Bastian n'a pas montré d'intérêt vis-à-vis du robot. Les interactions qu'il a eues avec le robot ont été brèves et souvent brutales. Il est apparu que le seul intérêt qu'il avait pour NAO était sa tentative de destruction ce qui a vite mis fin aux expériences.

On peut expliquer le désintérêt de Bastian par la taille du robot. Il ne peut pas s'identifier facilement au robot comme les autres enfants car la taille de NAO est trop petite par rapport à la sienne.

Les séances avec NAO nous ont semblé peu concluantes. En effet, Bastian n'a pas fait d'imitation, que ce soit du robot ou d'Isabelle.

b. Adrien



Photo d'Adrien

Adrien a 4 ans, il est le plus jeune des enfants. Il est plutôt calme et attentif. Il s'est peu intéressé à NAO mais il a réussi à imiter les gestes à plusieurs reprises.

Adrien n'a pas été distrait par les câbles et la camera. En revanche, il ne portait pas plus son attention sur le robot.

Cependant, nous avons constaté une amélioration au niveau de l'imitation.

c. Mathieu

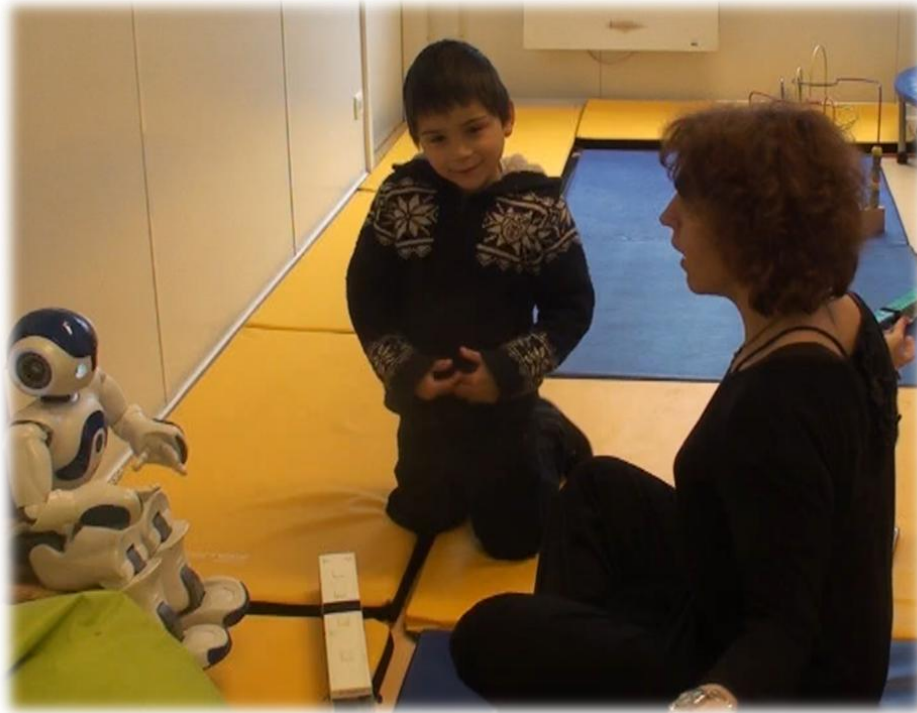


Photo de Mathieu

Mathieu a 8 ans. Il est curieux et montre un intérêt certain pour le petit robot. Nous avons pu voir qu'il était distrait par les câbles et les caméras et avait tendance à toucher NAO parfois violemment. Mathieu s'est avéré le plus intéressé par le robot. On pouvait voir son enthousiasme à chaque nouveauté (les lumières, le fait que NAO parle).

Au fil des séances, Mathieu était de plus en plus intéressé par NAO et imitait plus longtemps les gestes. Les résultats ont été plutôt positifs pour Mathieu.

d. Alexandre



Photo Alexandre

Alexandre a 5 ans. On a constaté tout au long de la séance un déficit d'attention flagrant. Il n'a pas été très curieux par rapport à NAO.

