

REMERCIEMENTS	IV
ABRÉVIATIONS	V
RÉSUMÉ	VI
1 INTRODUCTION	1
1.1 CONTEXTE GÉNÉRAL	1
1.2 CYBERLEARN	1
1.3 PROBLÉMATIQUE	2
1.4 CADRE ACADEMIQUE	2
1.5 OBJECTIF DE L'ÉTUDE	2
1.6 PORTÉE ET LIMITES DE L'ÉTUDE	2
1.7 DÉROULEMENT DE L'ÉTUDE	4
2 MÉTHODOLOGIE	5
2.1 HYPOTHÈSE DE RECHERCHE	5
2.2 MÉTHODOLOGIE DE RECHERCHE	5
2.2.1 <i>Phase I – Analyse</i>	5
2.2.2 <i>Phase II – Développement</i>	5
2.2.3 <i>Phase III – Test sur panel d'utilisateurs</i>	6
2.2.4 <i>Phase IV – Analyse et synthèse des résultats</i>	6
2.3 REVUE DE LA LITTÉRATURE	6
3 ROBOTS HUMANOÏDES	9
3.1 ASIMO	10
3.2 ACTROID	12
3.3 KHR	13
3.4 WAKAMARU	14
3.5 HRP	14
3.6 ROBOSAPIEN	15
3.7 ICUB	17
3.8 UBTECH	18
3.8.1 <i>UBTech Lynx</i>	18
3.8.2 <i>UBTech Alpha 1 Pro</i>	19
3.9 PEPPER	20
3.10 SYNTHESE	21
4 NAO	22
4.1 SPECIFICATIONS DU MATERIEL	22
4.2 LANGUES SUPPORTÉES	23
4.3 DEVELOPPEMENT	24
4.3.1 <i>Choregraphe</i>	24
4.3.2 <i>NAOqi APIs</i>	25
4.3.3 <i>SDK</i>	26
4.3.4 <i>NAOqi Framework</i>	27
4.4 CAPACITÉS EMBARQUEES	28
4.5 APPLICATIONS EXISTANTES	31
5 LES EMOTIONS	33
5.1 ROLE DES EMOTIONS	37
5.2 MANIFESTATION DES EMOTIONS	38
5.2.1 <i>Voix</i>	38
5.2.2 <i>Gestuelle et mouvement</i>	44
5.2.3 <i>Colorisation des émotions</i>	48

5.3	LE ROLE DES EMOTIONS DANS L'APPRENTISSAGE	50
5.4	SYNTHESE	52
6	NAO ET ÉMOTIONS	54
6.1	MODULES D'ÉMOTIONS	54
6.2	ÉMOTIONS ET VOIX	57
6.3	ÉMOTIONS ET MOUVEMENTS	61
6.4	ÉMOTIONS ET COULEURS	63
7	CAS PRATIQUE	65
7.1	CHOIX DU CAS PRATIQUE	65
7.2	SCENARIO D'APPRENTISSAGE	65
7.3	CHOIX DE LA TECHNOLOGIE DE DEVELOPPEMENT	66
7.4	CREATION DU PROTOTYPE	67
7.4.1	<i>Définition précise du scénario orale</i>	67
7.4.2	<i>Reconnaissance vocale</i>	67
7.4.3	<i>Générations des émotions</i>	69
7.4.4	<i>Analyse de l'état émotionnel des sujets</i>	75
8	ENTRETIENS ET TEST DU PROTOTYPE	77
8.1	OBJECTIFS	77
8.2	APPROCHE QUALITATIVE	77
8.3	ÉCHANTILLON	77
8.4	DEROULEMENT DES ENTRETIENS	79
8.5	QUESTIONNAIRE	80
8.6	RESULTATS	81
8.7	SUIVI DE LA PROGRESSION	83
8.8	FEEDBACK SUR L'ETAT EMOTIONNEL	84
8.9	FEEDBACKS UNIQUES	85
8.10	SYNTHESE DES RESULTATS	85
9	SYNTHESE ET CONCLUSION	87
9.1	SYNTHÈSE GLOBALE	87
9.2	DIFFICULTÉS RENCONTRÉES	89
9.3	AMÉLIORATIONS POSSIBLES	90
9.4	PERSPECTIVES FUTURES	90
9.5	CONCLUSIONS	91
ATTESTATION	92	
LISTE DES FIGURES	93	
LISTE DES TABLEAUX	94	
RÉFÉRENCES	95	
ANNEXES	102	
DESCRIPTIF DU TRAVAIL DE MASTER	102	
PLANIFICATION PRÉVUE	104	
PLANIFICATION RÉALISÉE	105	
SCÉNARIO DU PROTOTYPE	106	
RÉSULTATS DES ENTRETIENS	119	
DONNÉES DE SUIVI DE LA PROGRESSION ET RECONNAISSANCE VOCALE	125	
CAS PRATIQUE	125	

Remerciements

Par la présente, je tiens à remercier les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail de Master.

Tout particulièrement, je tiens à remercier :

- Anne-Dominique Salamin, professeure responsable pour le suivi de ce TM, qui m'a accordé du temps pendant ce travail et beaucoup d'écoute au cours de ces mois
- Stéphanie Chappuis, ma fiancée, pour son soutien et ses nombreuses relectures
- Jocelyne et Jean-Marc Zufferey, mes parents, pour le temps passé à relire ce travail
- Les étudiants ayant accepté de m'accorder de leur temps

Abréviations

ASIMO	Advanced Step in Innovative MObility
CNRS	Centre National de la Recherche Scientifique
ENSLAB	Enhanced Student Laboratory of HES-SO Valais-Wallis, Switzerland
FSR	Force Sensitive Resistors
HES-SO	Haute École Spécialisé de Suisse occidentale
HRP	Humanoid Robotics Project
KAIST	Korean Advanced Institute of Science and Technology
KHR	KAIST Humanoid Robot
LMS	Learning Management System
MOOCs	Massive Open Online Courses (MOOCs)
SBR	SoftBank Robotics
SDK	Software Kit Development

Résumé

En 2006, la start-up française Aldebaran Robotics, rachetée entre temps par la société japonaise SoftBank Robotics, lance son projet de robot humanoïde dénommé NAO. Ce robot est principalement utilisé dans les secteurs de la recherche et de l'éducation, il l'est essentiellement au niveau primaire (SoftBank Robotics, 2019). Le petit robot de 58 centimètres de haut et aux origines françaises effectue également des tâches en tant qu'assistant d'accueil pour des entreprises et se charge d'accueillir des patients dans des centres médicaux. Truffés de capteurs en tout genre, NAO est capable nativement d'avoir des interactions basiques avec des interlocuteurs humains.

Pour l'heure, le robot reste peu utilisé dans le secteur éducatif tertiaire, mis à part dans le cadre de l'enseignement de la programmation. Cyberlearn, le centre e-learning des Hautes Écoles Supérieures de Suisse Occidentale (HES-SO), a acquis un modèle de ce robot et souhaite mesurer l'impact d'un tel robot sur l'apprentissage des étudiants. Dans cette optique, ce travail a pour but d'étudier l'hypothèse que les feedbacks émotionnels d'un robot, NAO, peuvent influencer sur la perception de l'apprentissage des étudiants au niveau tertiaire.

Dans un premier temps, un état de l'art, non-exhaustif, des robots existants a été réalisé permettant de concevoir l'évolution de cette technologie des années 1980 à ce jour. Il résulte que peu d'entre eux sont capables d'émettre des émotions nativement. Un certain nombre d'androïdes ont toutefois la capacité d'échanger avec un humain ou de l'assister dans différentes tâches du quotidien. Des études ont été menées afin de faire passer des émotions depuis des robots à leurs interlocuteurs ou de faire reconnaître des émotions via des humanoïdes aux humains (Beck, Hiolle, Mazel, & Cañamero, 2010) (Churamani , Cruz, Griffiths, & Barros, 2016).

Par la suite, la thèse évoque le concept de l'émotion. Elle la définit, la découvre à travers le temps et les théories, la caractérise avant de préciser les émotions primaires qui la composent. Joie, tristesse, colère, dégoût, surprise et peur. Il s'en suit une recherche en lien avec l'humain et la manière dont celui-ci a l'habitude, depuis si longtemps, de communiquer ses émotions (expressions faciles, gestes, voix et concordance avec les couleurs). Aux bénéfices de ces informations, l'étude s'oriente ensuite vers le robot NAO et la manière dont il est capable de ressentir l'état émotionnel de ses interlocuteurs. La manière dont le robot communique des émotions sera définie en s'appuyant sur les acquis précédemment évoqués.

Une fois cette correspondance, entre émotions humaines et implémentation de celles-ci dans le robot, réalisée, il est temps de créer un cas pratique. Ce prototype vise à vérifier l'hypothèse de recherche et consiste en un examen lors duquel le robot officie en tant que professeur-testeur. Il effectue des retours émotionnels auprès d'un échantillon de 10 personnes jouant, individuellement, le rôle d'étudiant-testé. Au terme d'une série de 15 questions et réponses, les sujets retrouvent leur ressenti face à cette situation d'évaluation.

Cette recherche exploratoire et qualitative a permis à son terme de relever que la perception d'apprentissage des étudiants était bien influencée par les feedbacks émotionnels du robot. Pendant l'exercice, les sujets ont reconnu se sentir motivés par les propos et les gestes du robot NAO. Au contraire, d'autres étudiants se sont dit démotivés par des remarques négatives ou peu encourageantes. Au terme du test du prototype, les cobayes ont démontré des émotions d'accomplissement : soulagement, honte, joie entre autres.

Au terme du présent document, des pistes de recherches sont proposées en lien avec le robot NAO dans le cadre de l'apprentissage étudiant et permettant d'approfondir ce côté émotionnel. Certaines limitations du robot ont été évoquées et des bémols sont formulés à l'encontre de la société SoftBank Robotics. Sans nul doute, les robots trouveront prochainement un espace dans les salles de classe et permettront de réviser, voire d'enseigner certaines matières aux étudiants.

Mots-clés : Robot humanoïde, NAO, émotions, interactions, université

1 Introduction

1.1 Contexte général

Constituée en 1998, la Haute École Spécialisée de Suisse occidentale (HES-SO) dénombre, selon son rapport annuel 2017, plus de 20'000 étudiants répartis à travers les sept cantons fondateurs et les 28 hautes écoles qui la composent. Acteur majeur de la formation au niveau tertiaire, elle compte plus de 60 filières parmi les domaines Design & Arts visuels, Économie & Services, Ingénierie & Architecture, Musique & Arts de la scène, Santé et finalement Travail social. L'institution de Suisse occidentale a pour mission de former des futurs diplômés avec des compétences aussi bien pratique qu'académique correspondant aux besoins du bassin professionnel helvétique. (HES-SO, 2018)

La HES-SO, dans son plan d'intentions courant de 2015 à 2020, évoque l'évolution des méthodologies d'apprentissage. Elle rappelle aussi son attachement pour les technologies dans les formations qu'elle a pu intégrer grâce à l'aide de son centre e-learning Cyberlearn. Ce plan quinquennal relève le développement des Massive Open Online Courses (MOOCs) et confirme cette vision innovante qui « conduit la réflexion pédagogique à franchir une nouvelle étape dans l'utilisation des technologies de l'information et de la communication dans l'enseignement ». (HES-SO, 2015)

1.2 Cyberlearn

Le centre e-learning de la HES-SO, Cyberlearn officie depuis plus de 15 ans comme appui à la formation numérique dans le panorama de l'institution de Suisse occidentale. Cyberlearn s'est forgé une excellente expérience dans le domaine de l'exploitation de *Learning Management System* (LMS). Il administre la plateforme Moodle (LMS) de la HES-SO qui dénombrait au mois d'avril 2019 plus de 9'000 cours et 27'800 utilisateurs inscrits.

Depuis 2016, le centre a mis en place et gère une plateforme de MOOCs (moocs.hes-so.ch) basée sur Moodle. Diverses formations, dont une payante et certifiante, dans les domaines dispensés par l'institution suisse romande sont proposées :

- « Initiation à la bande dessinée pour tous » en collaboration avec l'HEAD Genève,
- « Petite méthode de communication orale à l'usage des gens stressés » en collaboration avec l'HES-SO Valais/Wallis,
- « Au cœur de l'hypertension artérielle » en collaboration avec l'HEdS de Genève,
- « CAS en Finance durable » en collaboration avec l'HEG de Genève.

Outre la formation en ligne, Cyberlearn est également actif dans les domaines de la réalité virtuelle et augmentée. Il ambitionne « de mesurer les bénéfices que ces technologies peuvent apporter à l'apprentissage traditionnel. (Cyberlearn, 2019) »

Courant 2015, le centre e-learning de la HES-SO fonde Enhanced Student Laboratory of HES-SO Valais-Wallis, Switzerland (ENSLAB) et se dirige vers la recherche et l'innovation dans le domaine de la formation. Ce laboratoire a pour but d'analyser les interactions des étudiants et des technologies innovantes dans les situations d'apprentissage (ENSLAB, 2015).

1.3 Problématique

Cyberlearn oriente ses recherches dans le domaine de l'apprentissage lié aux nouvelles technologies. Dans ce cadre, le centre e-learning a acquis le robot NAO afin de mesurer l'impact d'un tel robot sur l'apprentissage étudiant.

Par la réalisation de ce travail de Master (TM), il est souhaité définir si le robot NAO est capable d'adapter dynamiquement son retour émotionnel aux réponses formulées par un étudiant. En complément, l'impact de cette adaptation sur la capacité d'apprentissage de l'étudiant sera mesuré.

1.4 Cadre académique

Ce TM est rédigé dans le cadre de la fin du cursus du Master of Science HES-SO en Business Administration orientation Management des Systèmes de l'Information. Ce travail de recherche équivaut à 15 crédits ECTS, soit 450 heures de travail. La réalisation du projet débute le 21 mars et s'achève cinq mois plus tard le 22 août 2019. Le TM est un travail individuel de recherche appliquée et de développement. Il vise à montrer que l'étudiant maîtrise les connaissances acquises lors son parcours et qu'il est à même de les mettre en pratique pour analyser et résoudre un problème pratique. (HES-SO, 2017)

Cette thèse est effectuée sur demande du centre e-learning de la HES-SO, Cyberlearn. Le centre a acquis dans le courant du premier semestre 2019 le robot NAO du fabricant SoftBank Robotics. Dans ce cadre, il est demandé de réaliser le développement d'un prototype d'apprentissage mêlant robot et humain.

1.5 Objectif de l'étude

Cette thèse de fin de Master a pour objectif de déterminer comment, et si le robot NAO peut adapter son feedback émotionnel en cours d'exécution face aux comportements et aux réponses émises par l'utilisateur qui lui fait face. En complément, il s'agit de mesurer l'impact de cette adaptation sur la capacité d'apprentissage de l'étudiant. Dans le but de remplir cet objectif général, les étapes suivantes doivent nécessairement être réalisées :

- Prendre en main le robot NAO,
- Effectuer un état de l'art des feedbacks émotionnels exécutables par le robot NAO,
- Développer le prototype d'apprentissage de vocabulaire technique,
- Tester le prototype sur un échantillon d'étudiants,
- Analyser les résultats, discuter les résultats.

1.6 Portée et limites de l'étude

Ce travail a pour but d'affirmer ou d'infirmer que les feedbacks émotionnels du robot NAO peuvent influer la perception de l'apprentissage des étudiants. Dans une première démarche, ce travail va porter sur les premiers robots humanoïdes apparus, puis ceux se rapprochant du robot NAO au centre de cette recherche. Il y sera question des capacités de ces robots ainsi

que leurs publics cibles. Ces premières approches permettront de comprendre dans quel environnement sont apparus ces robots.

Dans la continuité, la recherche détaille l'histoire et, en outre, les capacités et les compétences de base du robot NAO. Il y sera également précisé les moyens de programmer et d'utiliser ce robot. Pour compléter la partie programmation, une présentation du kit de développement sera évoquée.

Par la suite, la thèse va plus concrètement se diriger vers la question de recherche. Il sera question de définir à l'échelle humaine ce que sont des émotions, leur provenance et leur identité. Il s'agira en outre de déterminer les moyens de les communiquer. Cette partie de recherche va amener à étudier par quel(s) biais le robot NAO est susceptible d'exprimer ces émotions. Dans la continuité, il s'agira de déterminer s'il est possible de générer un feedback émotionnel au travers d'un robot NAO et de parvenir à les générer.

L'une des limites de ce projet réside dans le fait que l'acteur principal de ce projet est un robot. Dès lors, il ne peut émettre des émotions aussi spontanément qu'un humain. Il s'agira de parvenir à retranscrire le plus justement possible les émotions. Autre contrainte, au terme du développement, la solution sera testée sur un panel d'étudiants qui devra être représentatif de la HES-SO. Le prototype sera testé lors d'un entretien entre humain et machine sous forme de questions-réponses. Il s'agira de construire un questionnaire réalisable autant par une étudiante en architecture que par un étudiant en soins infirmiers.

1.7 Déroulement de l'étude

Ce travail est réalisé en plusieurs étapes distinctes qui permettront une progression continue et notamment d'atteindre et réaliser les objectifs définis en amont du travail. En annexe du présent document se trouve la planification structurant de cette thèse. Ci-après sont présentées succinctement les phases conduites :

Tableau 1 Descriptif des phases du projet

Phase	Titre	Description
1	Introduction	Phase permettant la mise en place du travail d'un point de vue administratif ainsi que la prise en main du sujet par une phase de lectures diverses.
2	Méthodologie	Cette seconde étape mène à la définition de la manière dont est réalisé le travail sous un œil scientifique. La question de recherche, l'hypothèse ainsi que la méthodologie de recherche qui entourent le travail lors de son exécution sont établies.
3	Analyse	Cette phase consiste à procéder à une analyse détaillée du robot NAO et des émotions liées à l'humanoïde.
4	Développement	Cette partie d'implémentation permet l'élaboration du prototype en se basant sur les connaissances acquises dans les phases antérieures.
5	Entretiens & Évaluations	La phase d'entretiens et d'évaluations permet de collecter des données en expérimentant le prototype précédemment développé sur une panel d'étudiants.
6	Synthèse & Conclusion	La dernière phase de l'étude permet de valider ou d'invalider l'hypothèse en se basant sur les données collectées préalablement.
(7)	Administratif	Étape qui se déroule tout au long du projet : rédaction de la thèse et points administratifs divers

Source : de l'auteur

2 Méthodologie

La méthodologie de recherche formulée ci-après permettra la pleine exécution de ce projet. En premier lieu, il s'agit d'émettre l'hypothèse de recherche qui servira de fil conducteur tout au long de la réalisation de ce travail.

2.1 Hypothèse de recherche

L'hypothèse de recherche est formulée comme suit :

« Les feedbacks émotionnels du robot NAO influent la perception de l'apprentissage des étudiant-e-s »

Au travers de cette hypothèse, il est cherché à établir la relation de cause à effet entre les retours émotionnels émis par le robot NAO lors d'une évaluation et le sentiment d'apprentissage des étudiants. Toutefois cette hypothèse se limite à un cadre spécifique, seuls des étudiants évoluant à un niveau universitaire (tertiaire) seront consultés.

2.2 Méthodologie de recherche

Afin de prendre position quant à l'hypothèse énoncée, ce chapitre présente les étapes cruciales qui organisent cette recherche.

2.2.1 Phase I – Analyse

La phase d'analyse sera disséquée en plusieurs parties. La première explorera les concepts des robots humanoïdes et offrira une vue générale des machines qui composent cet univers à l'heure actuelle. Dans la continuité de cet exercice, le fonctionnement du robot NAO sera détaillé. Il y sera présenté aussi bien de ses caractéristiques techniques que ses capacités et ses fonctions embarquées. Il s'agira également d'évoquer les applications existantes de NAO en lien avec l'apprentissage et se rapprochant autant que possible du descriptif du présent travail. La troisième étape de cette phase d'analyse permettra de faire émerger les principes fondamentaux entourant les émotions. Il en découlera un examen qui se focalisera sur les émotions dans le cadre de l'apprentissage et également de la manière de les exprimer. Finalement, la génération des sentiments chez NAO sera abordée.

2.2.2 Phase II – Développement

Basé sur les acquis de la phase d'analyse, il s'agira de construire un scénario d'utilisation de l'application visant à valider l'hypothèse. Ce scénario permettra le développement de l'application utilisé dans la phase de test sur l'échantillon. La partie de développement demandera dans un premier temps, une prise de décision quant au langage de programmation à utiliser et à l'architecture entourant l'ensemble du projet de développement. Il s'en suivra la partie de développement à proprement parler.

2.2.3 Phase III – Test sur panel d'utilisateurs

Le prototype d'application développé pour le robot NAO est à présent testé sur un panel d'utilisateurs afin de vérifier l'hypothèse de départ. Le panel sera représentatif des étudiants de la HES-SO dans la proportion entre hommes et femmes et dans la composition d'étudiants des différents domaines d'étude. Il a été choisi de mener une enquête qualitative sur un échantillon d'étudiants de l'institution tertiaire. Il sera ainsi possible d'évaluer l'influence des émotions sur la perception de l'apprentissage des étudiants lors des feedbacks émis par le robot NAO. L'évaluation est accomplie au travers du prototype implémenté lors de la phase précédente.

L'approche qualitative se justifie car elle permet d'assurer la collecte de retours et d'impressions personnels des cobayes suite à l'utilisation du prototype.

Chaque entretien se déroulera en suivant le protocole suivant :

- 1) Étape d'apprentissage du sujet avec le robot
- 2) Réalisation du test du prototype en adéquation avec le protocole d'entretien
- 3) Obtention des impressions du panel via un formulaire en ligne

2.2.4 Phase IV – Analyse et synthèse des résultats

Au terme de la phase de test sur le panel, les résultats seront analysés et permettront d'émettre une opinion relative à l'hypothèse de travail. Les données offriront des perspectives quant aux sentiments des cobayes, mais permettront également de prendre conscience de la différence d'une évaluation menée par un humain et par un robot.