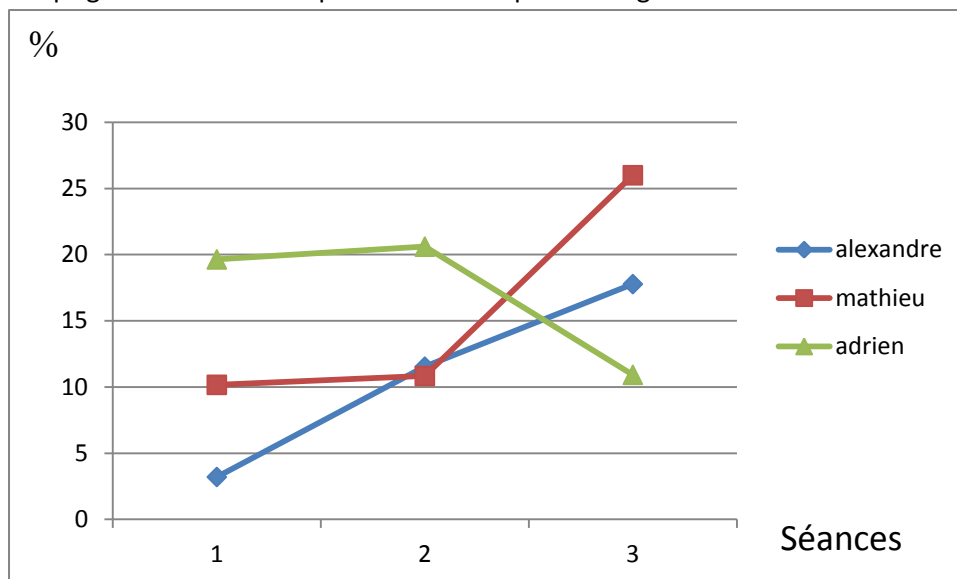
Lors des imitations, il refait le geste lorsque le thérapeute lui demande d'imiter mais lorsqu'elle lui demandait d'imiter NAO, il imite seulement la forme de ses doigts. En effet, NAO n'a que 3 doigts ce qui semble être la seule chose qu'Alexandre a remarquée. Il ne voit pas NAO comme un tout, comme un humanoïde qui lui ressemble mais plus comme une série de détails qui l'intrigue.

Les résultats n'ont pas été très concluants avec Alexandre car il ne comprend pas NAO. Il est pourtant plutôt concentré et réactif lorsqu'il s'agit d'imiter un humain. Nous avons tout de même constaté une légère amélioration de l'imitation au fil des séances.

1.2 Les données

Après avoir analysé les vidéos des différentes séances avec les enfants, nous avons pu en extraire des données. Pour la majorité des graphiques suivants, nous n'avons pas inclus les résultats de Bastian, 12 ans, puisqu'il n'a pas du tout adhéré au système et a refusé de participer au travail d'imitation.

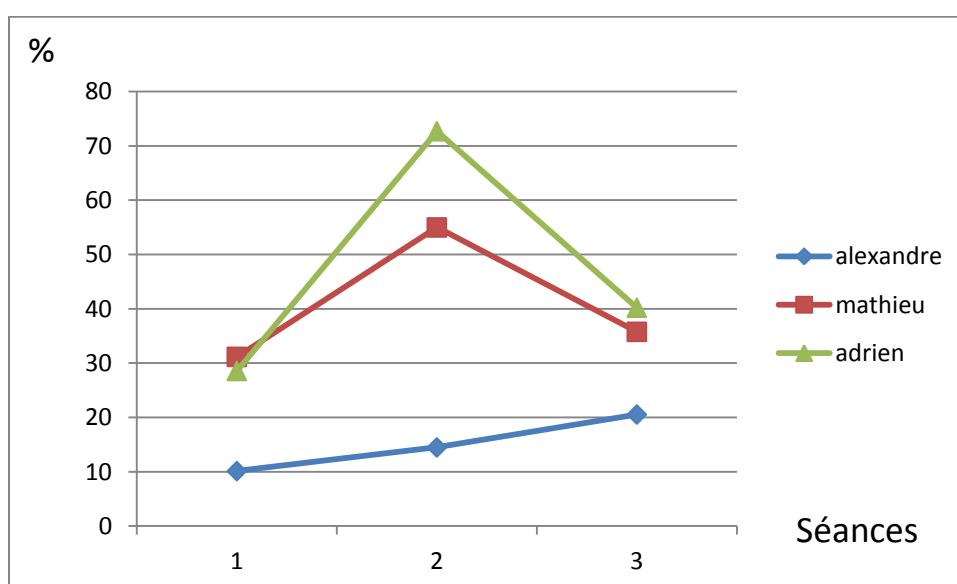
Tout d'abord, nous avons calculé le temps d'intérêt des enfants vis-à-vis du robot. Pour cela nous avons compté les regards, interactions envers lui et nous avons comparé ce chiffre au temps global de la séance pour en tirer un pourcentage d'attention.