2.3 Revue de la littérature

En 1973, l'Université Waseda à Tokyo lance la construction d'un robot humanoïde reprenant certaines formes humaines. Cet androïde est le premier robot capable de marcher sur ses jambes. Il était également capable de communiquer avec une personne en japonais et de manier certains objets. (Behnke, 2008) Dans la continuité, la suite des premières formes de robots humanoïdes sont arrivées au milieu des années 1980, notamment dans le cadre du projet ASIMO de la firme nippone Honda. (Hirose & Ogawa, 2007) Pour les premiers robots, les recherches se sont principalement focalisées sur la marche droite et leur maintien debout. Comme décrit ici, il a fallu aux entreprises et université présentes dans la course à la création d'androïde acquérir les bases en robotique jusqu'au début du nouveau millénaire. De nombreux modèles ont été présentés et ont compté un grand nombre de degrés de liberté, capacité de se mouvoir selon un axe de translation ou de rotation. Ces derniers n'étaient toutefois que rarement doués d'intelligence ou d'autonomie dans la mobilité.

En 2008, Sven Behnke rapporte dans un article retracant l'histoire des robots humanoïdes que les principales recherches dans ce milieu se font sur la locomotion (sur deux jambes), la manipulation d'objets, la perception audiovisuelle, les interactions entre robots et humains, le contrôle adaptatif et l'apprentissage. (Behnke, 2008)

Dans le cadre des interactions homme-machine, il est important de pouvoir retrouver des liens sociaux similaires ou égaux à ceux des échanges entre humains. Pour ce faire, il est nécessaire aux robots humanoïdes d'être doués de la parole, de pouvoir se faire comprendre par des

expressions du visage, des gestes, des mouvements, etc. (Goodrich & Schultz, 2007) (Behnke, 2008) Ce champ de recherche est apparu dans le courant des années 1990 et le début des années 2000. Le robot iCub du projet open source européen RobotCub permet de donner des premières réponses aux besoins de paroles, de gestes/mouvements et d'expression du visage. (iCub.org, 2019) (Churamani , Cruz, Griffiths, & Barros, 2016) D'autres robots de communications ont été développés par le MIT, Leonardo et Kismet ou un humanoïde de l'Université de Waseda. Ces trois modèles sont pourvus de visages expressifs (Breazeal, 2002) (Breazeal, et al., 2004) (Miwa, et al., 2004). Par le biais de mouvement des sourcils, de la bouche ou d'autres parties du visage, certains robots peuvent afficher des émotions. En outre, il est relevé dans l'article de Behnke qu'en plus des expressions du visage, il est possible d'enrichir l'émission d'émotion des humanoïdes au travers de leur voix synthétique. Il sera question de moduler la voix (hauteur tonale, vitesse de parole ou la sonie/bruyance). (Behnke, 2008)

Certains robots ont un affichage émotionnel. En bougeant les sourcils, les paupières, la bouche et éventuellement d'autres parties du visage, un certain nombre d'émotions de base peuvent être exprimées. L'expression de l'état émotionnel peut être soutenue en adaptant la hauteur tonale, la sonie et la vitesse de la parole synthétisée. Dans la continuité de ce point, une étude réalisée en 2010 au Japon à chercher à comparer l'identification des mouvements affectifs des robots par des sujets (15 personnes âgées et 17 étudiants universitaires). Trois types de mouvements affectifs ont été implémentés : plaisir, colère et tristesse. Il résulte des différences pour l'identification des émotions, l'attention sur les parties du corps et l'impression de vitesse et de magnitude de ces mouvements entre les plus jeunes et les plus âgés. (Nomura & Nakao, 2010) Dans un cadre similaire, une étude a été menée au Japon sur des sujets âgés et des étudiants universitaires. Elle a eu pour but d'analyser les comportements et les impressions envers un robot humanoïde et un robot virtuel. Il en ressort que les personnes âgées ont plus de respect que les étudiants pour le robot et surtout que les sujets âgés ressentaient plus d'impressions positives provenant des robots que les universitaires. (Nomura & Sasa, 2009)

Un article du New-York Times de 2010 rapporte les propos de Patricia Kuhl, Université de Washington qui suggère que « [...] le bon type de technologie à une période critique du développement d'un enfant, ils [les robots] pourraient compléter l'apprentissage en salle de classe » (Carey & Markoff, 2010).

En 2007, une étude menée par deux chercheurs coréens, Namin Shin et Sangah Kim, visait à prendre le pouls des élèves par rapport à la présence d'un robot en classe officiant comme enseignant. L'étude a compris 85 sujets de l'école primaire (10 ans, âge moyen) à des élèves de secondaire (17 ans, âge moyen). Il ressort nettement des données des entretiens, du point de vue des enfants, que les robots enseignants manquaient clairement d'émotion. Pour approfondir la question, les examinateurs ont demandé aux élèves qu'est-ce que c'était un « enseignant ayant des émotions ». Ils l'ont décrit comme une personne compréhensive, attentionnée et humaine. Les chercheurs comprenant que l'aspect affectif semblait faire défaut. Ils ont demandé aux enfants qu'elle serait leur point de vue si le robot avait des émotions. Certains des élèves ont changé leur opinion se disant prêt à considérer les robots comme des sujets indépendants. Il est intéressant de relever que des enfants ont également pris les robots présents en classe comme des rivaux contre qui il fallait rivaliser et non comme des enseignants. (Shin & Kim, 2007)

Dans l'éducation, on évoque l'apparition d'un robot dans un cadre scolaire primaire à Taiwan en 2006. Il y est question d'intégrer le robot commercial et à petit budget Robosapien de

l'entreprise WowWee. Cet androïde va officier comme assistant de professeurs de langue anglaise dans le cadre de cours. Ce projet a lieu dans le but d'inciter les étudiants à participer aux activités d'apprentissage. Il sera utilisé afin de narrer en anglais des histoires aux élèves, de tester leurs connaissances dans la langue de Shakespeare et d'exercer leur prononciation. Cette étude est considérée par ses auteurs comme un essai sur le terrain plus qu'une véritable expérience. Il en résulte une attitude positive des élèves à l'égard du robot et un fort intérêt pour ses aptitudes. (You, Shen, Chang, Liu, & Chen, 2006)

Dans le cadre de l'apprentissage plusieurs études ont été menées. Il s'agit ici d'amener des robots en classe dans le but de donner une formation, d'assister le professeur titulaire ou d'aider des enfants malades. A la lecture des articles, il ressort qu'un grand nombre d'études se focalisent notamment sur les écoles primaires et secondaires. Il n'y pas ou très peu d'études sur l'impact d'un robot humanoïde en classe dans le degré tertiaire.

L'aspect ci-dessus se confirme également avec le robot NAO qui a été notamment utilisé dans le cadre scolaire avec des enfants autistes pour évaluer l'efficacité d'une intervention robotique par rapport à une intervention humaine. (Huskens, Verschuur, Gillesen, Didden, & Barakova, 2013) Une étude a également évalué l'acceptation des professeurs de la présence du robot NAO comme assistant. (Fridin & Belokopytov, 2014) Néanmoins, ce robot a permis la tenue de plusieurs études en lien avec les émotions. En 2010, des chercheurs ont travaillé sur l'expression des émotions par les gestes au travers de NAO. Ils estiment pour que « les robots soient socialement acceptés et génèrent de l'empathie, [qu'] ils doivent faire preuve d'émotions » (Beck, Hiolle, Mazel, & Cañamero, 2010). Dans un second cas, une expérience menée sur 18 enfants a étudié l'influence des expressions émotionnelles sur le comportement et les opinions des sujets en matière d'interaction. Un robot réagissait aux émotions des enfants et le second était neutre alors que les sujets répondaient à un quiz. Il ressort que les enfants apprécient plus particulièrement interagir avec un robot qui s'exprime de manière adaptive. (Tielman, Neerincx, Meyer, & Looije, 2011) En 2011, Markus Häring, Nikolaus Bee et Elisabeth André ont utilisé le robot NAO pour qu'ils expriment des émotions au travers de sa gestuelle, de sa parole et de ses yeux colorés. Ils se sont appuyés sur l'aide de 42 sujets-étudiants volontaires. Au terme de l'étude, ils ont découvert que les expressions par les gestes étaient appropriées, que les sons émis par le robot devaient être révisés et que l'intégration de la couleur dans les yeux n'avaient pas d'impact significatif et était une composante non fiable. (Häring, Bee, & André, 2011)

3 Robots humanoïdes

Dans ce chapitre, nous allons découvrir les cousins et les aïeuls du robot NAO qui ont pris place dans le quotidien des humains ou qui ont été utilisés dans des buts scientifiques. Les robots humanoïdes sont présentés de manière chronologique vis-à-vis de leur développement. Cette liste non-exhaustive passe par les premiers robots qui ont permis de mettre en place les premières notions de marche, de saisie d'objets et de communication jusqu'aux robots légers, multifonctions et peu encombrants actuels.

En amont, il s'agit de comprendre le terme principal « humanoïde ». Le dictionnaire français Larousse définit le nom masculin « Humanoïde » comme suit : « Dans le langage de la science-fiction, être ou robot à l'image de l'homme » (Larousse, 2018). Cette définition succincte ne permet pas de saisir pleinement les tenants et aboutissants de ce terme, mais reste, selon le dictionnaire, cantonné à la science-fiction. Toutefois, elle permet de mettre en lumière que le robot humanoïde peut représenter autant un être vivant qu'un robot. Il faut dès lors le coupler au mot « robot » ou utiliser l'un de ses synonymes venant du grec « Androïde ». Fait intéressant le terme « Robot » vient du tchèque *robo* et signifie « travail forcé », il a été inventé en 1920 par K. Čapek dans sa pièce de théâtre « Rossum's Universal Robots » (Larousse, 2018) (RTSInfo, Pascal Wassmer, 2019).

En 2006, le Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) en France informait par communiqué de presse accueillir le premier robot humanoïde, HRP-2, implanté hors du Japon. Le CNRS décrivait les androïdes comme

(...) un système mécanique anthropomorphe muni de bras permettant la manipulation d'objets, de jambes pour la locomotion sur diverses formes de surfaces, et d'une tête munie de caméras pour la perception de l'environnement. Il se caractérise par sa complexité physique qui s'inspire de celle du corps humain. (CNRS, 2006)

Rita Baddoura-Gaugler dans le cadre de son travail de doctorat datant de 2013 dépeint le robot humanoïde comme étant un dispositif sophistiqué anthropomorphe fait de mécanique, d'électronique et d'informatique. Elle le décrit comme capable de réaliser des actions automatisées. Physiquement, elle le compare à l'homme et le représente avec des bras pour manipuler des objets, des jambes pour se mouvoir et d'une tête lui permettant de percevoir l'environnement qui l'entoure. MM. Baskaran, Ramesh, Karrathik ajoutent que les androïdes ont un torse, élément indispensable, mais non-cité précédemment. Les robots humanoïdes peuvent être considérés comme tels même si seulement modélisés depuis la taille/tronc. Des propos qui corroborent et affinent la description émise par le CNRS. (Baskaran, Ramesh, & Karrthik, 2018)

Le terme robotique définit la science et la technique « de la robotisation, de la conception et de la construction des robots selon le Larousse » (Larousse, 2018). Une étude indienne publiée en 2018 évoque le fait que la robotique n'est plus considérée comme un domaine émergent alors qu'il l'était encore au cours des 10 dernières années. Le domaine est en croissance continue et ne cesse d'ouvrir de nouvelles pistes de recherches. (Baskaran, Ramesh, & Karrthik, 2018) Dans la continuité de son étude, Rita Baddoura-Gaugler approfondit le groupement de mots « robot humanoïde androïde », il s'agit d'un robot ayant des ressemblances morphologiques encore plus avancées avec l'humain. Ce type de robot autonome est doté de la capacité l'autocorrection et de l'autoapprentissage. (Baddoura-Gaugler, 2013)

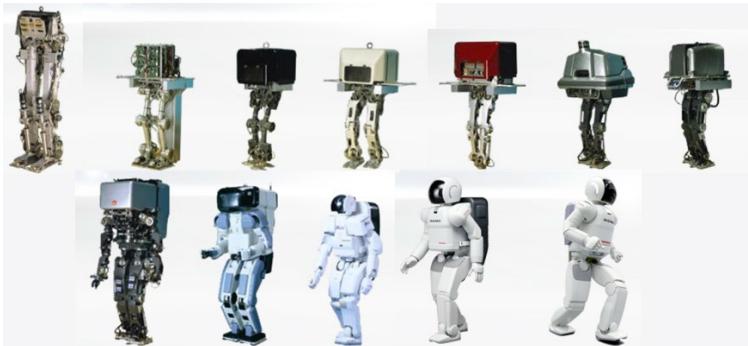
Les domaines qui utilisent des robots humanoïdes sont nombreux et traitent de sujets variés. Rita Baddoura-Gaule, en 2013, établit une liste de domaines allant de l'industrie automobile et agroalimentaire, la médecine, le milieu militaire, la recherche spatiale, les loisirs, les arts, la santé mentale, le milieu domestique ou encore l'éducation. MM. Baskaran, Ramesh, Karrathik évoquent les actuelles et futures portées des études de la recherche dans le monde robotique dans un article publié dans le *International Journal of Robotics and Autonomous Systems* de 2018. Cette étude, qui s'étend sur la recherche en général dans la robotique, reprend également les domaines indiqués ci-dessus. En 2019, Bruno Siciliano et Oussama Khatib rapportent qu'au début de ce siècle, grâce aux progrès technologiques et à la maturité du terrain, la robotique a vécu une mutation majeure quant à sa portée et ses dimensions. La robotique n'était avant cela un terrain, presque exclusivement, réservé aux domaines industriels. Depuis, elle s'est étendue vers des domaines différents et vient en aide au monde humain. Les robots devraient coexister avec les humains dans leurs résidences, sur le lieu de travail et y fourniraient de l'aide « en matière de services, de divertissement, d'éducation, de soins de santé, de fabrication et d'assistance » (Siciliano & Khatib, 2019).

3.1 ASIMO

L'ancien site internet officiel du projet ASIMO (Advanced Step in Innovative MObility) informe que ce robot de services a été développé par la firme japonaise Honda et est cantonné à la recherche. Depuis 1986, les ingénieurs de l'entreprise nippone travaillent sur ce projet. Les premiers modèles, à savoir E0 - E1 - E2 - E3, ont été réalisés dans le but de simuler la marche d'un humain en ne reproduisant que la partie basse d'un corps. Les trois versions suivantes (E4 - E5 - E6) étaient dirigées afin de permettre à ASIMO de stabiliser sa marche et de monter des escaliers. Lors des trois itérations suivantes, le robot atteint son statut d'androïde. Les concepteurs lui ajoutent bras, jambes et tête. Ces démarches ont permis d'améliorer la stabilisation du robot et l'ajout de fonctionnalités complémentaires. Après 20 ans de recherche ASIMO est capable de courir, marcher sur des pentes et des surfaces inégales, de saisir des objets ou encore de monter des escaliers. (Honda, 2019)

Toujours sur sa plateforme internet, la firme japonaise évoque son souhait de faire un jour d'ASIMO un assistant pour des personnes dans le besoin. Le robot viendrait en aide pour remplacer les yeux, les oreilles, les mains et les jambes des personnes accompagnées. Honda imagine le robot aider des individus à mobilité réduite ou totale et des personnes âgées. En sus, l'androïde pourrait assister l'humain dans des tâches périlleuse (lutter contre incendie ou nettoyage de produits toxiques). (Honda, 2019)

Figure 1 Montage des évolutions successives du projet ASIMO



Source : (Honda, 2019)

Dans ses dernières versions au terme des années 2000, le robot aux origines japonaises embarquait les compétences suivantes :

Capacité de communication avancée grâce à la technologie de reconnaissance

- Interpréter et répliquer à de simples ordres vocaux
- Cartographier des lieux et des objets immobiles via ses caméras (yeux)
- Reconnaître le visage d'un groupe de personnes
- Reconnaître des positions et des gestes humains
- Éviter des obstacles quand il se déplace

Intégration au réseau humains

- Accueillir des visiteurs, les guider vers des lieux prédéfinis
- Accéder à internet et informer les utilisateurs des nouvelles et du temps

(Honda, 2019) (Honda Motor Co., Ltd, 2007)

Le site internet actuel du projet dévoile la dernière version du robot sortie en 2011. Cette ultime mouture est annoncée comme plus autonome et capable de réaliser des opérations sans intervention humaine. ASIMO est désormais plus adroit et se corrige lui-même lorsqu'il rencontre une autre partie, il stoppe son action en cours et change son comportement. Les ingénieurs japonais permettent au robot de reconnaître plusieurs personnes lui parlant en même temps. Il peut ainsi reconnaître la voix des interlocuteurs et leur visage. Compétence supplémentaire, l'androïde utilise le langage des signes ce qui demande un mouvement complexe de ses doigts. (Honda Motor Co., Ltd, 2019)

En juin 2018, le quotidien français Le Figaro, reprenant une dépêche de l'AFP, indiquait que le groupe Honda arrêterait le développement du robot ASIMO à sa septième version. Néanmoins, l'entreprise nippone par le biais de l'un de ses porte-paroles assure que le développement d'autres technologies de robots humanoïdes ne cesserait pas. (Le Figaro.fr avec AFP, 2018)

3.2 Actroid

Le robot humanoïde Actroid a été développé par l'Université d'Osaka et construit par l'entreprise Kokoro Company Ltd., institutions japonaises. Le premier exemplaire a été présenté dans le courant de l'année 2003 lors de la manifestation *International Robot Exhibition* à Tokyo. Les ingénieurs ayant travaillé sur ce projet ont poussé loin la ressemblance physique des robots aux êtres humains. Ils ont également travaillé le réalisme des fonctions du robot afin qu'il soit le plus expressif possible. (Kokoro Co Ltd., 2019) (Akhtaruzzaman & Shafie, 2010)

Elena Knox rapporte que les instigateurs de cet androïde entendent en faire un robot intégrant la société. Il devrait à terme assumer des tâches de camaraderie/d'accompagnement, de divertissement et jouerait un rôle d'hôtesse. Actroid n'a été réalisé qu'en prenant des formes féminines. A deux seules occasions, le robot a été présenté sous formes masculines alors qu'il représentait presque parfaitement deux Professeurs japonais et danois. (Knox, 2014)

Figure 2 Montage des trois versions de Actroid



Source : (Kokoro Co Ltd., 2019)

Trois déclinaisons de ce robot humanoïde ont vu le jour depuis sa date de sortie. Le premier Actroid-DER1, présenté en 2003, « a été développé pour recréer des expressions à la fois naturelles et charmantes » (Kokoro Co Ltd., 2019) et il peut agir en tant que *chairman*. La deuxième mouture dénommée Actroid-DER2 est introduite par l'entreprise Kokoro comme étant plus avancée technologiquement que la version originale. Dans la présentation de DER2 sur le site internet de la société nippone, la compagnie met surtout en avant les améliorations du point de vue visuel et physique plus que techniques. Le robot est capable de « créer des expressions faciales exotiques », « ses gestes féminins et mignons sont également polis » et encore elle peut « se faire passer pour une mannequin en tirant le meilleur parti de ses caractéristiques physiques élégantes ». La dernière-née de l'entreprise nippone, Actroid-DER3 a connu des améliorations dans sa gestuelle et dans le mouvement du bas de son corps. (Kokoro Co Ltd., 2019) Une vidéo postée sur la plateforme de streaming, YouTube, datant de 2011 annonce par les mots de Yoshio Matsumoto (Service Robotics Research Group Leader, Intelligent Systems Institute, AIST) qu'une version masculine a été développée. La séquence révèle également que les robots sont utilisés dans les hôpitaux dans le cadre de recherches. (DigInfo TV, 2011)

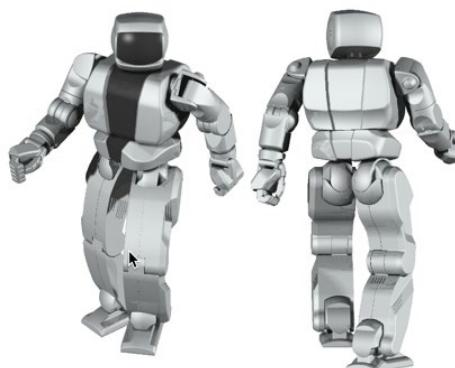
3.3 KHR

Le KAIST Humanoid Robot (KHR) est une série de robots humanoïdes développés par l'université sud-coréenne Korean Advanced Institute of Science and Technology (KAIST).