Intérêt robot par séance

On peut voir que pour la majorité plus les séances passent plus l'intérêt pour le robot grandit. Plusieurs explications à ce phénomène sont possibles. Tout d'abord le fait de l'ajout des lumières et de la parole au fur et à mesure des séances mais aussi le dépouillement de la salle qui rend le robot un des rares « jouets » intéressants. Il est possible aussi que petit à petit les enfants s'habituent à la présence du robot et ne le considère plus comme une menace potentielle.

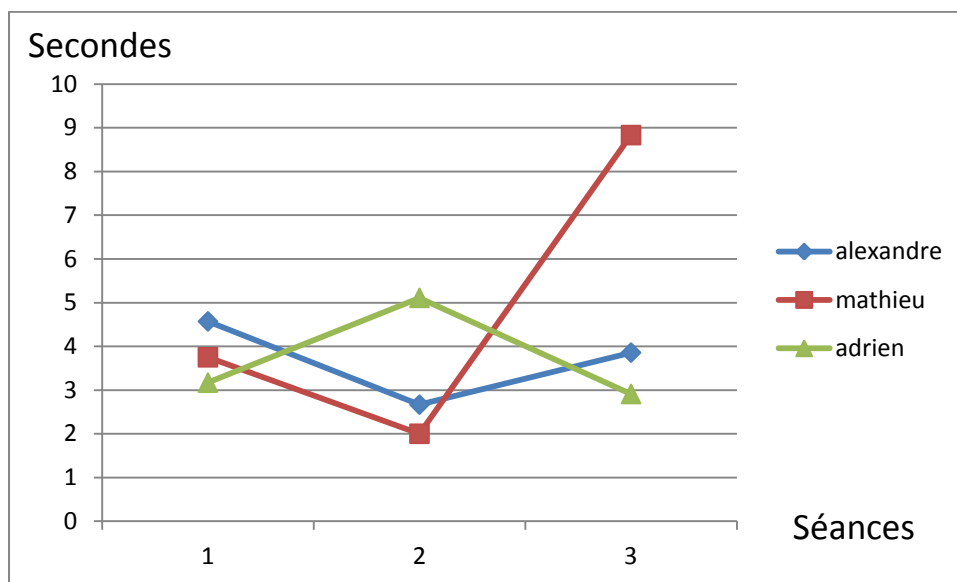
Par la suite, nous avons calculé le temps d'attention global (Anvers le robot ou la thérapeute) par séance.



Attention global par séance

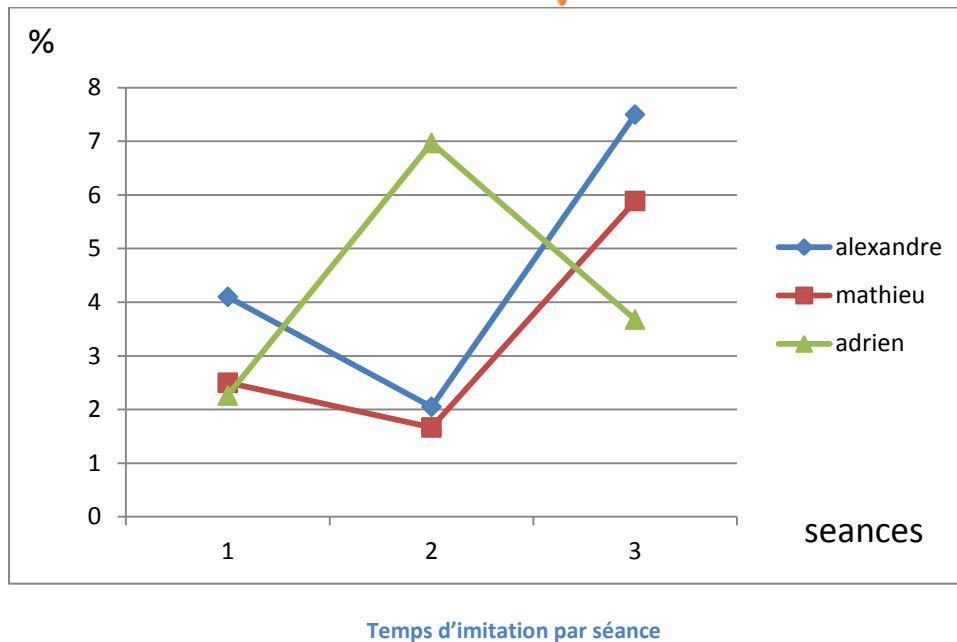
La deuxième séance à l'air d'être la plus productive pour les enfants. La raison est certainement qu'ils ont suffisamment accepté le robot sans toutefois s'en être lassés. Pour d'éventuelles futures recherches, il serait intéressant de laisser plus de temps entre les séances voire d'intercaler des séances sans robot pour rétablir le plaisir de revoir le robot.

Nous avons alors calculé le temps de concentration moyen pour une imitation par séance.

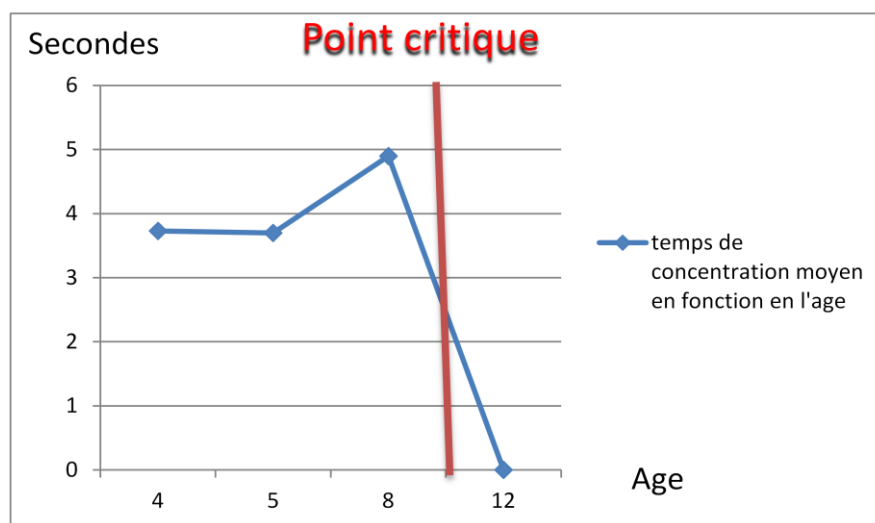


Temps concentration moyen pour une imitation par séance

On peut voir que le temps de concentration moyen des enfants pour une imitation est compris entre 1 et 5 secondes. Temps trop court pour réellement tester l'impact de la synchronisation du robot. Cependant on peut voir une amélioration du temps de concentration moyen entre la deuxième et la troisième séance. Amélioration que l'on retrouve pour le temps d'imitation par séance. On peut donc espérer l'évolution croissante de ce pourcentage pour d'éventuelles futures séances.



Nous avons ensuite comparé le temps de concentration moyen des enfants en fonction de l'âge.