Il est important de ne pas confondre le KAIST Humanoid Robot avec le robot qui utilise le même acronyme. Le robot programmable Kondo Humanoid Robot-1 (KHR-1) de la société japonaise Kondo Kagaku a été dévoilé dans le courant de l'année 2004. Cette version a été utilisé notamment dans le cadre d'une compétition robotique dénommée ROBO-ONE J au Japon. (Robot.wikibis.com, 2019) (Stückler, Schwenk, & Behnke, 2004)

Le projet KHR s'axe sur le développement d'un androïde ayant une apparence et un mouvement se rapprochant de l'être humain. Il ressort également que la conception mécanique et l'art extérieur sont étroitement liés. (Park, Kim, Lee, & Oh, 2005)

Figure 3 Conception artistique de KHR-3



Source : (Kim, 2005)

La première génération de ce robot KHR-0, sortie en 2001, n'était dotée que de deux jambes sans le haut du corps. Par la suite, KHR-1 a été mis au point dans le but de mener des recherches sur la marche bipède. KHR-1 n'avait ni mains ni tête. L'objectif placé dans la troisième version (KHR-2) était de développer un robot humanoïde capable de marcher en ayant une démarche similaire à celle des humains. La quatrième génération est connue sous le nom de HUBO (ou KHR-3) et se matérialise par des mouvements, des caractéristiques et un caractère plus humain. (Park, Kim, Lee, & Oh, 2005) (Akhtaruzzaman & Shafie, 2010) La plateforme internet officielle du projet rapporte qu'en 2009, KAIST développe le petit frère HUBO2 en se basant sur l'expérience des précédents apprentissages. La technologie derrière HUBO2 améliore ses performances dans les mouvements, la marche et la course. L'objectif principal de cette nouvelle version est d'obtenir un androïde proche de la taille d'un humain et d'avoir un robot le plus léger possible. HUBO 2 atteint la vitesse maximale de 3,6 km/h. (Hubo Lab, 2019)

3.4 Wakamaru

Un papier publié dans le Technical Review (Vol. 43 N° 1) de janvier 2006 par des ingénieurs de la société japonaise Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. (MHI) présente le robot développé par la même entreprise. (Shiotani, et al., 2006)

Ce modèle est composé d'un tronc, de bras et d'une tête. Le bas de son corps ne comporte pas de jambes, mais possède un socle sur roulettes rappelant une longue robe, voir Figure 4.

Wakamaru, nom du robot, est selon le papier, le premier robot de communication au monde. Il a la capacité de vivre avec une famille et était en vente à Tokyo à cette époque. Il est toutefois doué de trois aptitudes :

- Servir des familles ou des individus, il est dit convivial et présent,
- Communiquer avec les gens en établissant un contact visuel,
- Produire un service d'aide à la vie de famille.

L'article relève que Wakamaru peut par exemple effectuer les actions suivantes :

- Réveiller son propriétaire et lui rappeler ses rendez-vous quotidiens,
- Notifier son propriétaire en cas de mouvements suspects à son domicile quand Wakamaru s'y trouve seul,
- Utiliser internet et proposer différentes informations et services,
- Prévenir un service de sécurité en cas d'absence de son propriétaire à son domicile.

(Shiotani, et al., 2006)

Figure 4 Représentation de Wakamaru



Source : (Shiotani, et al., 2006)

3.5 HRP

Humanoid Robotics Project (HRP) a vu le jour sous l'impulsion du ministère japonais de l'économie, du commerce et de l'industrie de 1998 à 2002. Eiichi Yoshida, Codirecteur AIST-CNRS JRL, informe dans un article paru sur le site Futura Tech que le projet se base en partie sur un premier robot élaboré par l'entreprise nipponne Honda (Eiichi Yoshida, 2007). Le projet a ensuite été mené par une collaboration entre des universités et des entreprises industrielles du Japon. Ce développement s'est déroulé en plusieurs phases au terme de chaque phase un robot était présenté. (Kaneko, et al., 2004) (Kaneko, Kensuke, Fumio, Miyamori, & Akachi, 2008) (Wikipedia, 2019)

Les équipes qui entourent le projet HRP espèrent faire de leur robot une aide aux humains dans des environnements dangereux et hostiles. Le robot peut être commandé à distance ou réaliser des tâches qui lui auront été précommandées.

Les différentes recherches mettent en avant l'objectif de développer des robots capables de se mouvoir par eux-mêmes et de s'adapter aux conditions autant intérieures qu'extérieures. Dans une publication de 2008, l'équipe qui a implémenté HRP-3 évoque que le robot avait les capacités d'avancer et d'effectuer des rotations en marchant alors qu'une pluie de 100 mm/h s'abattait sur lui. Il parvenait également à effectuer des tâches connexes suite à l'averse simulée. En outre, HRP-3 est parvenu à adapter sa marche sur des sols différents (irrégulier, mouillé, glissant). (Kaneko, Kensuke, Fumio, Miyamori, & Akachi, 2008)

Figure 5 Représentation de HRP-2



Source : (Kaneko, et al., 2004)

3.6 Robosapien

Robosapien est une suite de robots humanoïdes développée et commercialisée par l'entreprise WowWee fondée à Montréal au Canada et dont le quartier général est situé à présent à Hong Kong. Ce robot a été créé dans un but commercial et est vendu en tant que jouet. Jamie Samans relève toutefois dans son livre *The Robosapien Companion: Tips, Tricks, and Hacks* que le robot peut être considéré comme tel car il est aisément détournable de sa fonction primaire. Dans sa version normale, le robot est capable de marcher, de saisir des objets et de réaliser d'autres diverses actions préprogrammées à savoir : danser, faire du kung-fu, donner des coups de pieds comme le rapporte dans son livre Jamie Samans. Il est également pilotable via une télécommande. (Samans, 2005) Le site officiel de WowWee présente la dernière mouture du robot, Robosapien X, qui est actionnable au travers d'une application mobile disponible sur iOS et Android. La page internet rappelle que le robot a été créé dans un but de divertissement (WowWee Group Limited, 2019) En complément, le guide d'utilisation du modèle Robosapien X évoque le fait que l'androïde émet des sons, mais parvient également à détecter des sons provenant dans son environnement proche. Le prix de

vente du modèle Robosapien X était fixé à Fr. 131.95 sur le site d'achat en ligne suisse conrad.ch le 15 mai 2019¹.

Dans son ouvrage Jamie Samsans évoque dans l'une des parties différentes options permettant de prendre le contrôle du robot et de le détourner. Il propose de combiner certains modes existants, de développer de nouveaux chants et danses. Il rapporte et présente des programmes proposés par la communauté qui entoure l'androïde et démontre comment il est possible de contrôler à distance Robosapien via un ordinateur.

Figure 6 Représentation du Robosapien X



Source : (WowWee Group Limited, 2019)

En 2006, des chercheurs ont utilisé Robosapien dans le cadre d'une étude en l'utilisant en tant qu'assistant dans un cours de langue anglaise dans une classe primaire taiwanaise. Ils ont contrôlé le robot par le biais d'un PC tablette et du stylet de la tablette. Le robot n'était donc pas autonome, mais dirigé par une personne se trouvant en fond de classe et collaborant avec l'instituteur (humain) officiant parallèlement. Les chercheurs derrière le projet ont développé 5 modèles d'interaction. (You, Shen, Chang, Liu, & Chen, 2006)

Modèle de narration / *Storytelling* – Le robot raconte une histoire en anglais sur ordre du professeur. L'androïde s'arrête à intervalle régulier ce qui permet à l'instituteur de questionner les élèves. **Question & Réponse** – Robosapien choisit au hasard un élève et lui pose des questions simples en anglais. En cas de bonnes réponses, le robot acclame l'enfant et en cas de mauvais résultat il émet un son « ridicule ». **Modèle Cheerleader** – L'enseignant organise une compétition de groupe qui inclut des questions-réponses en cas de bonne réponse le robot effectue une danse ou diffuse un son de joie. **Agir comme le modèle** – Le professeur va demander aux élèves de faire certaines actions simples (lever le doigt, se tourner). Dans un premier temps, c'est le robot qui donne l'ordre des actions à faire à la classe. Dans un second temps, c'est un élève choisi aléatoirement par le robot qui donnera un ordre à ce dernier. **Exercice de prononciation** – Le robot amène les enfants à parler anglais. Robosapien change

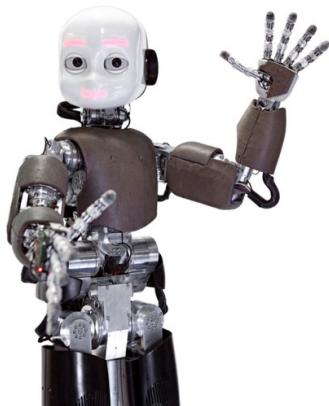
¹ Visite du site Conrad.ch le 15 mai 2019 : <https://www.conrad.ch/fr/p/robot-jouet-wowwee-robotics-robosapien-x-the-next-generation-073-8006-073-8006-1-pc-s-665146.html>

au fur et à mesure son débit et sa voix et les élèves doivent s'adapter. (You, Shen, Chang, Liu, & Chen, 2006)

3.7 iCub

Le robot humanoïde iCub est né du projet open source européen RobotCub échelonné de 2004 à 2010 mené par l'Italian Institute of Technology et financé par la Commission européenne. Le robot émanant du projet a été adopté par plus de 20 laboratoires dans le monde. L'objectif principal entourant ce projet est « d'étudier la cognition par la mise en œuvre d'un robot humanoïde de la taille d'un enfant de 3,5 ans » (RobotCub Project, 2019). Le site officiel iCub.org rapporte que l'androïde possède plus de 50 moteurs qui bougent la tête, les bras et les mains, la taille et les jambes. iCub est capable de voir et d'entendre, il a le sens de la configuration de son corps et du mouvement. La plateforme internet évoque également le souhait du groupement d'étude de lui donner le sens du toucher et d'évaluer la force qu'il exerce sur l'environnement. (iCub.org, 2019)

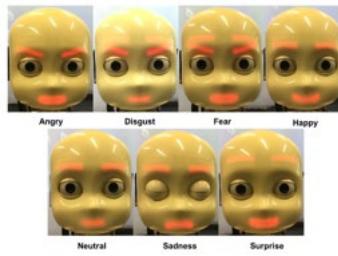
Figure 7 Représentation du robot iCub



Source : (Albert, 2019)

En 2011, une feuille de route pour le développement cognitif du robot indiquait que iCub n'avait pas la capacité de reconnaître les émotions des humains qui interagissaient avec lui, ni pour lui d'en transmettre concrètement. Toutefois, l'androïde était jugé capable de retranscrire sa motivation actuelle par le biais d'un mécanisme élémentaire résultant de ses sourcils simulés. (Vernon, von Hofsten, & Fadiga, 2011) En 2016, un article décrivant une recherche utilisant uniquement la tête du robot iCub a souhaité modéliser sept émotions dites universelles : la colère, le dégoût, la peur, le bonheur, la tristesse, la surprise et l'état neutre qui représente un état émotionnel supplémentaire pour compenser l'absence d'émotion. Dans ce contexte, l'humaine devait générer une émotion sur son visage que iCub devait l'analyser, la reproduire au moyen de ses LEDs (sourcils et bouches) et faire évaluer son imitation à l'humain. Cette évaluation se faisait en imitant le robot « en lui donnant des informations sur la différence entre les actions exécutées et l'action souhaitée » (Churamani , Cruz, Griffiths, & Barros, 2016). Les rédacteurs de cet article ont extrait cette sélection d'émotions universelles en se basant sur l'écrit de 1992 de Paul Ekman : « An Argument for Basic Emotions ».

Figure 8 Tête de robot iCub encodant des émotions



Source : (Churamani , Cruz, Griffiths, & Barros, 2016)

3.8 UBTEch

UBTech est une société basée à Shenzhen en Chine. Elle a développé plusieurs robots humanoïdes évoluant dans différents secteurs. Les robots Lynx et Alpha 1 Pro sont évoqués ci-après.

3.8.1 UBTEch Lynx

UBTech Lynx (Lynx) est un produit commercial destiné aux résidences. Il se trouve en vente sur le site officiel de l'entreprise au prix de 799\$ américains. Il faut savoir que UBTEch Lynx est couplé à l'assistant personnel d'Amazon Alexa. Il lui est possible de réaliser les actions normales d'Alexa, soit jouer de la musique, chercher une recette de cuisine ou encore trouver l'heure de diffusion d'un programme de télévision. Lynx évolue en fonction des améliorations du produit d'Amazon et officie en tant que robot domestique intelligent. L'androïde de la société UBTEch peut agir en tant qu'avatar. Une personne hors des murs de la maison, via une application mobile dédiée, peut prendre possession du robot et interagir avec un humain se trouvant devant le robot. La personne à l'extérieur pourra piloter Lynx et lui demander d'effectuer certaines interactions avec l'interlocuteur comme danser, lever le bras ou donner un câlin. En cas d'absence du domicile de son propriétaire, le robot peut enclencher l'enregistrement d'une vidéo, s'il constate des mouvements étranges. (UBTech Robotics Inc., 2019)

Figure 9 Représentation du robot UBTEch Lynx



Source : (BusinessWire.com, 2017)

3.8.2 UBTEch Alpha 1 Pro

Ce second robot humanoïde de la firme UBTEch est destiné aux enfants et est vendu dès 499\$ sur Amazon². Comme le mentionne la plateforme officielle de l'entreprise chinoise, UBTEch Alpha 1 Pro (Alpha 1) est un produit de divertissement et d'éducation. Alpha 1 joue le rôle de coach sportif quand il s'agit d'effectuer du sport, du yoga ou de danser en présentant les mouvements à reproduire. En termes d'éducation, l'androïde par le biais d'un jeu permet aux enfants d'assimiler un certain nombre de notions de programmation informatique. L'aventure de la programmation peut se poursuivre en utilisant le langage informatique et visuel Blockly et ainsi programmer des actions pour Alpha 1 sur un ordinateur. (UBTech Robotics Inc, 2019)

Figure 10 Représentation de UBTEch Alpha 1 Pro



Source : (UBTech Robotics Inc, 2019)

Dans le cadre du livre collaboratif *Mobile Technologies in Children's Language and Literacy: Innovative Pedagogy* les deux auteurs du chapitre *Introducing Coding as a Literacy on Mobile Devices in the Early Years* mettent en évidence qu'il est important pour les enfants d'être familiarisés avec les tablettes avant de pouvoir programmer Alpha 1. Les auteurs qui travaillent dans le milieu éducatif primaire australien estiment, grâce à leurs expériences, que le robot est utile à l'apprentissage de la programmation pour les enfants. Les élèves peuvent faire bouger physiquement le robot en utilisant des actions simples, puis en créant des séquences d'actions via une tablette. Dans un deuxième temps, ils peuvent coder Alpha 1 en sélectionnant des icônes représentant les actions. Au choix d'un mouvement, le robot le démontre et l'enfant peut choisir de conserver ou non le mouvement dans la séquence d'actions qu'il implémente. La troisième option constitue à utiliser un langage de programmation comme Blockly et de définir des actions plus complètes. Pour exemple, « avancer pendant 10 secondes avec une vitesse rapide ». (Walsh & Campbell, 2018)

² Visite du site Amazon.com le 15 mai 2019 : https://www.amazon.com/gp/offer-listing/B06XT3F6Q8/ref=dp_olp_new_mbc?ie=UTF8&condition=new

3.9 Pepper

Créé par SoftBank Robotics (SBR), Pepper est le dernier né de la société franco-japonaise, anciennement nommée Aldebaran Robotics. Arrivé en 2014, il est le petit frère de NAO. Bien qu'ayant ses propres spécificités, il ressemble physiquement/morphologiquement au robot Wakamaru présenté au point 3.4 de ce chapitre. Sur sa page officielle, l'entreprise revendique que Pepper est le premier androïde à être capable d'identifier des visages et les émotions principales des humains. Le but premier de ce robot est de pouvoir le plus naturellement possible interagir avec des humains. Les échanges avec lui ont lieu par le biais de conversations orales, il peut renforcer son message au travers d'une tablette tactile placée sur le haut de son torse. Pepper est commercialisé et est destiné aux entreprises, ainsi qu'au domaine scolaire. SBR annonce que plus de 2000 sociétés ont déjà acquis ce robot en 2019. Au sein des entreprises, Pepper officie dans l'accueil, l'information et l'orientation des visiteurs des entreprises. (SoftBank Robotics, 2019) Le robot dans sa version *business* est annoncé au prix de 20'280.00 € sur le site GénérationRobots.com³.

Figure 11 Représentation de Pepper



Source : (Softbank Robotics, 2019)

A ce jour, cet humanoïde est capable de parler 15 langues dont le français, l'anglais, l'arabe ou encore le néerlandais. Il est truffé, non-exhaustivement, de capteurs tactiles, infrarouges, de caméras 2D et 3D et d'un sonar. De plus, ce produit est ouvert et entièrement programmable. (SoftBank Robotics, 2019)

SBR met en avant son robot pour les secteurs économiques de la vente de détail et de la finance. L'entreprise franco-japonaise met en avant le fait que leur robot noue aisément un lien empathique avec les clients grâce son comportement. Il peut également officier dans un magasin ou dans une banque pour effectuer des enquêtes auprès des visiteurs, de les accueillir ou encore revêtir un rôle d'ambassadeur de la marque en la promouvant. (SoftBank Robotics, 2019)

³ Visite du site GenerationRobots.com le 15 mai 2019 : <https://www.generationrobots.com/fr/402422-robot-humanoide-pepper-for-business-edition-2-ans-garantie.html>

3.10 Synthèse

Ce chapitre se révèle important dans la compréhension de l'arrivée des robots humanoïdes. La première partie permet de connaître les enjeux liés à la construction de ces machines. Les entreprises et les universités se sont d'abord focalisées sur le maintien des robots debout sur leurs jambes et le processus de marche. Il a fallu un peu de temps avant de voir des robots humanoïdes plus intéressants visuellement. Une fois ces premières versions arrivées et abouties, il a été possible de voir apparaître des versions plus humaines comme les Actroid. Des robots si proches physiquement des humains qu'il serait possible de croire à une véritable personne au premier coup d'œil.

Par la suite, on constate l'arrivée de robots plus petits comme UBTEch Alpha 1 Pro, UBTEch Lynx et Robosapien. Des robots vendus dans le commerce sont plus abordables pour tout un chacun. Certains d'entre eux sont utilisés par des privés et même dans le cadre de recherche scientifique.

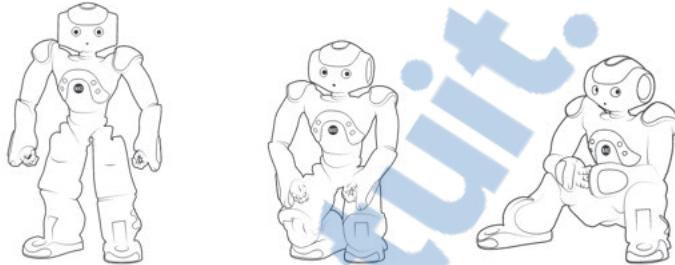
En définitive, le robot Pepper, petit frère de NAO et dont la taille est plus importante, est introduit. Il offre des outils complémentaires comme l'utilisation d'une tablette et permet de créer une véritable interaction entre l'humain et lui-même.

Le concept de transmission d'émotions ne semble pas avoir été largement traité par les différentes sociétés ayant créé des robots. Le robot iCub a néanmoins servi pour des recherches dans ce domaine, tout comme Pepper, et comme on a pu le découvrir dans la revue de la littérature avec NAO.

4 NAO

NAO est issu de la même entreprise que le robot Pepper, la société SBR, qui a racheté la start-up française Aldebaran Robotics. NAO a été lancé en 2006 et est à sa 6^{ème} version depuis sa sortie en 2018. Le site officiel de SBR relève que l'humanoïde aux origines françaises est disponible pour une exécution dans les domaines de l'enseignement, de la recherche et de la santé, entre autres. (SoftBank Robotics, 2019)

Figure 12 Illustrations de NAO



Source : (SoftBank Robotics, 2018)

Dans la suite de ce chapitre, la majorité des informations se basent sur la version 2.8 (NAO 6) de la documentation officielle hébergée sur la plateforme <https://developer.softbankrobotics.com>.

4.1 Spécifications du matériel

Selon la documentation officielle en ligne dans sa dernière édition (2.89), la 6^{ème} version de NAO mesure 57,4 centimètres de haut, 31,1 de large et 27,5 de profondeur. Cette mouture s'appuie sur une carte mère composée d'un processeur Atom E3845 Quad core et d'une RAM de 4 Gb.

Doté d'une batterie, il n'est pas nécessaire qu'il soit en permanence branché sur le secteur pour fonctionner. Son autonomie peut varier entre 45 et 120 minutes et son temps de charge est estimé à 2 heures par le constructeur.

En termes de connectivité, NAO peut accéder à internet par WiFi ou utilisant le port Ethernet situé à l'arrière de sa tête. Il possède également un port USB utile pour sa mise à jour ou pour la connexion d'un dispositif externe comme le Microsoft Kinect ou le Asus 3D Sensor, caméras qui permettent d'interagir par commande vocale, reconnaissance de mouvement et d'image.

Du point de vue de l'interaction, NAO est capable de parler, d'écouter et de voir. Au contraire des humains, les oreilles de NAO ne sont pas faites pour écouter. Elles offrent comme haut-parleurs et lui permettent de s'exprimer et diffuser des sons. Quatre microphones sont disséminés sur le haut de sa tête, les deux premiers au sommet de son crâne et les deux derniers à l'arrière des parties plastiques recouvrant les haut-parleurs. Deux caméras insérées sur le visage du robot lui permettent de voir. La première est située au centre de ce front et la seconde est dissimulée dans l'orifice représentant sa bouche. Plusieurs LEDs ou groupes de LEDs sont dispersés sur le robot. Il compte 12 LEDs blanches sur le sommet de son crâne, 2

x 10 LEDs blanches réparties autour des oreilles, 2 x 8 LEDs de couleurs permettent d'illuminer les yeux du robot et finalement 1 LED par pied de couleur.

Figure 13 Montages photo des moyens d'interaction de NAO



Source : (SoftBank Robotics, 2019)

Différents types de senseurs sont disposés sur NAO. Les premiers sont les *Force Sensitive Resistors* (FSR) qui sont situés dans les pieds « mesurent un changement de résistance en fonction de la pression appliquée » rapporte la page de documentation. L'*Inertial Unit* est placé dans le torse du robot et possède son propre processeur et sert à la navigation. Il permet d'estimer l'orientation, la vitesse linéaire et la position du robot. Des sonars sont implantés et visibles sur le torse du robot et répartis symétriquement. Les sonars gauches sont un récepteur et un transmetteur, idem à droite. La documentation explique que les capteurs à ultrasons lui permettent d'estimer la distance aux obstacles dans son environnement. Il est également doté de capteurs de positions qui permettent d'obtenir des informations sur la position d'un objet dans un espace défini. Ils sont obtenus par les capteurs magnétiques.