Temps concentration moyen par séance en fonction de l'âge

On peut remarquer que, plus l'âge augmente, plus le temps de concentration moyen augmente. Cependant, Bastian, 12 ans, a complètement rejeté le système et NAO. Nous pensons donc qu'il existe un point critique situé entre 8 et 12 ans au-delà duquel l'enfant n'est pas réceptif. L'âge idéal pour de futures recherches est donc situé à peu près entre 5 et 9 ans.

En conclusion, nous pouvons voir que malgré d'évidentes différences liées au spectre autistique, un temps d'adaptation au robot est nécessaire pour voir de réels résultats. Par la suite, le temps d'imitation par séance et le temps de concentration moyen semblent augmenter ce qui laisse un

espoir pour de futures recherches. Il semble cependant nécessaire de laisser un temps suffisant entre chaque séances afin d'éviter que les enfants se lassent. L'âge idéal des enfants paraît être entre 5 et 9 ans. Il est cependant clair que certains enfant ont un vrai intérêt pour le robot ce qui nous ouvre des portes pour de futures recherches.

Il est cependant nécessaire de préciser qu'un nombre infini de paramètres rentrent en compte. De plus le temps de recherche et le nombre de séance est trop court pour donner des conclusions précises mais seulement des pistes de réflexions pour le futur.

1.3 Problèmes rencontrés

a. Planning

La difficulté rencontrée au niveau du planning a été de réunir thérapeute, les enfants, les membres d'Etis et nous- même. En effet, chacun de nous avions des emplois du temps chargé et il fallait être disponible au même moment.

De plus, nous n'avions que 8 mois pour rassembler les personnes, mettre en place le projet et faire les expérimentations. Ayant 4 enfants et nécessitant plusieurs séances, notre projet devait être fini suffisamment à l'avance pour pouvoir effectuer toutes les expériences avant le rendu du projet.

Heureusement, la présidente de l'association c'est arrangé pour rassembler tous les enfants les mêmes jours (ceux-ci arrivant les uns après les autres à des heures définies) afin de nous éviter de venir plusieurs jours et de refaire toute l'installation pour chaque enfant.

b. Lié à l'autisme

Le principal problème vis-à-vis de l'autisme a été le comportement des enfants avec le robot et le matériel. En effet, certains enfants étaient attirés par les câbles ou la caméra. L'enfant déviait donc son attention du robot, et parfois s'amusait à toucher le matériel ce qui provoquait parfois l'arrêt ou le dysfonctionnement du système.

En ce qui concerne le robot, certains enfants avaient tendance à toucher le robot et parfois à être brusque avec lui. Il a donc fallu répéter à plusieurs reprises à l'enfant que le robot était fragile et qu'il ne fallait pas le toucher. Nous avons transmis aux enfants l'idée que le robot était malade, c'est pourquoi il restait assis et il ne pouvait pas se déplacer.

c. Lié au thérapeute

Le système est composé d'un thérapeute, du robot et de l'enfant. Il fallait pour cela que le thérapeute connaisse l'enfant afin de faciliter la confiance de celui-ci et donc la mise en place du système. Lors des réunions, nous avions prévu qu'il y aurait un thérapeute lors des séances.—Cela s'avéra cependant impossible. C'est donc

finalement Isabelle Roland, qui connaissait bien tous les enfants, qui a joué le rôle de thérapeute.

d. Lié à NAO

L'état du NAO de l'université ne nous a pas facilité la tâche puisqu'il devait être alimenté constamment et donc branché à un générateur. La présence des câbles supplémentaires pouvant attirer l'attention de l'enfant a, là aussi, posé problème.

De plus, NAO était limité au niveau des mouvements puisque ses jambes ne pouvaient pas bouger et qu'il devait rester assis sur une chaise. Cela nous a limité lors des choix de gestes. En ce qui concerne les mouvements des bras, certains nous ont aussi posé problème. L'initialisation d'une position pouvant être brusque, NAO avait tendance à tomber de la chaise. Nous avons donc dû le maintenir à la chaise avec un fil. La préhension a aussi été un problème, beaucoup de gestes consistant à tenir un objet tel qu'une maracas ou une poupée. Il était difficile de concevoir cela avec le robot.

e. Lié au projet

Le principal inconvénient est que nous ne pouvions pas nous connecter à NAO par wifi à l'association. Celle-ci n'en disposant pas. Il a donc fallu se connecter via un câble Ethernet. Cela entraînait donc, en plus de l'alimentation du matériel, l'ajout d'un fil dans le système.