Des moteurs complètent les outils intégrés au robot. On dénombre 5 types de moteurs différents qui permettent d'articuler le cou, les poignets, les coudes, le bassin, le haut de chaque jambe, les genoux et les pieds.

On trouve plusieurs capteurs de contact et de capteurs tactiles sur le robot. Sur le crâne, entouré par les LEDs, se trouvent 3 capteurs capacitifs. Il y a également un bouton sur la poitrine permettant de démarrer, mettre en veille ou arrêter, entre autres, NAO. Sur le dessus de chaque main sont implantés 3 (pour chaque main) capteurs capacitifs. Finalement chaque pied présente un bouton sur l'extrémité avant de celui-ci. Ces capteurs permettent de créer des interactions avec le robot lorsqu'il est touché.

(SoftBank Robotics, 2019)

4.2 Langues supportées

La documentation tenue par l'entreprise SoftBank Robotics révèle l'état des langues supportées par l'environnement de NAO. Cet écosystème est composé de trois points soit le NAOqi API, l'application *Choregraphe* et le canal de base (*basic channel*). La figure ci-dessous présente l'état de l'intégration de chaque langue. L'anglais et le français sont les deux langues pleinement portées sur la version actuelle de NAO 6.

Le « canal de base » est une souscription gratuite à laquelle le propriétaire est invité à s'abonner dès la première utilisation de l'androïde. Elle offre des capacités de dialogue, de

récupération en cas de chute ainsi que des parties audios. La NAOqi API et l'application *Choregraphe* sont évoquées plus en détails dans la suite de la lecture.

Figure 14 Registre des langages supportés par NAO 6

Codification			NAOqi API	Choregraphe	Basic Channel	
en_US	English	enu	✓	✓	✓	✓
fr_FR	French	frf	✓	✓	✓	✓
ja_JP	Japanese	jpi	✓	✓	✓	✓
zh_CN	Chinese	mnc	✓	✓	✓	✓
es_ES	Spanish	spe	✓	✓	✓	✓
de_DE	German	ged	✓	✓	✓	✓
ko_KR	Korean	kok	✓	✓	✓	✓
it_IT	Italian	iti	✓	✓	✓	✓
nl_NL	Dutch	dun	✓	✓	✓	✓
fi_FI	Finnish	fif	✓	✓	✓	✓
pl_PL	Polish	plp	✓	✓	✓	✓
ru_RU	Russian	rur	✓	✓	✓	✓
tr_TR	Turkish	trt	✓	✓	✓	✓
ar_SA	Arabic	arw	✓	✓	✓	✓
cs_CZ	Czech	czc	✓	✓	✓	✓
pt_PT	Portuguese	ptp	✓	✓	✓	✓
pt_BR	Brazilian	ptb	✓	✓	✓	✓
sv_SE	Swedish	sww	✓	✓	✓	✓
da_DK	Danish	dad	✓	✓	✓	✓
nn_NO	Norwegian	non	✓	✓	✓	✓
el_GR	Greek	grg	✓	✓	✓	✓

✓ OK
• Partial / Not tested
⌚ Not Supported Yet

Source : (SoftBank Robotics, 2019)

4.3 Développement

Le développement informatique pour le robot humanoïde NAO peut être réalisé de deux manières différentes. Chaque variante permet en finalité un développement identique malgré le choix de l'une ou de l'autre option.

4.3.1 Choregraphe

La première option consiste à s'appuyer sur l'application *Choregraphe* fournie et développée par SoftBank Robotics. Cette application disponible sur tous les systèmes d'exploitation :

Linux	Ubuntu 16.04 Xenial Xerus – 64bits uniquement
Windows	Microsoft Windows 10 64bits
Mac	Mac OS X 10.12 Sierra

Elle permet de créer des applications sans à avoir à écrire de lignes de code et ainsi que créer des dialogues ou des services. Il est possible de réaliser une chaîne de nœuds qui interagissent successivement ou parallèlement. Une spécificité de *Choregraphe* est que le code source de chaque nœud, développé en langage de programmation Python, est accessible

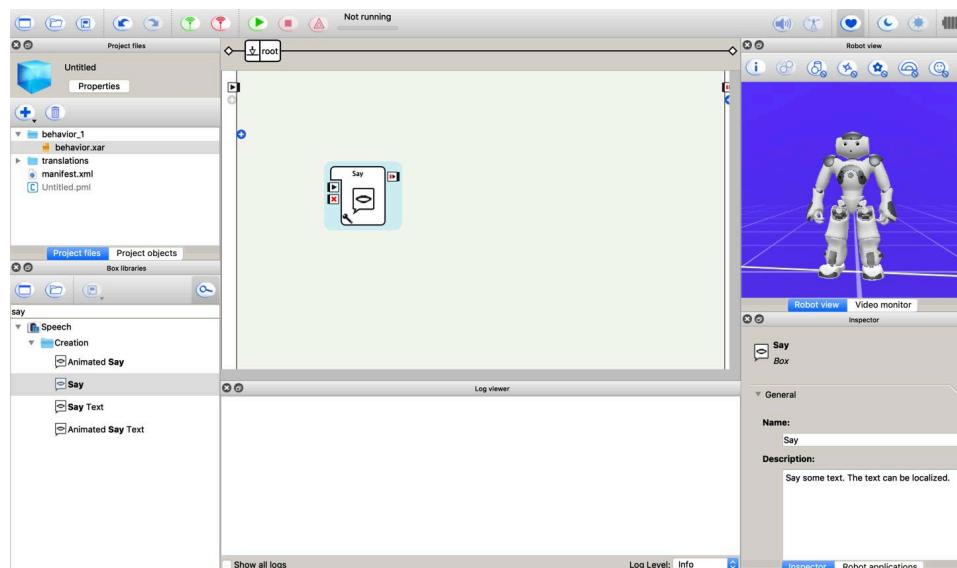
et peut-être modifié selon les besoins du développeur. En complément et afin d'éviter l'utilisation d'un environnement de développement, des nœuds vides et programmable permettent l'élaboration de nouvelles actions pour le robot. *Choregraphe* permet également l'installation et l'intégration de librairie tierce.

Si une personne ne possède pas de robot physique, l'application *Choregraphe* offre la possibilité d'exécuter une suite de nœuds et d'en simuler le déroulement sur l'application au moyen d'un NAO virtuel. Cette option ne permet toutefois pas de créer une interaction tel qu'avec un véritable androïde et s'avère rapidement limitée. En cas de possession d'un exemplaire physique du robot aux origines françaises, il est possible d'exécuter le programme développé par le biais de *Choregraphe*. L'application permet de s'y connecter, de lui injecter le programme et de l'exécuter. *Choregraphe* permet également de percevoir en direct la solution et de récupérer et corriger les éventuelles erreurs de programmation.

Ce programme permet également la création de nouveaux mouvements et de les intégrer au robot via le nœud *Timeline*. Ce dernier permet de configurer une série de gestes dans une ligne du temps.

(SoftBank Robotics, 2019)

Figure 15 Interface graphique de *Choregraphe*



Source : Capture d'écran de l'auteur

4.3.2 NAOqi APIs

La NAOqi APIs est un ensemble d'API qui permet de développer des programmes pour NAO. Ces APIs sont intégrées à *Choregraphe* et peuvent être utilisées au travers des nœuds *Python Script* sur cette même application. La NAOqi APIs est composée de près d'une dizaine d'API gérant chacune une partie du robot NAO. Succinctement, elles gèrent les émotions, les mouvements, les moteurs d'interactions, la vision, l'audio, les LEDs & senseurs, la perception des humains ou les outils cœurs de NAO. Cette API est également utilisée dans le cadre de développement d'applications pour le robot Pepper. La NAOqi APIs est disponible pour les

développeurs qui souhaitent éviter l'application native de programmation de SoftBank Robotics.

(SoftBank Robotics, 2019)

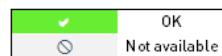
4.3.3 SDK

Régulièrement mis en avant dans la documentation, le langage Python est le langage de programmation le plus complet pour le robot NAO. Néanmoins, d'autres langages s'appuyant sur le NAOqi API s'offrent aux développeurs. On inventorie le C++, le JavaScript et le ROS. Comme l'indique la figure ci-dessous, seul le Python est pleinement compatible avec l'application de développement *Choregraphe*.

SoftBank Robotics met à disposition de la communauté de développeurs un kit de développement (en anglais *Software Kit Development*, en abrégé *SDK*) dans les langages de programmation évoqués ci-dessus. Par ce moyen, les entreprises conceptrices de solutions peuvent éviter l'utilisation de *Choregraphe*, s'ils le désirent.

Figure 16 Représentation des langages de programmation pour NAO

Programming Languages	Bindings running on		Choregraphe support	
	Computer	Robot	Build Apps	Edit code
Python	✓	✓	✓	✓
C++	✓	✓	✗	✗
JavaScript	✓	✓	✓	✗
ROS	✓	✗	✗	✗


OK
Not available

Source : (SoftBank Robotics, 2019)

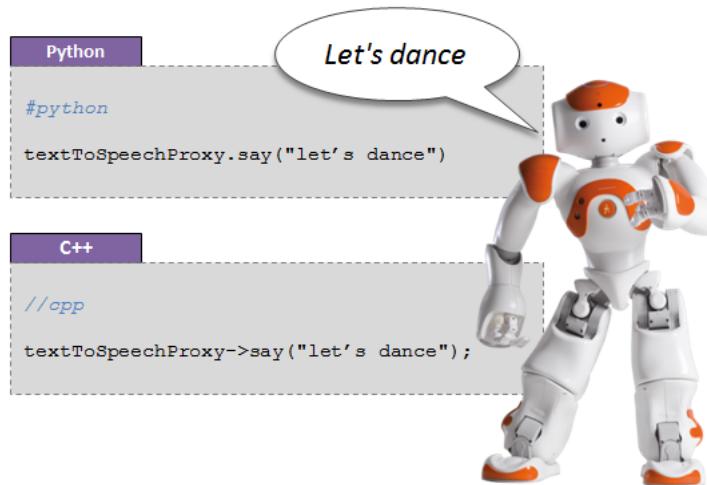
En préambule de ce sous-chapitre, Python est évoqué comme étant le langage le plus complet. Ce langage est intégré à *Choregraphe* au contraire des autres alternatives. Élément qui permet de dire qu'il est plus complet dans son intégration et dans l'environnement de NAO (faire une phrase complète). Pour autant, C++, JavaScript et ROS permettent de réaliser le même travail de programmation que Python sans toutefois être (pleinement) intégrés à l'application de SoftBank Robotics.

La documentation précise une nouvelle fois, qu'en utilisant Python, il sera facile d'exécuter le code sur un ordinateur ou directement sur le robot. Lorsqu'il s'agit d'utiliser le C++, langage compilé, il sera nécessaire de compiler le code pour le système d'exploitation souhaité. Dans le cadre d'un développement de NAO dans ce langage, il est nécessaire d'utiliser un outil de compilation croisée (cross-compilation tool) afin de produire un code exécutable sur le système d'exploitation du robot : NAOqi OS.

Quel que soit le langage utilisé, les méthodes de programmation de NAOqi API sont strictement identiques.

(SoftBank Robotics, 2019)

Figure 17 Les méthodes de programmation sont semblables d'un langage à un autre



Source : (SoftBank Robotics, 2019)

Le ROS

Parmi les quatre langages développement, le ROS est le plus méconnu. Cette abréviation signifie *Robot Operating System*, soit en le francisant *Système d'exploitation de robot*.

La page internet officielle de ce langage le décrit comme un fournisseur de bibliothèques et d'outils :

pour aider les développeurs de logiciels à créer des applications robotiques. Il fournit une abstraction matérielle, des pilotes de périphériques, les bibliothèques, les visualiseurs, le passage de messages, la gestion des paquets, et plus encore. ROS est sous licence open source, licence BSD. (ROS.org, 2019)

4.3.4 NAOqi Framework

NAOqi est le logiciel qui s'exécute sur le robot et le contrôle. Le framework (ou cadre applicatif en français) de programmation fonctionne comme outil pour programmer les robots de l'entreprise SoftBank Robotics. Comme l'indique la documentation officielle, l'utilité de NAOqi est trouvée dans le cadre des besoins ordinaires de la robotique soit : parallélisme, ressources, synchronisation, événements. Ce cadre applicatif permet :

- une communication harmonieuse entre différents types de module : mouvement, audio et vidéo
- une programmation homogène
- un partage cohérent des données

Le cadre applicatif NAOqi est multiplateforme et multi-langages. Ce fonctionnement permet aux développeurs de créer des applications distribuées. Par multiplateforme, on entend que NAOqi peut être utilisé sur plusieurs système d'exploitation (Linux, Windows, Mac). Par multi-

langages, il est nécessaire de comprendre que les méthodes de programmation de NAOqi API sont identiques quel que soit le langage utilisé.

4.4 Capacités embarquées

En parcourant plus en détails le SDK, il est aisément de prendre connaissance plus concrètement des capacités embarquées dans le robot et d'assimiler leur fonctionnement propre. Ce chapitre fait écho au chapitre 4.3.2 NAOqi APIs et à ses API.

Le tableau ci-dessous démontre les capacités (API) embarquées par le robot pour chaque type de module intégré dans la version de NAO 6. Il permet également d'avoir une vue d'ensemble bien que succincte des diverses fonctionnalités. Tous les modules obsolètes ont été exclus du tableau.

Tableau 2 Différentes APIs et modules inclus dans NAO 6

NAOqi Core	NAOqi Vision	NAOqi Interaction engines	NAOqi Motion
ALBehaviorManager ALConnectionManager Extractors ALDiagnosis ALExpressionWatcher ALKnowledge ALMemory ALModule ALNotificationManager ALPreferenceManager ALResourceManager ALSysyem ALUserInfo ALUserSession ALWorldRepresentation PackageManager ServiceManager API	Gestion des vidéos et des images ALPhotoCapture ALVideoDevice ALVideoRecorder Video detection ALBacklightingDetection ALBarcodeReader ALColorBlobDetection ALDarknessDetection ALLandMarkDetection ALMovementDetection ALRedBallDetection Outils pour la mémoire visuelle ALVisionRecognition ALVisualSpaceHistory La vision comme outil de navigation ALLocalization ALVisualCompass Capteur 3D spécifique ¶ ALSegmentation3D	Vivant et réactif ALAutonomousLife - Capacités autonomes -ALAutonomousBlinking -ALBackgroundMovement -ALBasicAwareness -ALListeningMovement -ALSpeakingMovement Capacités d'écouter et de répondre ALDialog -Dialog Lexicon	Animation ALAnimationPlayer ALRobotPosture Se déplacer ALNavigation ALRecharge ALTracker Personnalisation du mouvement ALMotion
NAOqi Audio	NAOqi Emotion	NAOqi Pepole perception	NAOqi Sensors & LEDs
Gestion du son ALAudioDevice ALAudioPlayer ALAudioRecorder Détection du son et de la localisation ALSoundDetection ALSoundLocalization Gestion des langues ALSpeechRecognition ALTextToSpeech ALAnimatedSpeech ALVoiceEmotionAnalysis	ALMood ALRobotMood	Tous les robots ALEngagementZones ALFaceCharacteristics ALFaceDetection ALGazeAnalysis ALPeoplePerception ALSittingPeopleDetection Nécessite un capteur 3D ALWavingDetection	En interaction ALTactileGesture ALLed Gestionnaires d'événements ALBattery ALBodyTemperature ALChestButton ALFsr ALTouch ALSensors ALSonar Gestion d'appareils ALLaser

Source : Mise en forme de l'auteur & (SoftBank Robotics, 2019)

Il faut toutefois tenir compte que la liste des modules ci-dessus provient de NAOqi API. Ces modules sont utilisés à la fois pour le robot NAO et Pepper, il convient d'être conscient que certains modules ne fonctionnent pas pour NAO ou ne fonctionnent que partiellement. Cet état de fait est dû aux spécificités technologiques de chaque humanoïde produit par SoftBank Robotics.

Ci-après sont présentés succinctement le but de chacune des APIs développée par la firme nippone.

NAOqi Core

NAOqi Core contient la liste des modules au cœur des robots de SoftBank Robotics. Ils permettent la communication entre les APIs, la gestion des éléments de bases comme la mémoire, les connexions, le système du robot ou encore la représentation du monde.

NAOqi Emotion

NAOqi Emotion est l'API qui permet la gestion des émotions du robot et également de la perception des émotions des humains.

NAOqi Interaction engines

Les robots de SoftBank Robotics ont des modules exécutés qui déterminent ses interactions de bases et son comportement vivant. Il s'agit de comprendre le but de ces modules et de savoir en faire bon usage. Le robot est capable de trouver instinctivement un visage et de le suivre ou d'effectuer des gestes sans qu'une personne externe ne lui ait demandé de réaliser ces actions.

NAOqi Motion

L'API *NAOqi Motion* permet au robot d'adopter des postures prédéfinies (s'accroupir, s'asseoir, se coucher sur le ventre, etc.) ou de réaliser des animations en fonction de la posture actuelle.

En complément, l'API gère la navigation du robot de manière sécurisée et lui permettant de se stopper automatiquement en cas de détection d'un obstacle. Elle laisse le robot traquer des cibles.

NAOqi Audio

Cette API permet au robot de gérer les entrées et les sorties audio ainsi que de jouer et d'enregistrer des sons. Une autre option affiliée à cette API gère la détection des sons et leur localisation dans l'espace. En outre, les robots, par le biais de cette API, peuvent communiquer oralement, mais aussi reconnaître les propos tenus par les humains ou encore, uniquement pour Pepper, analyser les émotions dans la voix de l'orateur lui faisant face.

NAOqi Vision

La NAOqi Vision est utilisée dans le cadre de la prise de vue depuis le robot et ses deux caméras, la réalisation de photos et leur stockage ainsi que la gestion des vidéos et leur redistribution vers des modules. Cette API comprend également une partie relative à la détection vidéo qui permet de lire des QR code, des marques spécifiques ou encore de

reconnaître si l'environnement entourant le robot est sombre. Les robots de SoftBank Robotics utilisent les capacités de vision comme un outil lui permettant de découvrir son environnement et d'employer l'image comme un compas.

NAOqi People perception

L'API de perception des gens laisse aux robots analyser les personnes qui interagissent avec lui. Elle permet d'obtenir des informations sur les personnes en analysant leur visage comme leur âge par exemple ou leur expression du visage. L'analyse de la direction du regard est également produite via cette API.

NAOqi Sensors & LEDs

Comme son nom l'indique, cette API gère les LEDs et les différents senseurs disposés sur les robots.

4.5 Applications existantes

La plateforme officielle de SoftBank Robotics ne permet pas le téléchargement d'applications, mais redirige les possesseurs de robots de l'entreprise japonaise vers le site de l'ancienne société Aldebaran. Sur ce magasin en ligne, les applications officiellement mises à disposition sont regroupées par robot (NAO, Pepper ou Romeo). Seules 28 applications destinées à l'humanoïde NAO sont disponibles et sont distribuées dans 8 catégories distinctes, entre parenthèse le nombre d'applications par catégorie :

- Communication (4)
- Éducation (9)
- Divertissement (1)
- Enfants (1)
- Jeux (1)
- Mode de vie (*lifestyle*) (3)
- Informations – Nouvelles (6)
- Outils (3)

Les applications mises à disposition par SoftBank Robotics ont été développées par l'entreprise elle-même et permettent l'exécution de petites tâches par le robot, voire des exécutions basiques. La catégorie « Communication » permet de simplement échanger avec le robot dans le cas de deux programmes tel que le permet l'option *basic channel* intégrée de base au robot. Deux autres applications permettent une interaction différente, l'utilisateur peut donner des ordres (Lève-toi, assieds-toi, ...) au robot qui ensuite exécute la demande.

La catégorie « Éducation » contient une application permettant de lier le robot NAO à *Open Roberta Lab*. Ce dernier est un outil permettant de programmer le robot de SoftBank Robotics, ainsi que d'autres machines, au moyen d'une interface web. Cet outil est notamment destiné à l'apprentissage de la programmation dans un cadre scolaire. Dans la continuité, cette catégorie comprend l'application « Exploration » qui doit permettre au robot d'évoluer dans son environnement et en utilisant ses sonars. Troisième application intéressante, catégorisée « Éducation », NAO arrête de bouger, reste debout et retire toute raideur au niveau de sa tête et de ses bras. L'utilisateur peut ensuite déplacer les membres du robot comme il le désire et à l'arrêt de ceux-ci, le robot reproduit à l'identique les mouvements modelés par l'utilisateur.

A la prise de connaissance de ces solutions, la simplicité des applications et de leurs redondances dans les thématiques abordées est étonnante. Dans le catalogue, on dénombre de nombreuses applications de dialogues traitant souvent de sujets proches. En outre, elles sont toutes développées par SoftBank Robotics. Seule l'application Open Roberta Lab, a été développée à l'externe. La catégorie « Education » ne contient pas d'applications à proprement parler en lien avec l'éducation car elles ne pourraient pas être utilisées dans le cadre de l'enseignement tel qu'on le conçoit.

(SoftBank Robotics, 2019)

Rapport Gratuit .CO

5 Les émotions

A la lecture du Larousse, les émotions sont décrites comme une « réaction affective transitoire d'assez grande intensité, habituellement provoquée par une stimulation venue de l'environnement » (Larousse, 2018). Le terme est également présenté comme un « trouble subit, agitation passagère causés par un sentiment vif de peur, de surprise, de joie, etc. » (Larousse, 2018). Ce terme vient du latin. La partie *motion* exprime le mouvement et la partie « *e* » exprime la provenance (qui vient de). L'étymologie évoque pleinement le sens de ce mot. L'émotion « est un mouvement provoqué par une excitation extérieure »⁴. En définitive, une définition simple de l'émotion semble difficile. L'équipe de David Sander adhère à cette constatation en 2017 et résume, dans un article, que l'émotion a connu de nombreuses définitions. Elles ont toutes mis en avant ses différentes dimensions : corporelle, personnelle, sociale et cognitive et les ont liées à « notre bien-être, nos ressentis, nos interactions sociales, nos réactions physiologiques, nos décisions, nos pensées ou nos actions » (Sander, Denervaud, Franchini, & Gentaz, 2017). Sander définit scientifiquement l'émotion comme suit :

L'émotion est définie comme une modification d'état rapide et transitoire en deux temps : (1) un déclenchement initial dû à la pertinence d'un événement (réel ou imaginé) menant à (2) une réponse dans plusieurs composantes (système nerveux périphérique, tendance à l'action, expression motrice et ressenti conscient). (Sander, 2016)

Le mot émotion ne doit pas être confondu avec les termes « sensation » et « sentiment ». Le premier évoque selon le Larousse un « phénomène qui traduit, de façon interne chez un individu, une stimulation d'un de ses organes récepteurs » par exemple les sensations visuelles (Larousse, 2018). « Sentiment » exprime un « état affectif complexe, combinaisons d'éléments émotifs et imaginaires, c'est une construction psychique qui persiste en l'absence de tout stimulus » (Bischel, 2016).

« Une émotion est une expérience psychologique interne et subjective [...], elle est individuelle ou de groupe, elle provoque des changements et des réactions physiques ou biologiques mesurables [...] » (Petit, 2005). Les émotions apparaissent à la suite d'une situation (un stimuli) et « elle est opposée ou non à un souhait conscient » (Petit, 2005). Quand les émotions sont fortes, celles-ci sont coûteuses énergétiquement pour l'organisme. Des sous-systèmes sont perturbés comme la digestion ou la pensée (Scherer & Sander, 2014).

En 1872, les premières lignes entourant la définition technique des émotions ont été édictées par Charles Darwin dans le livre « L'expression des émotions chez l'homme et les animaux » (Darwin, 1877). Cet ouvrage qui a influencé la suite des recherches dans le domaine. Pour le scientifique britannique, il y a deux points cruciaux. Il considère les émotions comme universelles et elles seraient secondelement adaptatives. (Nugier, 2009) L'universalité des émotions est d'ailleurs soutenue par Paul Ekman, chercheur qui s'est installé dans une tribu en Nouvelle-Guinée dans les années 1960. Il prend conscience lors de ce séjour que les attitudes faciales résultant des émotions sont similaires aux siennes. Pourtant ni lui, ni les membres de la tribu, n'ont la même culture. (Petit, 2005) (Ekman & Friesen, Constants across

⁴ Étymologie trouvée lors de la visite du 9 juillet 2019 de <http://www.cosmovisions.com/emotion.htm>

cultures in the face and emotion, 1971) Les émotions sont considérées adaptatives par Darwin car elles auraient permis aux individus de s'accommoder de manière adéquate aux exigences environnementales au fur et à mesure de leur évolution. (Nugier, 2009)

Certaines émotions sont visibles, par exemple une personne rougit, d'autres sont internes et se propagent dans les viscères ou les muscles selon Damásio. Dans les documentations scientifiques, les émotions sont souvent représentées par un lot de quatre (en gras, ci-dessous) ou de six émotions de base selon Paul Ekman et António Damásio à savoir,

- **la joie** (bonheur),
- **la peur**,
- **la tristesse**,
- **la colère**,
- le dégoût,
- la surprise.

(Weber & Claudon, 2009) (Damásio A. R., 1999)

Le tableau suivant représente les émotions primaires définies et relevées par plusieurs chercheurs. Ce tableau est issu de l'étude de Marie Tahon, citant Raquel Tato.

Tableau 3 Les principales catégories d'émotions primaires

Chercheurs	Émotions primaires
Plutchick	apathie/surprise, dégoût/confiance, joie/tristesse, peur/colère
Arnold	colère, aversion, courage, découragement, désir, désespoir, peur, haine, espoir, amour, tristesse
Ekman	colère, peur, joie, tristesse, dégoût, surprise
Frijda	désir, intérêt, bonheur, surprise
Gray	rage, terreur, anxiété, joie
Izard	colère, mépris, dégoût, détresse, peur, culpabilité, intérêt, joie, honte, surprise
James	peur, douleur/chagrin, amour, rage
Darwin	colère, peur, joie, tristesse, dégoût
Mower	souffrance, plaisir
Oatley	colère, dégoût, inquiétude, bonheur, tristesse

Source : (Tahon, 2012) citant (Tato, 1999)

Cette liste est variable selon les auteurs et les courants de pensée. Elle peut en contenir quatre, huit, voire 10 en y incorporant la honte, la culpabilité et la surprise. Cette dernière est d'ailleurs considérée comme une composante primaire par Paul Ekman. Selon Armelle Nugier, des recherches ont révélé que des enfants de cultures différentes « étaient capables de produire, reproduire, et de reconnaître l'expression faciale et vocale d'au moins cinq émotions fondamentales : la joie, la tristesse, le dégoût, la colère et la peur (Nugier, 2009) » et celles-ci seraient innées chez les humains et même chez les animaux. En 2006, Maëlle Dubath rapporte dans un travail auprès de la Haute Ecole de Travail Social de Genève que de nombreux auteurs s'accordent sur la comptabilisation de six émotions. Celles-ci sont parfois nommées « de base » ou « universelles ». Néanmoins ce recensement n'est pas gravé dans le marbre : la honte et la culpabilité remplacent la surprise et le dégoût en fonction de l'expert

interrogé. (Dubath, 2006) En définitive, il s'avère difficile de déterminer une liste précise des émotions. Un accord se dessine pour : « la joie, la peur, la tristesse et la colère ».

Dans la recherche qui entoure ce sujet, il existe des critiques à l'encontre de l'aspect d'universalité des émotions et également physiologiquement sur la manière dont elles sont générées au niveau du système nerveux. Pour ce dernier point, différents courants se sont affrontés entre la fin du XIX^e siècle et le début du XX^e. Walter Cannon, dans les années 1920, s'est opposé à la théorie de William James, qui lui était épaulé par Carl Lange. Coppin et Sander résument la théorie de James et Lange en indiquant que le « déclenchement d'une émotion spécifique serait déterminé par la perception d'un pattern d'activation périphérique spécifique ; plus concrètement, nous aurions peur parce que nous constaterions que nous tremblons » (Coppin & Sander, 2010) (Da Silva Neves, 2011). Coppin et Sander expriment la pensée de Cannon, et Frederique Bard, en rapportant que son idée évoque

le déclenchement d'une émotion spécifique est déterminé par le traitement d'un stimulus au niveau du système nerveux central, le pattern d'activation périphérique n'étant ni spécifique ni causal. Cette théorie met donc en avant l'importance du système nerveux central, et en particulier du thalamus, dans le déclenchement d'une émotion donnée. Ainsi, les changements physiologiques ne sont pas conçus comme cause mais comme conséquence de l'émotion. (Coppin & Sander, 2010)

« En d'autres termes, pour James et Lange les émotions peuvent ne pas arriver à la conscience, alors que pour Cannon et Bard au contraire, c'est la prise de conscience qui fait l'émotion en soi. (Da Silva Neves, 2011) »

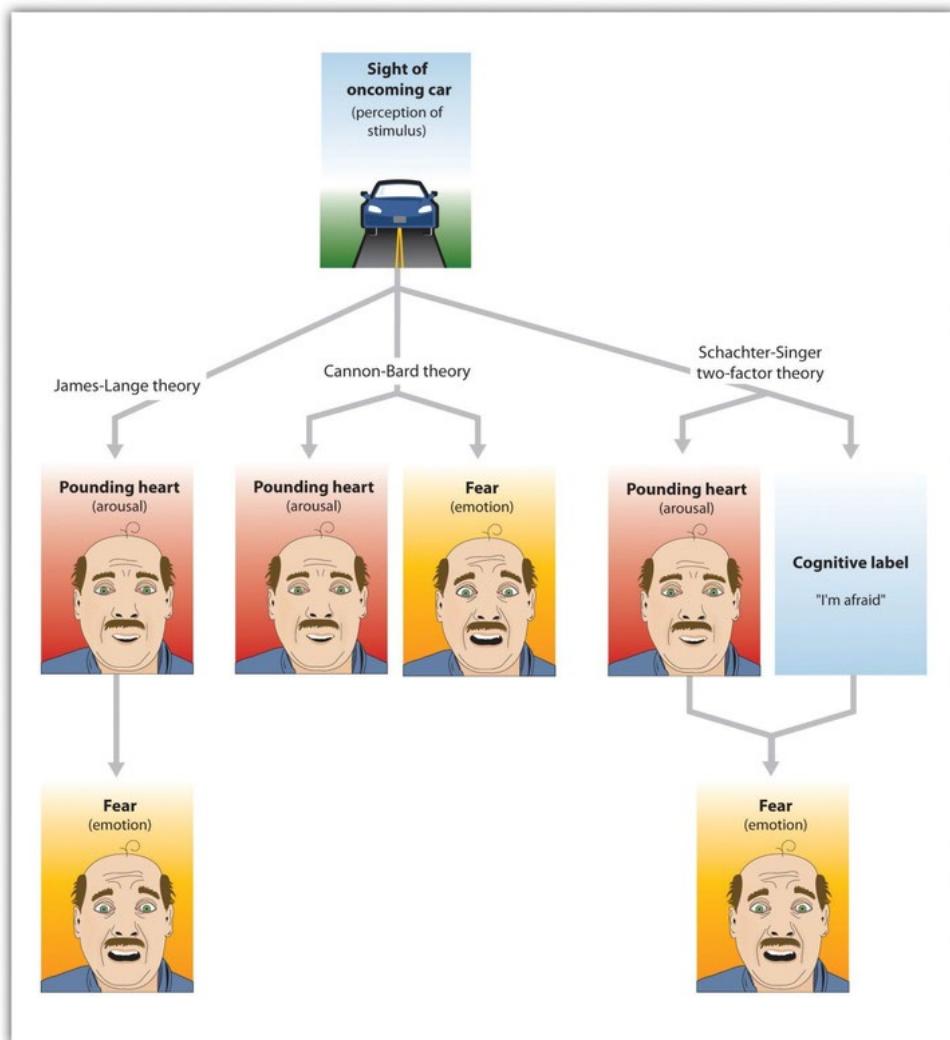
Cette controverse a amené plusieurs théories tentant d'y trouver une solution lors de l'émergence de la psychologie cognitive dans les années 1960. Coppin et Sander rapportent que Stanley Schachter et Jerome E. Singer ont soutenu entre 1962 et 1964 qu'« une émotion est déterminée par une interaction entre deux composantes: une activation physiologique (arousal⁵) et une cognition⁶ concernant la situation déclenchante de cette activation physiologique » (Coppin & Sander, 2010). L'expérience menée par Schachter et Singer faisait partie d'un programme de recherche sur les déterminants cognitifs et physiologiques de l'état émotionnel. Schachter et Singer s'accordent sur le fait que James et Lange avaient raison de dire qu'une activation physiologique était indispensable pour qu'une émotion se réalise. En outre, les deux chercheurs jugent positivement l'idée de Cannon disant que « les changements physiologiques ne sont pas spécifiques à une émotion particulière » (Coppin & Sander, 2010). (Schachter & Singer, 1962) Schachter-Singer donnent une plus grande importance aux caractéristiques cognitives. En complément, la philosophie « opponent-process » met en évidence l'opposition d'émotions par exemple joie (positive) et tristesse (négative). Lorsqu'il y a un stimulus, il y a un choix entre les deux émotions paires et c'est celle qui semble la plus adaptée à la situation qui va opérer (Solomon & Corbit, 1974). La mise au point de Schachter-Singer a créé un nouveau débat sur les rapports entre émotions et cognition (Da Silva Neves, 2011). Robert Zajonc affirme par exemple que nos réactions émotionnelles ont eu lieu avant la prise de conscience de la situation et même que la prise de conscience des émotions n'était

⁵ Arousal : « Activation physiologique correspondant à une émotion » (Wiktionary, 2019).

⁶ Cognition : « Processus par lequel un organisme acquiert la conscience des événements et objets de son environnement » (Le Robert, 2011).

pas essentielle (Da Silva Neves, 2011) (Coppin & Sander, 2010). A contrario, Richard Lazarus, lui, s'oppose à la théorie de Zajonc et estime qu'il est primordial que les émotions soient traitées cognitivement et donc comprises par l'humain (Lazarus, 1966). (Coppin & Sander, 2010) Dans le milieu des années 1990, Damásio dans son ouvrage « L'erreur de Descartes » explique qu'il n'y a pas d'opposition entre la raison et les émotions. Il évoque plutôt le fait que les deux éléments sont liés. Il effectue une étude avec des cobayes ne pouvant plus ressentir d'émotions à la suite de lésion au cerveau. Des sujets sont également inaptes à planifier leurs journées et activités. Cette étude a mené Damásio à mieux comprendre les « mécanismes du cerveau et des zones qui entrent en jeu dans la production d'émotions » (Petit, 2005). (Damásio A. R., 2006)

Figure 18 Représentation des trois théories des émotions



Source : (Open Textbook for Hong Kong, 2019)

Pour en revenir à ce que représentent les émotions, Damásio les classe dans plusieurs de ses ouvrages (1999) (2003) dans trois types distincts. Le premier type est celui évoqué en amont à savoir les six émotions dites de base. Le second type, les émotions sociales ou secondaires, comprendraient la sympathie, la honte, l'orgueil ou encore l'admiration. Les émotions d'arrière-plan sont le troisième type. Il considère ce dernier type comme invisible, mais important. Damásio y incorpore le bien-être, le malaise ou le calme par exemple. Il les

décrit comme n'étant « pas particulièrement en évidence dans le comportement de quelqu'un, même si elles sont remarquablement importantes » (Damásio A. R., 1999). Comme dans toute l'histoire de l'étude des émotions, ce courant n'est pas reconnu de tous. Le courant bidirectionnel des émotions, « opponent-process », a également cours.

Expressions faciales décryptage

Ce décryptage des expressions faciales est issu de l'ouvrage de 2017 « La communication non verbale » paru chez ESF éditeur et écrit par Guy Barrier qui évoque les travaux de Paul Ekman. Quelques-unes des unités faciales sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 4 Liste des actions du visage

relever intérieur sourcils	1	tirer coins des lèvres vers haut	12
relever extérieur sourcils	2	bomber les joues	13
baisser + rapprocher sourcil	4	baisser coins lèvres vers bas	15
relever paupière supérieure	5	rehausser menton	17
relever joues	6	étirer lèvres horizontalement	20
plisser nez	9	serrer lèvres	23
élever lèvre supérieure	10	presser lèvres	24
creuser ride du nez	11	ouvrir légèrement bouche	25

Source : (Barrier, 2017)

« Moyennant quoi le décodage d'une émotion se fait d'après les combinaisons d'unités d'action exprimées par les muscles du visage, selon le principe suivant : »

- Joie : $6 + 10 + 11 + 12 + 13$;
- Colère : $4 + 5 + 17 + 23 + 24$;
- Tristesse : $1 + 4 + 11 + 15 + 17$;
- Surprise : $1 + 2 + 5 + 25$;
- Peur : $1 + 2 + 4 + 5 + 20 + 25$;
- Dégout : $9 + 10 + 17 + 25$.

Figure 19 Représentation des 6 émotions faciales universelles



Source : (Ekman, Consulting Psychologists Press), image extraite de (Barrier, 2017)

5.1 Rôle des émotions

Les émotions sont utilisées comme le décrivait Darwin par les humains et les animaux (Darwin, 1877). Par exemple, la peur ressentie face à une situation dangereuse exige de réagir de manière adéquate afin de fuir ou d'affronter le danger. Ces émotions sont des processus adaptifs et ont permis et permettent la survie de tous les vertébrés comme le relève Jean-Didier Vincent. (2009) A la différence des animaux l'humain utilise des émotions plus

complexes qui l'aident socialement à échanger et à interagir. Les émotions sont comprises et ressenties entre humains par un simple regard ou par l'écoute. « Intonations, geste, expression [sic] du visage, postures sont scannées [sic] et interprétés par ces cellules grises aussi efficacement que s'il s'agissait de communication verbale » (Petit, 2005). En cas de colère d'une personne, l'émotion émise va permettre à son interlocuteur de comprendre qu'il est n'est l'heure de le déranger. L'émotion est un vecteur de communication.

5.2 Manifestation des émotions

David Sander, professeur à l'Université de Genève évoque, dans Encyclopædia Universalis en ligne, que de nombreux spécialistes inspirés par les travaux de Darwin. Ces derniers considéraient que les expressions faciales, vocales ou encore posturales étaient des aspects importants des émotions. Dans toute discussion la place de l'émotion est cruciale autant du côté l'émetteur que du récepteur. Pour exemple, lors d'une rencontre, l'humain s'enquiert toujours de l'état émotif de son partenaire en démarrant une conversation. Dans un autre contexte, les acteurs jouent des émotions qu'ils ne vivent pas au moment de les interpréter. Ils parviennent à les créer et les communiquer au travers de leur voix, leurs gestes ou leur expression faciale. Il en est de même pour les musiciens. (Sander, 2016)

Le rôle de la posture du corps dans l'expression des émotions est le parent pauvre en comparaison avec les études des expressions faciales et de la voix dans le domaine des émotions. Toutefois, les recherches d'associations entre la voix et les émotions restent restreintes par rapport aux expressions faciales.

Dans la suite, seules les émotions de joie (bonheur), de peur, de tristesse, de colère, de dégoût et de surprise sont analysées. Les relations entre la voix, les gestes, les couleurs et les émotions sont développées.

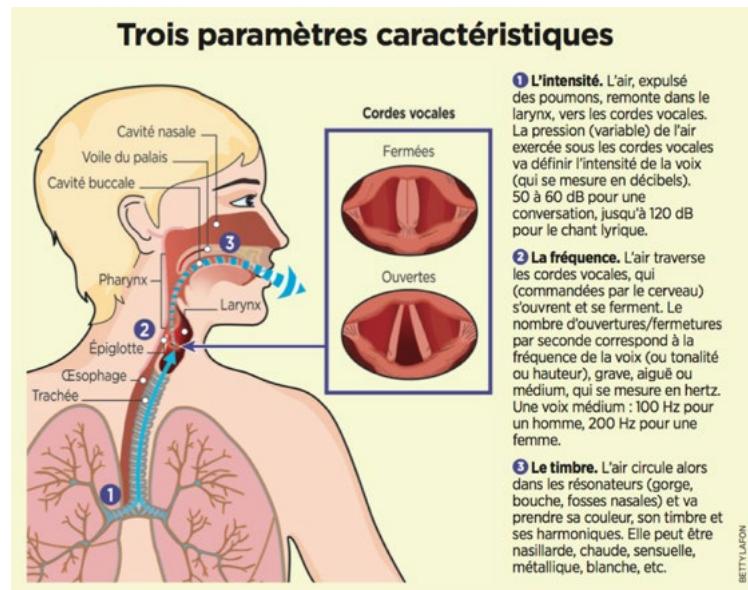
5.2.1 Voix

Géraldine Dupla, dans son mémoire de diplôme auprès de la Manufacture à Genève, évoque que, dans les années 1960, des chercheurs américains et allemands ont étudié la voix et ses caractéristiques. Il ressort de ces différentes études que la voix permet de traduire l'état émotionnel d'un interlocuteur et qu'il en est l'un des indicateurs les plus pertinents. (Dupla, 2012) En outre, il ressort également de ces expérimentations trois éléments perceptifs de la voix :

- « La hauteur (fréquence) : déterminée par la fréquence des vibrations des cordes vocales.
- L'intensité : qui dépend de la pression sous-glottique.
- Le timbre : qui correspond à la phase d'accolement des cordes vocales. (Dupla, 2012) »

(Dupla, 2012)

Figure 20 Trois paramètres caractéristiques de la voix



Source : (Trois paramètres caractéristiques, 2019), auteur inconnu

En février 2018, un article paru dans le périodique de l'Université de Genève rapporte que les émotions communiquées par la voix étaient grandement assurées par des zones frontales du cerveau. L'étude de Didier Granjean, professeur à la Faculté de psychologie et des sciences de l'éducation et au Centre interfacultaire en sciences affectives, explique que, dans des cas de lésions au cerveau, les personnes n'étaient plus capables de comprendre les émotions. Grandjean évoque que « lorsque quelqu'un nous parle, nous utilisons les informations acoustiques sur les émotions que nous percevons chez l'autre et nous les classons selon diverses catégories, comme la colère, la peur ou la joie ». Cette catégorisation permet de déterminer si l'interlocuteur est en colère, joyeux ou triste. (UNIGE, 2018)

Dans sa thèse de 2004, Petri Laukka a réalisé plusieurs études sur les liens entre les émotions et la voix. Les résultats obtenus le mènent à dire que les expressions vocales sont universellement discernées et qu'il existe des modèles de signaux vocaux spécifiques à l'émotion. Il distingue les émotions primaires utilisées vocalement comme suit. (Laukka, 2004)

FO : Ce terme est l'abréviation de la **fréquence fondamentale** de la parole (*fundamental frequency* en anglais). C'est la fréquence à laquelle les cordes vocales vibrent et c'est une propriété physique du son. La tonalité et l'intonation sont obtenues grâce aux changements de FO. Quand la hauteur est perçue, c'est que l'on se réfère à cette fréquence. (Cahn, 1989)

Tableau 5 Profils acoustique des émotions de Petri Laukka

Émotions	Description
Joie	F0 moyen élevé, beaucoup de variabilité F0, F0 maximum élevé, contours F0 croissants, intensité vocale moyenne à élevée, variabilité importante de l'intensité vocale, signaux vocaux rapides, énergie à haute fréquence moyenne, F1 élevée, forme d'onde glottale abrupte, vitesse de parole rapide et régularité micro-structurelle
Peur	F0 moyen élevé, faible variabilité F0, contours croissants F0, faible intensité vocale (sauf en cas de panique), variabilité importante de l'intensité de la voix, faible énergie haute fréquence, faible moyenne F1, large bande passante de F1, forme d'onde glottale arrondie, parole rapide taux et irrégularité micro-structurelle
Tristesse	Faible moyenne F0, faible variabilité F0, faible maximum F0, contours décroissants, faible gigue, faible intensité vocale, faible variabilité de l'intensité vocale, faible énergie haute fréquence, faible moyenne F1, large bande passante de F1, articulation relâchée, forme d'onde glottale arrondie, lenteur de la parole, beaucoup de pauses et irrégularité micro-structurelle
Colère	F0 moyen élevé, beaucoup de variabilité F0, F0 maximum élevé, contours croissants de F0, beaucoup de gigue, intensité vocale élevée, variabilité d'intensité vocale élevée, beaucoup d'énergie haute fréquence, F1 moyen élevé, largeur de bande étroite de F1, articulation précise, forme d'onde glottale abrupte, débit de parole rapide, petites pauses et irrégularité micro-structurelle
Dégoût	F0 moyen faible, variabilité F0 moyenne, contours décroissants, intensité vocale moyenne, variabilité d'intensité vocale moyenne, signaux vocaux lents, énergie médium à haute fréquence, valeur moyenne élevée F1, largeur de bande étroite de F1, articulation précise, débit vocal lent, et beaucoup de pauses
Surprise	Non-évoquée

Source : (Laukka, 2004)

L'étude consistait en une méta-analyse de la précision du décodage d'émotions discrètes (colère, peur, bonheur, tendresse amoureuse, tristesse) au sein d'une culture à l'autre et entre différentes cultures. La littérature sur les caractéristiques acoustiques des expressions a également été examinée. Les résultats suggèrent que les expressions vocales sont universellement reconnues et qu'elles sortent des modèles de signaux vocaux spécifiques aux émotions pour des émotions discrètes.