Conclusion

Au terme de ces 8 mois de PFE nous avons donc rassemblé un certain nombre de personnes aux connaissances différentes mais au centre d'intérêt commun. C'est grâce à l'enthousiasme de tous que nous avons apporté notre maigre contribution à la recherche pour l'autisme. Grâce aux moyens apportés par les différentes parties du projet nous avons pu réaliser notre modèle pour des expériences avec des enfants autistes. Cependant, le temps étant compté, un nombre trop faible de séance a pu être réalisé ce qui ne nous a pas permis de tirer de réelles conclusions quant à l'amélioration des interactions sociales des enfants autistes. Cependant, l'intérêt du robot pour certains enfants et l'amélioration apparente des capacités d'imitation sur 2 séances peuvent faire penser à une issue positive d'une étude plus approfondie. Les expériences ont notamment permis de mettre en évidence quelques nécessités pour obtenir des résultats, notamment l'âge des enfants, les lumières, la parole, l'espacement des séances... Il pourrait être intéressant de tenter l'expérience avec un robot beaucoup plus grand (Peut-être Roméo, l'autre robot d'Aldebaran Robotics) pour les enfants d'un certain âge (à partir de 10 ans environ).

Nous ne pouvons rien conclure sur l'intérêt de la synchronisation du robot sur l'enfant lors des phases d'imitations car les périodes d'imitations étaient de l'ordre de quelques petites secondes (< 5 secondes). Ce temps d'imitation est donc trop faible pour observer une synchronie du robot sur l'enfant autiste et donc une éventuelle augmentation du temps de concentration de l'enfant. Là encore, il serait intéressant de faire le même travail avec des enfants ayant déjà une capacité d'imitation suffisante pour tester l'augmentation éventuelle du temps de concentration.

Ayant conscience du peu de temps que nous avons pour réaliser ce projet qui demande des années de travail, notre réel but était de réaliser un pilote pour un futur projet de plus grande ampleur. En effet nous pensons avoir répondu à certaines questions qui permettront d'indiquer les voies à suivre pour ce futur projet. D'après nos informations, le centre de recherche ETIS continuera par la suite la collaboration avec l'association ensemble autisme 95 dans le but d'arriver à de réelles conclusions quant à l'évolution comportementale du spectre autistique grâce à la robotique. Des recherches avec le robot de l'entreprise LEKA pourront, elles, permettre de comparer nos résultats avec ceux pour un robot non-humanoïde et ainsi répondre à une de nos questions de recherche à savoir l'intérêt ou non d'utiliser un robot humanoïde.

BIBLIORAPHIE

<http://www.trop.uha.fr/pdf/cours-wira.pdf>

http://www.lirdef.univ-montp2.fr/cerfee/IMG/pdf/CERFEE_13_art_2.pdf

http://randy.royledoux.free.fr/JEU%20Emotion%20et%20cognition%20sociale/Articles%20Nadel/341_AUTISME.pdf

http://www.lirdef.univ-montp2.fr/cerfee/IMG/pdf/CERFEE_13_art_3.pdf

<http://www.cairn.info/article.php?REVUE=enfance&ANNEE=2008&NUMERO=2&PP=140>

<http://www.inserm.fr/thematiques/neurosciences-sciences-cognitives-neurologie-psychiatrie/dossiers-d-information/autisme>

<http://www.cmap.polytechnique.fr/~bernard/these/chap3-fr.pdf>

<http://www.cmap.polytechnique.fr/~bernard/FlotOptique/page1.html>

http://julien.marzat.free.fr/Publications/Stage_INRIA/JM_stage_inria.pdf

<http://www.gcg.ufjf.br/pub/doc1.pdf>