En 1990, Janet E. Cahn relève que quand les émotions affectent la physiologie, un impact a lieu sur la voix et son effet se fait ressentir sur la fréquence fondamentale (F0) et sur le *timing*. Elle y explique également que la peur, la joie et la colère occasionnent une parole extrêmement forte, rapide et parlante accompagnée d'une forte énergie haute fréquence. Concernant l'émotion de tristesse comme la fréquence cardiaque et la pression artérielle diminuent, la parole baisse également. Les paroles sont lentes, graves avec peu d'énergie haute fréquence. (Cahn, 1990) En amont de cette étude, Janet Cahn réalise en 1989 sa thèse de doctorat « Generating Expression in Synthesized Speech » auprès du Massachusetts Institute of Technology. La chercheuse a réalisé une description de chaque type d'émotions en se basant

sur la littérature. Elle décrit les six émotions primaires exprimées vocalement en utilisant à la fois des paramètres techniques et des paramètres vocaux simples :

Colère

Le discours colérique se caractérisait par de grandes transitions de FO, une inflexion généralement descendante, un rythme irrégulier, des inflexions irrégulières, des contours de hauteur en montée, des attaques aiguës, une montée rapide en intensité, une énonciation précise, une énergie de haute fréquence élevée et une parole forte, aiguë et rapide. (Cahn, 1989)

Dégoût

Dans un discours dégoûté, Fairbanks et Pronovost ont observé un son grave, une plage de hauteur large, des variations extrêmes d'infexion et une lenteur d'élocution (comparable à la tristesse). Contraste, description, Scherer n'a noté qu'une variation de hauteur modérée dans la parole dégoûtée. (Cahn, 1989)

Peur

Le discours craintif a été décrit comme aigu. Il avait une large gamme de hauteur, peu de pauses et était bruyant, des contours de hauteur montante rapide, des attaques violentes, des augmentations rapides d'intensité et des concentrations d'énergie dans les gammes supérieures du spectre ont également été observés. (Cahn, 1989)

Joie/Bonheur

Le discours de joie était caractérisé par un rythme régulier et une inflexion ; une inflexion constante vers le haut, une large gamme de hauteurs et des variations extrêmes de hauteur. C'était bruyant, aigu, criard, rapide et avec une prononciation précise. (Cahn, 1989)

Tristesse

Le discours triste était lent, avec une variabilité minimale parmi ses caractéristiques et de nombreuses pauses (en particulier entre phrases). Il présentait une plage de hauteur étroite, une résonance élevée diminuée (hautes fréquences), un faible tremblement, des pauses irrégulières et une inflexion descendante et irrégulière. C'était doux, grave et confus. (Cahn, 1989)

Surprise

Les descriptions incorporées dans la génération de discours surpris étaient rares. Ils ont appelé à une parole forte, aiguë et rapide, au contour ascendant. (Cahn, 1989)

Lors de cette thèse Cahn a utilisé le logiciel Affect Editor. Elle décrit le programme comme un outil « qui applique les valeurs de paramètre de parole d'une émotion à une phrase pré-analysée afin de synthétiser la phrase avec l'affect correct. Sa sortie est deux chaînes qui sont interprétées par le synthétiseur » (Cahn, 1989). Chaque paramètre de cet outil est réglable sur une échelle allant de -10 à 10. Ci-après la figure démontre la définition des variables pour la génération de chaque émotion traitée (à savoir les émotions primaires). (Cahn, 1989)

Figure 21 Affecter les valeurs de paramètre de l'éditeur pour les six stimuli d'émotion

	Angry	Disgusted	Glad	Sad	Scared	Surprised
Accent shape	10	0	10	6	10	5
Average pitch	-5	0	-3	0	10	0
Contour slope	0	0	5	0	10	10
Final lowering	10	0	-4	-5	-10	0
Pitch range	10	3	10	-5	10	8
Reference line	-3	0	-8	-1	10	-8
Fluent pauses	-5	0	-5	5	-10	-5
Hesitation pauses	-7	-10	-8	10	10	-10
Speech rate	8	-3	2	-10	10	4
Stress frequency	0	0	5	1	10	0
Breathiness	-5	0	-5	10	0	0
Brilliance	10	5	-2	-9	10	-3
Laryngealization	0	0	0	0	-10	0
Loudness	10	0	0	-5	10	5
Pause discontinuity	10	0	-10	-10	10	-10
Pitch discontinuity	3	10	-10	10	10	5
Precision of articulation	5	7	-3	-5	0	0

Source : (Cahn, 1989)

Ci-après sont décrits chacun des paramètres de la figure ci-dessus. Les propos sont rapportés de Cynthia Breazeal qui a utilisé les éléments de la thèse de Cahn.

Les six paramètres de hauteur suivants influencent le contour de hauteur de l'énoncé parlé. Le contour de hauteur est la trajectoire de la fréquence fondamentale (FO) pour le timing ».

- **Accent shape** [Forme d'accent] : modifie la forme du contour de la hauteur pour tout mot accentué en faisant varier le taux de changement de ce mot.
- **Average Pitch** [Hauteur moyenne] : quantifie le niveau de voix élevé ou faible du locuteur par rapport à son discours normal. C'est la valeur moyenne du contour de hauteur.
- **Contour Slope** [Inclinaison du contour] : Décrit la direction générale du contour de la hauteur, qui peut être caractérisé par une montée, une chute ou un niveau.
- **Final Lowering** [Descente finale] : Indique la valeur à laquelle le contour de la hauteur diminue à la fin d'une prononciation.
- **Pitch Range** [Gamme de hauteur] : mesure la bande passante entre les valeurs maximale et minimale de l'énoncé. La plage de hauteur augmente et se contracte autour de la moyenne du contour de hauteur.
- **Reference Line** [Ligne de référence] : contrôle la hauteur de référence pour le contour. Les accents de hauteur font que la trajectoire de hauteur s'élève au-dessus ou au-dessous de cette valeur de référence.

Les paramètres de durée des affects vocaux contribuent au rythme de la parole. Ces corrélats résultent dans le discours émotionnel de changements physiologiques du taux de respiration (changements dans les schémas respiratoires) et du niveau d'éveil.

- **Speech Rate** [Débit vocal] : contrôle le débit de mots ou de mots prononcés par minute. Elle influence la rapidité avec laquelle un mot ou une syllabe est prononcé, la durée du son au silence dans une prononciation et la durée relative des classes de phonèmes.
- **Stress Frequency** [Fréquence de contrainte] : contrôle la fréquence d'occurrence d'accents de hauteur et détermine la finesse ou la brusquerie des transitions.

L'émotion peut induire des changements non seulement dans la hauteur et le tempo, mais également dans la qualité de la voix. Ces phénomènes résultent principalement de modifications du larynx et du tractus articulatoire. Les paramètres de qualité vocale sont les suivants.

- **Breathiness** [Respiration] : contrôle le bruit d'aspiration dans le signal de la parole.
- **Brilliance** [Brillance] : Contrôle l'effet de perception des énergies relatives des hautes et basses fréquences. Lorsqu'elles sont agitées, les fréquences élevées prédominent et la voix est dure ou « brillante ». Lorsque le locuteur est détendu ou déprimé, les basses fréquences dominent et la voix est douce et chaleureuse.
- **Laryngealization** [Voix grinçante] : contrôle les phénomènes perçus de voix grinçante. Il résulte d'une pression sous-glottale minimale et d'un petit quotient ouvert tel que $F0$ soit bas, le pouls glottal est étroit et la période fondamentale est irrégulière.
- **Loudness** [Intensité] : contrôle l'amplitude de la forme d'onde de la parole. Au fur et à mesure que l'intervenant devient excité, la pression sous-glottale augmente, ce qui augmente l'amplitude du signal. En conséquence, la voix semble plus forte.
- **Pause Discontinuity** [Discontinuité de la pause] : contrôle la fluidité des transitions du son au silence pour les pauses non remplies.
- **Pitch Discontinuity** [Discontinuité de la hauteur] : contrôle le lissage ou la brusquerie des transitions et le degré d'atteinte des cibles prévues. Avec plus de contrôle de l'intervenant, les transitions sont plus fluides. Avec moins de contrôle, leurs transitions sont plus abruptes.

Le système nerveux autonome module l'articulation en induisant un ensemble de modifications physiologiques telles que sécheresse de la bouche ou augmentation de la salivation. Il n'existe qu'un seul paramètre d'articulation :

- **Precision** [Précision] : décrit le degré de liaison ou d'énonciation pour toutes les classes de phonèmes.

(Breazeal, Emotive Qualities in Robot Speech, 2001) (Cahn, 1989)

Une étude de 1999 de Christina Sabin et de Murray Alpert définit ainsi les émotions de peur, de colère, de tristesse et de joie en se basant sur différents paramètres vocaux (Sabin & Alpert, 1999) :

Tableau 6 Profils acoustiques de peur, de colère, de tristesse et de joie

	Peur	Colère	Tristesse	Joie/Bonheur
Volume	Haute	Haute	Basse	Haute
Variance de volume	Basse	Haute	Haute	Modérée
Hauteur	Haute	Basse	Basse	Basse
Variance de hauteur	Haute	Haute	Basse	Haute
Taux d'énonciation	Rapide	Rapide	Lente	Modérée
Durée du discours	Courte	Courte	Longue	Longue
Durée des pauses	Courte	Courte	Longue	Longue
Nombre de pauses	Peu	Peu	Beaucoup	Quelques

Source : (Sabin & Alpert, 1999)

Dans un article paru en 2001, Cynthia Breazeal explique de quelle manière a été implémentée les effets émotionnels dans la voix synthétique du robot Kismet. L'équipe avait travaillé précédemment sur la mise en place d'émotions faciales pour le même robot. Dans la publication, Breazeal présente les paramètres vocaux de chaque émotion primaire comme suit : (Breazeal, Emotive Qualities in Robot Speech, 2001)

Tableau 7 Profils adaptés des émotions de Cynthia Breazeal par l'auteur

Émotions	Description
Joie	Le discours joyeux est relativement rapide, avec un ton moyen élevé, une large plage de tonalités et une grande variance de tonalités.
Peur	Le discours de peur est très rapide avec une grande variance de hauteur et une intensité normale. La voix doit être un peu « respirante » car les gens associent l'émotion à un sentiment d'appréhension.
Tristesse	Le discours triste a un débit lent, avec des pauses plus longues que la normale. Il a une hauteur moyenne faible, une plage de hauteur étroite et une faible variance.
Colère	Le discours de colère est fort et légèrement rapide avec une large gamme de hauteur et une grande variance.
Dégoût	La parole dégoûtée est lente avec de longues pauses intercalées.
Surprise	Le discours de surprise est rapide avec un ton moyen élevé et une large gamme de hauteurs. Il est assez fort avec un contour ascendant accentué sur la syllabe du mot final.

Source : (Breazeal, Emotive Qualities in Robot Speech, 2001)

Il est intéressant de constater que les différents travaux de Sabin & Alpert, Breazeal, Laukka et celui de Cahn, qui se basent sur une riche littérature, émettent des fonctionnements proches pour l'émission vocale de chaque émotion.

5.2.2 Gestuelle et mouvement

L'équipe grecque du chercheur Balomenos évoque en 2005 et en rapportant les paroles de Wu et Huan que « la détection et l'interprétation des gestes de la main sont devenues une partie importante de l'interaction homme-machine ces dernières années (Balomenos, et al., 2004) » (Wu & Huan, 2001).

L'étude de Balomenos de la *National Technical University of Athens* souhaitant analyser les émotions dans des système d'interaction homme-machine est publiée. Il y a été question d'analyser les langages non-verbaux du corps au travers des expressions faciales et des gestes. Il y est fait mention qu'il arrive que le simple fait qu'une personne place sa main sur ses oreilles peut signifier à son entourage qu'elle ne souhaite plus rien entendre. Ce geste aussi simple qu'il soit peut exprimer bien plus de chose que des paroles. (Balomenos, et al., 2004) Il convient aussi de rappeler que l'analyse des gestes « [...] de la main est une tâche complexe impliquant la modélisation du mouvement, l'analyse du mouvement, la reconnaissance de formes, l'apprentissage automatique et même des études psycholinguistiques » (Balomenos, et al., 2004). Toujours dans cette même étude, il est intéressant de relever que les gestes sont utilisés pour soutenir les expressions faciales car, seuls, ils sont trop ambigus pour indiquer une émotion. Les caractéristiques comme la vitesse et l'amplitude d'un mouvement amplifient l'émotion qui est examinée. Par exemple, plus une personne applaudit rapidement, plus le ressenti passera de la satisfaction à la joie de vivre. Un applaudissement lent représentera de l'ironie et être interprété comme du dégoût. (Balomenos, et al., 2004) Ci-dessous sont présentés les gestes qui représentent des émotions ou qui accentuent le ressenti de celles-ci. L'étude ne précise toutefois pas ce qu'il est entendu par « gestes italianisés ».

Tableau 8 Corrélation entre les gestes et les états émotionnels

Émotions	Gestes
Joie	Applaudissements rapides
Peur	Mains au-dessus de la tête, geste. Gestes italianisés
Tristesse	Les mains sur la tête, posture.
Colère	Soulèvement de <u>la</u> main rapide. Gestes italianisés
Dégoût	Soulèvement lent de <u>la</u> main. Applaudissement lent.
Surprise	Les mains <u>sur</u> la tête, geste

Source : (Balomenos, et al., 2004)

Un papier publié en 2007 par Hatice Gunes et Massimo Piccard présente les résultats d'une recherche menée afin de reconnaître les émotions émises par des expressions faciales et les gestes du haut du corps. Un ordinateur décortique des séquences vidéo et émet son diagnostic. Il y est notamment dit que les résultats des recherches psychologiques tendent à exprimer que les humains fondent leurs jugements émotionnels plus souvent par des canaux visuels qui combinent la lecture du visage et des gestes. L'équipe a analysé six émotions dont la colère, le dégoût, la peur et la joie, ainsi que l'anxiété et l'incertitude. L'ordinateur pour reconnaître les quatre émotions (sur six) primaires a reçu différentes instructions qui permettent ainsi de les définir. Les personnes filmées étaient assises à un bureau. (Gunes & Piccard, 2007)

Tableau 9 Liste des émotions reconnus par le système de Gunes et Piccard

Émotions	Gestes
Joie	Corps étendu ; mains gardées hautes ; poings serrés et gardés haut
Peur	Corps contracté ; corps de soutien ; mains hautes, essayant de couvrir les parties du corps
Colère	Corps étendu ; les mains sur la taille ; poings serrés et mains maintenues basses, près de la surface de la table
Dégoût	<i>Body backing</i> ; main gauche / droite touchant le cou ou le visage

Source : (Gunes & Piccard, 2007)

Le chercheur Mark Coulson réalise, en 2004, une étude comportant plus de 170 postures statiques de figurines générées par ordinateur. Elles ont été réalisées pour représenter des expressions posturales d'émotion. Chaque posture a été reproduite sous 3 angles de vue (face, côté et arrière). En 2004, Coulson relève qu'il y a eu plus de travail sur la posture en mouvement que sur la posture statique. L'étude a été réalisée à l'aide de 61 sujets-étudiants de premier cycle et s'est basée sur l'analyse de postures représentant les six émotions primaires de Paul Ekman. L'étude n'a pas pris en compte la position des doigts et des orteils. Les participants ont évalué les postures par ordinateur et devaient sélectionner l'émotion la plus appropriée. Il s'est avéré que le panel a attribué en majorité des émotions de bonheur,

de colère et de tristesse aux postures. Certaines émotions pour des postures ont atteint un taux d'identification de 90% et plus. Au contraire, le « dégoût » n'a jamais atteint un niveau de 50% et plus de reconnaissance pour ses postures. Quant à la peur et la surprise, ces émotions sont moins identifiées consensuellement. De cette étude, il résulte la reconnaissance de la des émotions comme suit : (Coulson, 2004)

Tableau 10 Description des postures les plus pertinentes pour chaque émotion

Émotions	Représentations	Gestes
Joie		Tête en arrière ; Pas de mouvement en avant de la poitrine ; Bras au-dessus des épaules et droits au niveau du coude ;
Peur		Tête en arrière ; Abdominaux neutres ; Positions des bras et de la poitrine sans effet ; Avant-bras relevés
Tristesse		Tête en avant ; Poitrine en avant ; Bras sur le côté du tronc ; Pas de torsion
Colère		Tête légèrement en arrière ; Épaules en avant ; Abdominaux non-courbés ; Bras levés vers l'avant et le haut
Dégoût		Posture non-définie car trop similaire à la peur.
Surprise		Courbures de la tête et de la poitrine en arrière ; Torsion abdominale ; Bras levés avec l'avant-bras droit.

Source : (Coulson, 2004)

Figure 22 Postures recevant la concordance la plus élevée pour chaque émotion avec les trois points de vue

	Front	Side	Rear	Description
Anger				Head bend -20 Chest bend 40 Abdomen twist 0 Shoulder swing -60 Shoulder -45 adduct/abduct Elbow bend -110 Weight transfer forwards
Disgust				Head bend -20 Chest bend 0 Abdomen twist -50 Shoulder swing -60 Shoulder -45 adduct/abduct Elbow bend 0 Weight transfer backwards
Fear				Head bend -20 Chest bend 20 Abdomen twist 0 Shoulder swing -60 Shoulder -45 adduct/abduct Elbow bend -50 Weight transfer backwards
Happiness				Head bend -20 Chest bend -20 Abdomen twist 0 Shoulder swing 50 Shoulder -45 adduct/abduct Elbow bend 0 Weight transfer neutral
Sadness				Head bend 50 Chest bend 40 Abdomen twist 0 Shoulder swing -60 Shoulder -45 adduct/abduct Elbow bend -50 Weight transfer backwards
Surprise				Head bend 25 Chest bend 0 Abdomen twist -25 Shoulder swing -80 Shoulder 0 adduct/abduct Elbow bend 0 Weight transfer backwards

Source : (Coulson, 2004)

5.2.3 Colorisation des émotions

Les expressions françaises, évoquant des émotions, sont souvent colorisées et les couleurs permettent de les imager. « Rire jaune », « avoir une peur bleue » ou « être rouge comme une tomate » sont des exemples représentant des expressions émotionnelles rehaussées de couleur.

En 1994, Chris Boyatzis et Reenu Vargheser ont réalisé une recherche sur l'association des couleurs et des émotions chez les enfants. Le travail a été effectué en s'intéressant à 60 sujets-enfants de 5 à 6 ans et demi, autant de filles que de garçons d'une école élémentaire de Californie, Etats-Unis. L'équipe de l'étude a demandé à chaque enfant quel était leur sentiment face à une couleur précise. Les couleurs vives étaient : rose, rouge, vert, jaune, violet et bleu. Les couleurs foncées étaient : noir, brun et gris. Les émotions positives représentées : bonheur, force et excitation ; les négatives : tristesse, colère et ennui. Les réponses ont démontré que les enfants ont eu des réactions positives aux couleurs vives telles que le rose ou le rouge. Les réactions ont été négatives pour le brun, le noir ou le gris. Les garçons ont montré un intérêt plus positif aux couleurs foncées alors que les jeunes filles ont eu une préférence marquée pour les couleurs vives et un désamour pour les couleurs sombres. (Boyatzis & Varghese, 1994)

Figure 23 Association couleurs et émotions des enfants selon l'âge et le sexe

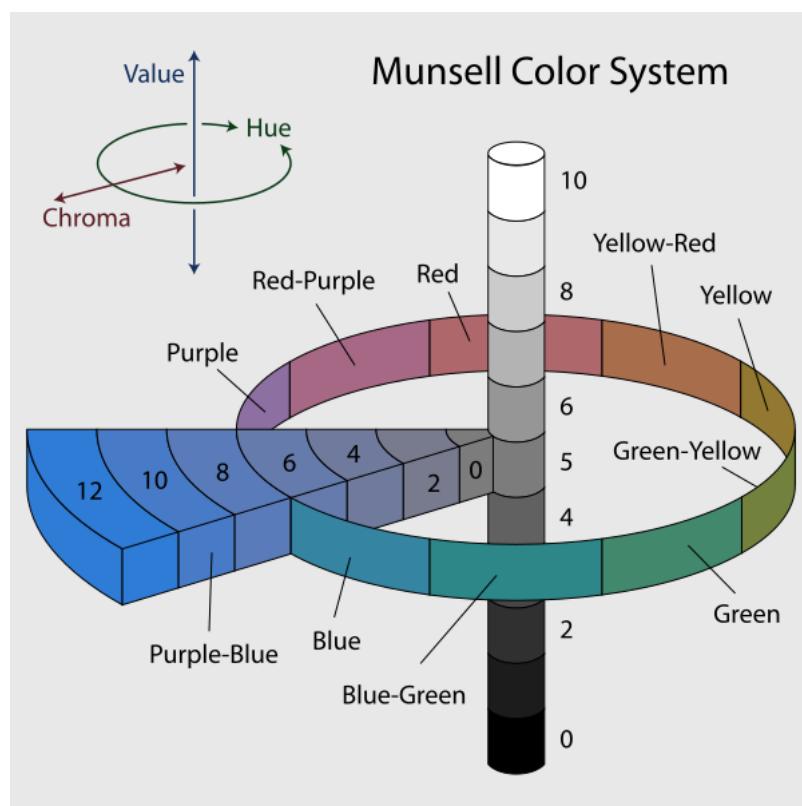
Group	Bright		Dark	
	Positive	Negative	Positive	Negative
Girls				
5-year-olds				
n	100	40	27	42
%	71	29	39	61
6½-year-olds				
n	100	16	25	32
%	86	14	44	56
Boys				
5-year-olds				
n	118	51	56	31
%	70	30	64	36
6½-year-olds				
n	107	27	37	20
%	80	20	65	35

Source : (Boyatzis & Varghese, 1994)

En 2004, les chercheurs Kaya et Epps ont effectué une étude sur un panel de 98 étudiants volontaires d'une institution publique afin d'identifier l'association entre les couleurs et les émotions. Ils ont choisi dix couleurs (rouge, jaune, vert, bleu, violet, jaune-rouge, vert-jaune, bleu-vert, violet-bleu et rouge-violet) chromatiques entièrement saturées provenant du système de couleurs Munsell, ainsi que trois couleurs achromatiques (noir, blanc, gris). Les résultats démontrent que les teintes principales ont obtenu un large écho de réponses émotionnelles positives. Dans un second temps, ce sont les couleurs intermédiaires et des couleurs achromatiques. Les deux chercheurs relèvent également qu'une « émotion liée à la couleur dépendait beaucoup de ses préférences personnelles et de son expérience passée avec cette couleur particulière » (Kaya & Epps, 2004). Une couleur peut être jugée à la fois

positive et négative. Les résultats ont démontré que le vert, la jaune, le bleu, le rouge et le violet étaient plus souvent adjoints aux émotions positives. Spécifiquement le vert était associé aux émotions et sentiments de relaxation, de bonheur, de confort, de paix et d'espoir. Le jaune est marié aux émotions de bonheur et d'excitation, le bleu quant à lui est lié à un effet de calme ou de relaxation. Le rouge a une double connotation, il représente à la fois l'amour, la romance et négativement le mal et le sang. La couleur vert-jaune a suscité le résultat négatif le plus important, soit 71,4% de réactions émotionnelles négatives. Il a provoqué des sentiments de maladie et de dégoût. Pour les couleurs achromatiques, le blanc est considéré comme positif (innocence, paix et espoir – négatif : solitude), à contrario le noir (dépression, peur et colère – positif : richesse et pouvoir) et grise (tristesse, dépression et ennui) sont ciblés majoritairement comme négatifs. (Kaya & Epps, 2004)

Figure 24 Le système de couleurs Munsell



Source : (Rus, 2007)

En 1997, les résultats d'une étude transculturelle sont présentés sur l'association des couleurs et des émotions. Elle inclut la participation de cobayes venant d'Allemagne, du Mexique, de Pologne, de Russie et des États-Unis. Il y a été question de lier quatre émotions (la colère, l'envie, la peur et la jalousie) à des couleurs. Les experts ont pu démontrer que « la colère » était reliée au noir et au rouge, seule la Pologne l'y associe aussi le violet. Les sujets décrivent « la peur » de couleur noire et, à l'exception du Mexique, en rouge. Les couleurs sont donc identiques selon ce panel pour ces deux émotions. Selon les chercheurs, le résultat de la colère est cohérent en termes de couleurs avec le travail effectué par Charles E. Osgood en 1960. (Hupka, Zaleski, Otto, Reidl, & Tarabrina, 1997)

Hanada Mitsuhiro publie en 2018 l'étude « Correspondence analysis of color-emotion associations » procédant de manière identique à ce que Kaya et Epps avait réalisé en 2004.

Cette fois, l'étude s'appuie sur l'aide de sujets-étudiants nippons de 19 à 24 ans. Il ressort de l'étude que certaines associations connues ont été confirmées. Par exemple, « le rouge est généralement associé à la colère et à l'excitation, le jaune au bonheur et le bleu au calme et au confort (Mitsuhiko, 2018) ». Il est également rappelé que de nombreuses associations de couleurs varient selon les cultures alors que d'autres sont universelles. (Mitsuhiko, 2018)

En définitive, il s'avère difficile de pouvoir attribuer une ou plusieurs couleurs à une émotion spécifique. Comme indiqué en préambule, le fait que chaque langue soit constituée de métaphores colorées et reliées à des sentiments ou des émotions. Il en découle des liens arbitraires selon la ou les langues parlées par tel ou tel sujet. (D'Andrade & Egan, 1974) (Mitsuhiko, 2018) Néanmoins comme l'indique Hanada Mitsuhiko en 2018 certaines associations tendent à être universelles (la colère et le rouge & la joie/bonheur et le jaune) (Mitsuhiko, 2018).

En sus, il s'est avéré impossible de trouver une couleur pouvant être attachée à l'émotion de surprise. Étonnamment, cette émotion qui semble faire l'unanimité dans la recherche et est considérée comme primaire, mais elle n'a que très peu été traitée dans les études d'association de couleurs aux émotions. En aparté, bien que conseillé par Paul Ekman, la production du film d'animation Vice-versa a occulté l'émotion de surprise en 2015 (Locoge, 2015). Le film intègre la joie, la colère, le dégoût, la peur et la tristesse. Niels Nijdam dans l'article « Mapping emotion to color » évoque et confirme qu'il n'y a pas de couleur qui représente l'émotion de surprise. (Nijdam, 2009)

5.3 Le rôle des émotions dans l'apprentissage

Les émotions ne sont pas que liées à la communication ou à l'interaction entre personnes. Elles peuvent également s'accommoder à l'apprentissage. L'équipe de David Sander relève en 2017 que les recherches actuelles « suggèrent que les compétences émotionnelles sont bénéfiques à la fois au bien-être et aux performances scolaires » (Sander, Denervaud, Franchini, & Gentaz, 2017). Les récentes recherches démontrent que les émotions soutiennent l'attention, la mémoire de travail, l'encodage, la consolidation en mémoire. Cette liste de processus est également considérée comme utile à l'apprentissage au niveau scolaire. (Sander, 2016) Toujours Sander dévoilait en 2013 que les émotions étaient parties prenantes du parcours scolaire des élèves et qu'elles pouvaient faciliter ou interférer dans leur apprentissage (Sander, 2013).

Pendant l'apprentissage, les étudiants vont être confrontés à de nombreuses émotions. Celles-ci peuvent être perçues comme des « émotions d'accomplissement » ou des « émotions épistémiques » selon le degré d'attention (Pekrun, 2016).

L'étude des émotions dans le cadre scolaire est encore neuve comme Frédérique Cuisinier et Francisco Pons le relèvent dans l'article « Émotions et cognition en classe » de 2011. Selon eux, seules quelques études ont été traitées entre 1974 et 2000. (Cuisinier & Pons, 2011) Ce registre d'émotions est regroupé sous l'entité des émotions épistémiques (ou émotions de connaissances). Elles sont liées à la motivation à apprendre. On y dénombre les émotions d'intérêt, de confusion, de surprise, d'émerveillement et d'admiration. Reinhard Pekrun estime que « les émotions peuvent être causées par les qualités cognitives de l'information sur les tâches et du traitement de ces informations. Un cas type est une incongruité cognitive qui provoque surprise, curiosité ou confusion. » (Pekrun, 2016) Les émotions épistémiques sont nommées comme cela car elles relèvent des aspects épistémiques des activités cognitives.

Pekrun donne comme exemple concret d'une émotion épistémique, la frustration que ressent un étudiant quand il ne parvient pas à résoudre un problème mathématique. Elle est considérée comme telle quand elle « est centrée sur l'incongruité cognitive impliquée par un problème non résolu, et comme une émotion d'accomplissement si elle est centrée sur l'échec personnel et une incapacité à résoudre le problème » (Pekrun, 2016).

Il s'agit également de présenter les émotions d'accomplissement qui sont adjointes aux activités et aux résultats dans l'apprentissage vers un but (Sander, 2018). Elles regroupent les émotions de joie, d'espoir, de fierté, de soulagement, d'anxiété, de frustration, de colère, de tristesse, de désespoir, de honte et d'ennui. (Sander, 2018) Cette liste d'émotions peut être scindée en deux groupes. Le premier est rattaché aux émotions liées comme l'ennui et le plaisir et le second groupe représente les émotions liées aux résultats comme l'espoir ou la fierté pour le succès et la honte ou le désespoir pour l'échec. Les émotions d'accomplissement sont donc liées à des activités ou à des résultats qui sont évalués suivant des normes de qualité en lien avec les compétences. Dans un cadre académique, ces émotions font références à des activités d'étude ou à des examens et aux résultats autant positifs que négatifs de ces réalisations. (Pekrun, 2016)

5.4 Synthèse

Cette synthèse du chapitre des émotions permet de regrouper les points découverts et qui composent la génération de chaque émotion. Cette synthèse démontre qu'il y a peu d'informations quant à la génération vocale des émotions de surprise et de dégoût.

Tableau 11 Regroupement des différents moyens (gestes-voix-couleurs) de représenter les émotions

Émotions	Geste	Voix	Couleur
Joie	Applaudissements rapides Corps étendu ; mains gardées hautes ; poings serrés et gardés haut Tête en arrière ; Pas de mouvement en avant de la poitrine ; Bras au-dessus des épaules et droits au niveau du coude	Volume sonore : fort-bruyant Vitesse de parole : rapide Hauteur : basse Durée parole : longue Longueur pause : longue Qté de pause : peu Rythme : régulier Énoncé : précise Remarque : -	jaune, vert
Peur	Mains au-dessus de la tête, geste Gestes italianisés Corps contracté ; body backing ; mains haut, essayant de couvrir les parties du corps Tête en arrière ; Abdominaux neutres ; Positions des bras et de la poitrine sans effet ; Avant-bras relevés	Volume sonore : fort-bruyant Vitesse de parole : rapide Hauteur : haute Durée parole : courte Longueur pause : courte Qté de pause : peu Rythme : Énoncé : - Remarque : -	noir, rouge
Tristesse	Les mains sur la tête, posture Tête en avant ; Poitrine en avant ; Bras sur le côté du tronc ; Pas de torsion	Volume sonore : bas Vitesse de parole : lente Hauteur : haute Durée parole : longue Longueur pause : irrégulière Qté de pause : beaucoup (entre phrases) Rythme : - Énoncé : - Remarque : discours calme, grave, confus	gris, bleu

Colère	<p>Soulèvement de <u>la</u> main rapide Gestes italianisés</p> <p>Corps étendu ; les mains sur la taille ; poings serrés et mains maintenues basses, près de la surface de la table</p> <p>Tête légèrement en arrière ; Épaules en avant ; Abdominaux non-courbés ; Bras levés vers l'avant et le haut</p>	<p>Volume sonore : fort Vitesse de parole : rapide Hauteur : basse Durée parole : courte Longueur pause : courte Qté de pause : peu Rythme : irrégulier Énoncé : précise Remarque :</p>	noir, rouge
Dégoût	<p>Soulèvement lent de <u>la</u> main Applaudissement lent</p> <p><i>Body backing</i> ; main gauche / droite touchant le cou ou le visage</p>	<p>Volume sonore : Vitesse de parole : lente Hauteur : Modérée Durée parole : - Longueur pause : longue Qté de pause : beaucoup Rythme : Énoncé : Remarque :</p>	vert, jaune
Surprise	<p>Les mains <u>sur</u> la tête, geste</p> <p>Courbures de la tête et de la poitrine en arrière ; Torsion abdominale ; Bras levés avec l'avant-bras droit</p>	<p>Volume sonore : fort Hauteur : - Vitesse de parole : rapide Durée parole : - Longueur pause : - Qté de pause : - Rythme : - Énoncé : - Remarque : -</p>	---

Source : de l'auteur

6 NAO ET ÉMOTIONS

Ce chapitre fait écho au précédent qui traitait des émotions et de la manière dont elles sont manifestées. Il est ici fait mention de la manière dont il est possible pour le robot NAO de comprendre l'état émotionnel d'un humain interagissant avec lui, de la manière dont NAO peut émettre des émotions. En sus, il sera fait référence des outils permettant de générer les émotions émises par le robot NAO au travers de sa voix, ses gestes et de ses yeux.

6.1 Modules d'émotions

NAOqi APIs contient deux modules reliés aux émotions directement liés à l'API *NAOqi Emotion*. Le premier nommé *ALMood* reconnaît les émotions de l'humain en interaction avec le robot ainsi que l'ambiance de l'environnement. Le second module, *ALRobotMood*, retourne les émotions émises par le robot.

ALMood

Ce module *ALMood* parvient à estimer :

- l'émotion d'un ou des humains lui faisant face,
- leur attention à vis-à-vis du robot,
- l'ambiance de l'environnement entourant le robot.

En définitive, le module *ALMood* est destiné à examiner les émotions des utilisateurs. *ALMood* fonctionne grâce à une estimation de l'humeur de l'utilisateur sur lequel le robot se concentre et ressort une estimation de la valence, l'ambiance et l'attention.

L'estimation de la *valence*, c'est-à-dire la positivité et la négativité, est calculée grâce à/aux :

- angles de tête du cobaye déduit par le module *ALGazeAnalysis*
- propriétés des expressions et les informations de sourire du module *ALFaceCharacteristics*
- analyse acoustique des émotions de la voix par *ALVoiceEmotionAnalysis*
- informations sémantiques des mots prononcés par l'utilisateur

L'*ambiance*, autant le calme que l'excitation, est estimée via le niveau sonore général défini au moyen du module *ALAudiodevice* et la quantité de mouvement devant le robot.

L'estimation de l'*attention* de l'humain faisant face au robot est évalué sur l'échelle suivante :

- non-engagé,
- semi-engagé,
- totalement engagé.

Le niveau d'*attention* est calculé en se fondant sur l'orientation de la tête et la direction du regard de l'utilisateur. Si la tête du cobaye est orientée vers le haut et que son regard est porté sur le robot, son attention sera évaluée comme importante.

Les fonctions de *ALMood* récupèrent

des informations des extracteurs ci-dessus pour les combiner en extracteurs de haut et bas niveaux. Les utilisateurs peuvent accéder à la représentation sous-jacente de la perception émotionnelle via un espace clé à deux niveaux : une clé d'information consolidée (par exemple, la valence, l'attention) et une clé d'information intermédiaire (par exemple, le sourire, le rire) (SoftBank Robotics, 2019).

Les clés de haut niveau sont élaborées en tenant compte de l'observation à un temps précis, l'état émotionnel préalable et l'environnement général et social. Il peut ainsi détecter un sourire trop long, forcé ou un cadre de travail bruyant.

Lors de l'appel des méthodes ci-dessous, il résulte un calcul de la valence qui contient une valeur de -1 (négatif) à 1 (positif) accompagné d'une valeur de confiance échelonnée de 0 à 1. Tous les autres champs contiennent une valeur et leur niveau de confiance propre, les deux allant de 0 à 1.

- `ALMood::currentPersonState` : pour l'utilisateur ciblé
- `ALMood::personStateFromUserSession` : pour tout utilisateur actif défini par un USID
- `ALMood::personStateFromPeoplePerception` : pour tout utilisateur actif défini par un PPID

Ces trois méthodes sont identiques et ont une sortie similaire à l'exemple de la figure ci-dessous. Les deux dernières citées sont utilisées en cas d'utilisation des modules *UserSession* et *PeoplePerception*. Ces fonctions ne sont pas intégrées dans un nœud prédéfini dans *Choregraphe*, mais peuvent y être utilisés dans un nœud *Python Script* ou via le SDK dans un autre environnement de développement.

Figure 25 Exemple de retour de la méthode `currentPersonState`

```
{
  'valence': {'confidence': 0.42603093385696411, 'value': -0.69477218389511108},
  'attention': {'confidence': 0.84265291690826416, 'value': 0.61642014980316162},
  'bodyLanguageState':
  {
    'ease': {'confidence': 0.5, 'level': 0.18965516984462738}
  },
  'smile': {'confidence': 0.015000000596046448, 'value': 0.28999999165534973},
  'expressions':
  {
    'joy': {'confidence': 0.95907974243164062, 'value': 0.0},
    'sorrow': {'confidence': 0.95907974243164062, 'value': 0.82999998331069946},
    'excitement': {'confidence': 0.0, 'value': 0.0},
    'calm': {'confidence': 0.95907974243164062, 'value': 0.0},
    'anger': {'confidence': 0.95907974243164062, 'value': 0.14000000059604645},
    'surprise': {'confidence': 0.95907974243164062, 'value': 0.02999999329447746},
    'laughter': {'confidence': 0.0, 'value': 0.0},
  },
}
```

Source : de l'auteur

Ces fonctions permettent de ressortir en sus de la valence et de l'attention, les expressions du visage comme la joie, le chagrin, l'excitation, le calme, la colère, la surprise et le rire. Dans *Choregraphe*, via les noeuds *Get Expression*, *Get Smile* il devient possible d'obtenir respectivement l'expression principale du visage ou la vigueur du sourire de l'utilisateur.

En complément, *ALMood* permet également d'obtenir une évaluation des émotions de l'utilisateur ciblé via `ALMood::getEmotionalReaction`. Cette méthode retourne une valeur émotionnelle parmi celles-ci : positive, neutre, négative et inconnue. Cette méthode est notamment utilisée dans *Choregraphe* via le nœud *Get Mood*. La fonction

`ALMood::ambianceState`, quant à elle, retourne l'état de l'environnement ambiant entourant le robot sur une échelle de 0 à 1 pour le niveau de calme et le niveau d'agitation.

Outre ces méthodes, il est possible d'accéder directement aux propriétés comme

- la **valence** ; qui retourne le string équivalent soit "positive", "neutral" ou "negative",
- l'**attention** ; qui retourne le string équivalent soit "unengaged", "semiEngaged" ou "fullyEngaged",
- l'**ambiance** ; qui retourne le string équivalent soit "calm" ou "excited",

et il existe pour chacune des propriétés ci-dessus, des propriétés officiant simplement comme signal lors d'un changement d'état. Par exemple, les propriétés `attentionChanged`, `valenceChanged` et `ambianceChanged` enverront un signal sous la forme de leur nouvel état.

(SoftBank Robotics, 2019)

ALRobotMood

Avant de débuter ce point, il s'agit de préciser que dans la documentation officielle du sous-module `ALRobotMood`, il est fait mention que ce service est en tout cas utilisé par le robot Pepper. En principe dans la documentation, si un robot est exclu d'un sous-module, il en est fait mention de manière explicite. Dans ce cas de figure, il n'y a pas d'observation indiquant que NAO ne l'utilise pas. Incertain quant au choix de traiter ou non ce thème, il a été décidé de tout de même l'évoquer. Dans un souhait d'éclaircir ce point une tentative de contact avec SoftBank Robotics a été réalisée. A l'heure d'imprimer ce document, il n'y a pas eu de réponse. De plus, il n'a pas été trouvé d'information particulière à ce sujet au sein de la communauté.

`ALRobotMood`, sous-module de `NAOqi Emotion`, sert à obtenir les émotions émises par le robot. Effectivement, NAO ressent des émotions et ce sous-module permet de les calculer. Celles-ci sont évaluées au travers de son état physique (`ALBattery` du module `NAOqi Sensors & LEDs`), mais aussi à travers le ressenti par rapport à l'environnement et aux gens qui l'entourent (`ALMood`). Les émotions des robots de SoftBank Robotics sont formés de deux sous-composants qui sont mesurés en même temps. Ces composants sont

- le **plaisir** ; qui peut être défini soit comme "positive" (1), "neutral" (0) ou "negative" (-1),
- l'**excitation** ; qui peut être définie soit comme "excited" (1) ou "calm" (0).

Les stimulations internes sont calculées avec le sous-module `ALBattery`. Le **plaisir** est considéré comme positif quand les batteries sont suffisantes et négatif quand celles-ci sont très basses.

Les stimulations externes, via `ALMood`, résultent de l'ambiance générale et les émotions émises par les utilisateurs. Le robot sera positif, si le cobaye est défini par le robot comme également positif et inversement en cas d'état négatif de l'humain. Pour l'excitation, le robot sera excité lorsque l'environnement sera bruyant et/ou qu'il y aura beaucoup d'agitation autour de lui. A contrario, un humain tranquille et avec une position statique entraînera un comportement identique du robot.

Ce sous-module comporte deux méthodes. La première `ALRobotMood::getFullState` obtient une estimation de l'état émotionnel du robot en retournant une liste indiquant le plaisir

et l'excitation ainsi que leur valeur de confiance. La seconde `ALRobotMood::getState` retourne l'état émotionnel simplifié au format string pour les paramètres de plaisir et d'excitation.

En plus de ces deux fonctions, des propriétés permettent d'accéder directement à

- l'état émotionnel complet du robot (`fullState`) ; qui retourne une structure complète de l'état émotionnel environ chaque seconde.
- l'état émotionnel simple du robot (`state`) ; qui retourne une structure de l'état émotionnel environ chaque seconde.
- le plaisir (`pleasure`) ; qui retourne l'état de son plaisir environ chaque seconde.
- l'excitation (`excitement`) ; qui retourne l'état de son excitation environ chaque seconde.

La durée de 1 seconde est définie par défaut et peut-être réglée.

Pour ce sous-module, il existe également des propriétés permettant retourne le nouvel état (`stateChanged`), plaisir (`pleasureChanged`) ou excitation (`excitementChanged`) à chacun des changements.

(SoftBank Robotics, 2019)

6.2 Émotions et voix

Tel qu'il en a été discuté dans le chapitre « 5.2.1 Voix », les émotions peuvent être communiquées par le biais de la voix. Dans le cadre de cette thèse, il s'agit d'utiliser les compétences vocales du robot NAO afin de lui permettre d'émettre des émotions par ce biais. Dans la suite de ce chapitre, les capacités de paroles du robot sont décrites.

En préambule, il faut savoir que dans la documentation officielle de la plateforme de SoftBank Robotics, il n'est nullement fait référence d'association entre la voix de leurs robots et les émotions.

ALTextToSpeech

`ALTextToSpeech`, sous-module de `NAOqi Audio`, permet au robot de parler. Ce sous-module envoie des instructions au moteur de synthèse vocale (text-to-speech engine). Il permet en outre de personnaliser la voix du robot. Le résultat de ces différentes opérations est ensuite audible via les haut-parleurs du robot.

`ALTextToSpeech` contient une vingtaine de méthodes qui permettent une large définition vocale du robot NAO. Ces méthodes sont saisies ci-dessous et ont été regroupées par centre d'utilité.

Parole	Langues
ALTextToSpeechProxy::say	ALTextToSpeechProxy::getAvailableLanguages
ALTextToSpeechProxy::sayToFile	ALTextToSpeechProxy::getSupportedLanguages
Dictionnaire	ALTextToSpeechProxy::getLanguage
ALTextToSpeechProxy::addToDictionary	ALTextToSpeechProxy::setLanguage
ALTextToSpeechProxy::deleteFromDictionary	
ALTextToSpeechProxy::showDictionary	
Paramètres de langue	
ALTextToSpeechProxy::getParameter	
ALTextToSpeechProxy	
Volume	
ALTextToSpeechProxy::getVolume	
ALTextToSpeechProxy::setVolume	
	Voix
	ALTextToSpeechProxy::getAvailableVoices
	ALTextToSpeechProxy::setLanguageDefaultVoice
	ALTextToSpeechProxy::locale
	ALTextToSpeechProxy::getVoice
	ALTextToSpeechProxy::setVoice
	ALTextToSpeechProxy::resetSpeed::setParameter
	Divers
	ALTextToSpeechProxy::stopAll

Le groupement de méthodes rattachées à la partie *Parole* permet au robot de parler en articulant un texte écrit en amont. La méthode *say()* laisse le robot simplement dire la chaîne de caractères reçue. La seconde méthode, *sayToFile()*, fonctionne de la même manière que *say()*, mais le signal est enregistré dans un fichier audio (.raw ou .wav) au lieu d'être émis par les haut-parleurs.

La partie *Dictionnaire* est utilisé pour définir la prononciation d'un mot. La méthode *addToDictionary()* est l'outil qui insère et modifie la prononciation d'un mot dans la langue actuelle. La prononciation est enregistrée dans le robot même si celui-ci est éteint. Comme son intitulé l'indique la méthode *deleteFromDictionary()* supprime le mot du dictionnaire. *showDictionary()* affiche simplement l'entier du dictionnaire du robot dans la langue actuelle. La documentation officielle présente ainsi la manière d'ajouter une nouvelle prononciation.

```
tts.setLanguage("English") // définition de la langue
tts.say("\toi=lhp\\'zi.R+o&U \\\toi=orth\\") // utilisation de la méthode say() et insertion de la
                                              // prononciation du mot « zéro »
```

Les méthodes répertoriées sous *Langues* permettent d'obtenir la liste des langues installées sur le robot (*getAvailableLanguages()*) et de retourner la liste de toutes les langues supportées par le robot (*getSupportedLanguages()*). Les méthodes *getLanguage()* et *setLanguage()* laissent aux développeurs connaître respectivement la langue actuellement employée et de définir la langue à employer.

La partie *Voix* est assujettie à la gestion vocale du robot. La fonction *getAvailableVoices()* retourne la liste des voix installées sur le robot. Les voix sont liées aux langues dans le cas où il y a quatre langues installées, il y aura 4 voix disponibles, soit une pour chaque langue. Cette fois-ci, *setLanguageDefaultVoice()* va servir à définir une voix avec une langue. Il est donc possible de lier la voix chinoise du robot à la langue française. Le résultat ne donnera pas un accent chinois au robot quand il parle français, mais une prononciation chinoise du français. Les méthodes *getVoice()* et *setVoice()* servent à définir et obtenir la voix actuellement utilisée. La fonction *locale()* qui retourne les paramètres régionaux (*localization*) associés à la langue utilisée par le robot en temps réel. Un exemple de retour serait « en_US ». *resetSpeed()* réinitialise la vitesse de parole du robot en utilisant la valeur stockée dans le paramètre *defaultVoiceSpeed*.

Les deux méthodes de la sélection rattachée à la partie *Volume* permet de gérer le son du robot et ainsi de connaître le niveau sonore ou de le définir. Le niveau sonore de base est fixé à 1.0.

En outre, la section *Paramètres de langue* contient deux méthodes très utiles *getParameters()* et *setParameters()* qui permettent d'obtenir les valeurs, mais surtout de les définir. Ces paramètres sont liés au moteur de synthèse vocale (*text-to-speech engine*). Ci-dessous ces paramètres sont décrits en se basant sur la documentation officielle traduite en français. D'autres paramètres existent, mais ne sont disponibles que pour le japonais.

Tableau 12 Paramètres de langue de *ALTextToSpeech*

Paramètres	Description
pitchShift	Ce paramètre applique un décalage de ton à la voix. La valeur indique le rapport entre les nouvelles fréquences fondamentales et celle d'origine (exemples : 2.0: une octave au-dessus, 1.5 : une quinte au-dessus). La plage acceptable est [1.0 - 4]. En le définissant à 0 l'effet est désactivé.
doubleVoice	Cela ajoute une deuxième voix à la première. La valeur indique le rapport entre la deuxième fréquence fondamentale de la voix et la première. La plage acceptable est [1.0 - 4]. En le définissant à 0 l'effet est désactivé.
doubleVoiceLevel	Cela définit le gain de la voix supplémentaire par rapport à celle d'origine. La plage acceptable est [0 - 4]. En le définissant à 0 l'effet est désactivé.
doubleVoiceTimeShift	Cela définit le délai (en secondes) entre le doublé et l'original. La plage acceptable est [0 - 0.5].
speed	Cela définit la vitesse actuelle de la voix. La valeur par défaut est 100. La plage acceptable est comprise entre [50 et 400].

defaultVoiceSpeed	Cela définit la vitesse par défaut de la voix. La vitesse sera définie sur cette valeur lors de l'appel de <code>ALTextToSpeechProxy :: resetSpeed</code> . Le réglage de ce paramètre réinitialise également la vitesse. La plage acceptable est comprise entre [50 et 400].
volume	La plage acceptable est comprise entre [0 - 100].
hauteur (pitch)	La plage acceptable est comprise entre [50 - 200]. Valeur par défaut 100.

Source : (SoftBank Robotics, 2019)

`ALTextToSpeech` offre également un enrichissement du discours du robot en utilisant des balises pour le paramétrage de la voix. Le principe est similaire à du HTML. Au lieu de placer des paroles entre balises, on dispose le texte devant une seule balise qui régler la voix. Plusieurs balises sont disponibles et vont modifier la prononciation en fonction du contexte. Ces balises permettent de s'affranchir d'utiliser `setParameters()` présenté ci-dessus, mais offrent une palette plus large de solution.

Les balises se construisent comme suit `\[balise]=valeur\`, ci-après un exemple :

```
tts.say("\vct=150\Hello my friends") // dit la phrase avec une hauteur de +50%
```

(SoftBank Robotics, 2019)

Tableau 13 Paramètre de langue de `ALTextToSpeech`

Balise	Description
\vct=valeur\	Dit une phrase avec une certaine hauteur/ton.
\rspd=valeur\	Dit une phrase avec à une certaine vitesse.
\pau=valeur\	Insère une pause d'une seconde dans le discours.
\vol=valeur\	Définit le volume du robot.
\mrk=valeur\	Cette balise est utile pour synchroniser la parole et une action spécifique du robot. La valeur est comprise entre 0 et 64535.
\rst\	Réinitialisation des paramètres par défaut

\\bound=valeur\\	Définition du type de limite prosodique W : limite de phrase faible (silence dans la parole) S : limite de phrase forte (silence dans la parole) N : pas de limite
\\emph=valeur\\	Accentuation/Emphase 0 : réduit 1 : stressé 2 : accentué
\\eos=valeur \\	Contrôle de la détection de fin de phrase 0 : supprimer un saut de phrase 1 : forcer une pause doit être placé juste après la ponctuation.
\\readmode=valeur\\	Lecture du texte fourni sent : mode phrase (valeur par défaut) char : mode caractère (similaire à l'orthographe) word : mode mot par mot
\\tn=valeur\\	spell : commencer à épeler le texte d'entrée suivant. address : lire le texte en tant qu'adresse. sms : lire le texte sous forme de message SMS. normal : réinitialiser à la normale la lecture du texte.
\\wait=valeur\\	Définir une durée de pause au terme d'une phrase.
\\style=valeur\\	Changer le style de langue neutral (valeur par défaut) joyful (joyeux) didactic (didactique)

Source : (SoftBank Robotics, 2019)

(SoftBank Robotics, 2019)

6.3 Émotions et mouvements

Les gestes et les mouvements peuvent induire des émotions comme il l'a été constaté dans le chapitre « 5.2.2 Gestuelle et mouvement ». Dans ce chapitre, la manière dont il est possible de gérer les mouvements du robot de SoftBank Robotics sera évoquée.

Les robots de SoftBank Robotics sont capables de se mouvoir dans l'espace et de réaliser un certain nombre de gestes qui leur ont été implémentés de base. Les mouvements sont gérés en grande partie au travers du sous-module *ALMotion* de l'API *NAOqi Motion*. Anciennement cet API était pourvu d'un sous-module appelé *ALMotionRecorder* qui enregistrait les poses des moteurs du robot et qui permettait de reproduire ensuite ces poses. A ce jour, ce module est déprécié. Il a été remplacé par l'*Animation Mode* qui est intégré à l'application *Choregraphe*. L'API *NAOqi Motion* est composé de six sous-modules permettant de gérer les mouvements du robot NAO et Pepper. Parmi ses six sous-modules, seul un est entièrement dédié au robot Pepper. Les sous-modules vont permettre aux androïdes d'éviter des obstacles, de prendre des positions prédéfinies ou encore de suivre des objets comme une balle rouge ou des points de repère.

Tel qu'évoqué le robot a déjà des animations (mouvements) implémentés, ces mouvements peuvent être utilisés notamment au travers du logiciel *Choregraphe*. Ces animations sont regroupées en plusieurs catégories contenant elles aussi des sous-catégories :

- **Creation** : permet la gestion de la diffusion d'animations créées au travers de l'application *Choregraphe*.
- **Dialog animations** : regroupe des animations permettant d'illustrer les propos tenus par les robots de SoftBank Robotics. Ces animations imagent des discours de questionnement, d'exclamation, d'énumération ou encore de propos positifs ou négatifs.
- **Moods** : répertorie des animations d'humeurs dans 3 sous-dossiers (positif, neutre et négatif). Elles enrichissent les paroles des robots en les agrémentant de mouvements représentant des bisous, de la joie, la réflexion ou l'ennui.
- **Entertainment** : présente les robots sous un jour plus divertissant. Les androïdes s'animeront comme des animaux ou simuleront des activités musicales ou de danses.

Néanmoins dans le cas de cette thèse, ces mouvements préenregistrés ne peuvent pas être utilisés car ils ne représenteront pas les gestes analysés dans le chapitre « 5.2.2 Gestuelle et mouvement ». Pour ce faire, il est nécessaire d'en créer de nouveau.

Enregistrement de mouvement

ALMotion est un sous-module à part entière et est donc gérable au travers de l'utilisation d'un langage de programmation. Comme le rappelle la documentation officielle, il facilite les déplacements des robots grâce à ses méthodes, mais permet également aux développeurs avancés de créer des mouvements.

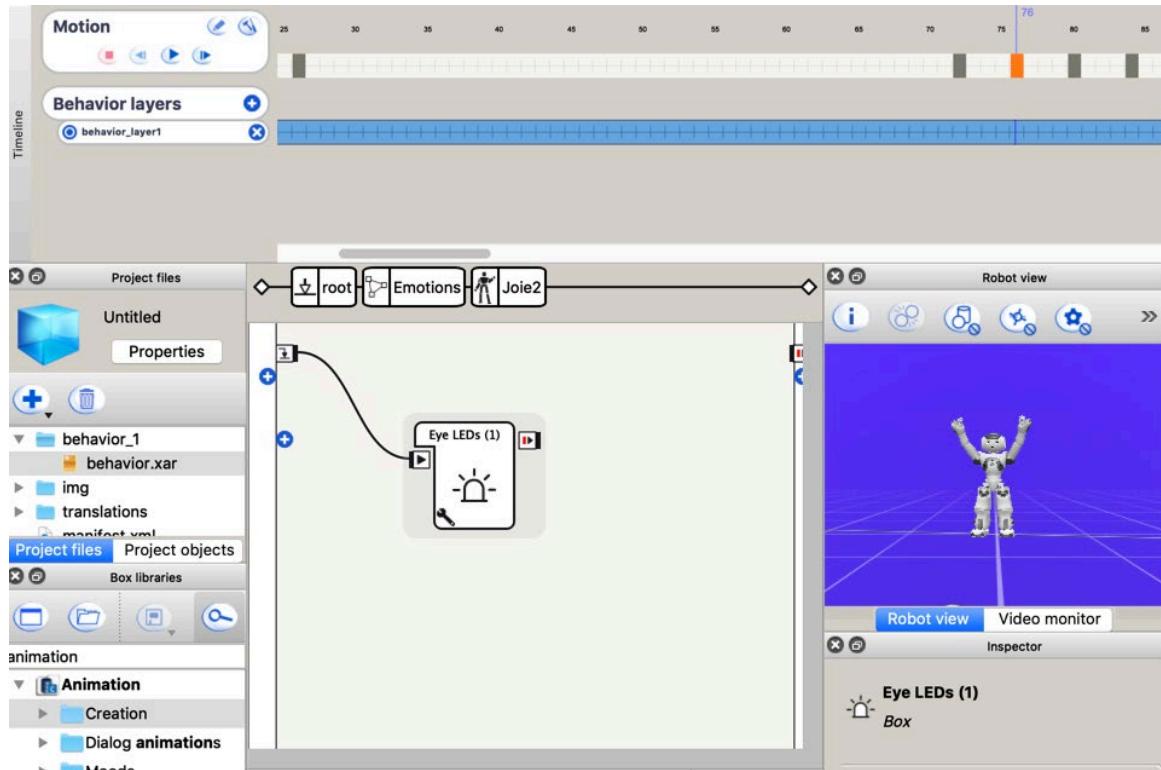
Il existe une seconde alternative pour créer des mouvements. Il s'agit de les réaliser au moyen du logiciel *Choregraphe*. Cette option est plus sécurisée pour les robots et les développeurs. Au contraire d'un développeur qui réaliserait un mouvement en ne passant qu'au travers du code, s'il utilise l'*Animation Mode*, il pourra créer les mouvements en manœuvrant physiquement les membres du robot qui retiendra par l'occasion les gestes à réaliser. Un développeur non-expérimenté qui passe par le code pour générer des mouvements risque de faire tomber au sol plus régulièrement le robot car les mouvements risquent d'être brusques et trop rapides. *Animation Mode* n'évite pour ainsi dire pas les chutes, mais permet d'exercer un plus grand contrôle sur la création et sur la sécurité des robots.

Plus succinctement, l'*Animation Mode* permet la création de mouvement en s'appuyant sur une ligne du temps. Le robot physique joue le rôle d'une marionnette qui est manipulée par le développeur. Les enchainements de mouvements sont enregistrés sur la longueur de la ligne du temps.

Ce mode permet d'enregistrer les mouvements des membres suivants en leur ôtant leur rigidité : les jambes, les bras et la tête. Il faudra au préalable avoir passé le robot dans un mode spécifique à l'enregistrement des mouvements.

La figure 26 représente une animation développée dans le cadre de cette thèse. Au sommet de l'image, on distingue la ligne du temps complétée de petites cases grisées représentant un mouvement spécifique. La seule case orangée représente le mouvement en cours soit le lever de bras du robot qui est affichée dans la visualisation au milieu droit.

Figure 26 Capture d'écran de Choregraphe avec l'Animation Mode



Source : de l'auteur

En outre, une fois une animation créée, le logiciel *Choregraphe* permet d'extraire le code Python de cette animation afin de l'utiliser dans le cadre d'un développement externe à ce programme.

(SoftBank Robotics, 2019)

6.4 Émotions et couleurs

Tel qu'il l'a été évoqué dans le chapitre « 5.2.3 Colorisation des émotions », les couleurs permettent également de se référer à une émotion. Nous allons ici comprendre de quelle manière, il sera possible d'utiliser ce vecteur d'émotion au travers du robot.

Des couleurs peuvent être émises par le robot NAO au travers des différentes LEDs que comptent son corps. Cependant les LEDs de ses oreilles sont des LEDs de couleur bleue et ne peuvent pas être modifiées. De plus, lors de la revue de la littérature, l'étude de Markus Häring, de Nikolaus Bee et de Elisabeth André, qui avaient utilisé le robot NAO, avait indiqué que l'utilisation des couleurs dans les yeux n'avait pas été significative. Il en ressortait que les sujets n'avaient pas été impactés par les couleurs dans la reconnaissance des émotions. Néanmoins, il a été décidé d'utiliser cette technique et de rendre les yeux du robot colorés en fonction des émotions émises.

La gestion des LEDs est regroupée dans l'API *NAOqi Sensors & LEDs* et permet une gestion des différents éléments lumineux du robot qui est aussi regroupé dans le sous-module

ALLeds. Pour rappel, chaque œil est composé de huit LEDs. Au moyen du sous-module, il est possible de créer des groupes d'ampoules afin de les gérer en commun. Cette gestion offre de moduler le temps d'apparition de la couleur, la définition de cette couleur et de travailler l'intensité de celle-ci. *Choregraphe* compte également plusieurs nœuds qui permettent une gestion fine des aspects lumineux du robots.

(SoftBank Robotics, 2019)

7 Cas pratique

Dans ce chapitre, le fonctionnement et les détails du cas pratique sont décrits. Celui-ci sera l'un des éléments clé pour évaluer l'hypothèse de ce travail.

7.1 Choix du cas pratique

En amont du projet, il était question de mettre en place un scénario utilisant le robot comme testeur. Le robot devait officier comme « personne » questionnant un individu testé sur une thématique technique. Pour ce faire, il était attendu du testeur qu'il réponde par une réponse moyenne à longue. Après chaque réponse, le robot doit émettre une émotion en lien avec la réponse (correcte ou non). En outre, le robot devait régulièrement évaluer l'état émotionnel du sujet et donner un retour répondant à cet état.

Après un rapide tour d'horizon des capacités de *NAOqi API*, il a été constaté que le robot était capable de repérer soit une liste entière de mots, soit un mot parmi une liste de mots. En utilisant la première option (liste entière de mots), il est possible de reconnaître les termes désirés au milieu d'un flux vocal. (SoftBank Robotics, 2019)

Par exemple, si l'on souhaite qu'un étudiant nous fournit la définition du mot « Ordinateur », nous aurions pu définir cette liste avec les mots suivants à repérer par le robot « machine, programme, logique ». La définition correcte attendue est : « Machine automatique de traitement de l'information, obéissant à des programmes formés par des suites d'opérations arithmétiques et logiques (Larousse, 2018) ». L'étudiant aurait dû apprendre en amont diverses définitions. Toutefois, il aurait pu aisément faire échouer le robot dans sa reconnaissance en définissant le mot ordinateur comme suit : « **Machine** automatique à laver le linge utilisant différents **programmes** et basée sur des cycles **logiques** ». En d'autres mots, il est facile de détourner la reconnaissance des mots et d'obtenir un bon résultat. De plus, pour décrire un mot, il n'y a pas d'une seule et unique définition à savoir et le robot n'a pas cette capacité d'analyse et de justesse.

Fort de ce constat, il a été question de trouver une alternative tout en conservant cet aspect de questions-réponses permettant un retour émotionnel du robot en fonction des réponses. Pour ce faire, il était nécessaire de s'appuyer sur la reconnaissance vocale implémentée de base dans le robot. Il a été décidé de créer le cas pratique autour d'une interaction dans laquelle le robot allait demander au testé de lui donner une réponse simple, courte et précise qu'il pourrait aisément évaluer. La décision a été prise de tester les sujets sur leurs connaissances en conjugaison.

7.2 Scénario d'apprentissage

En quelques mots, le scénario d'apprentissage consiste en une évaluation des connaissances des sujets en conjugaison et les retours émotionnels du robot en fonction de leurs réponses et de leur état émotionnel.

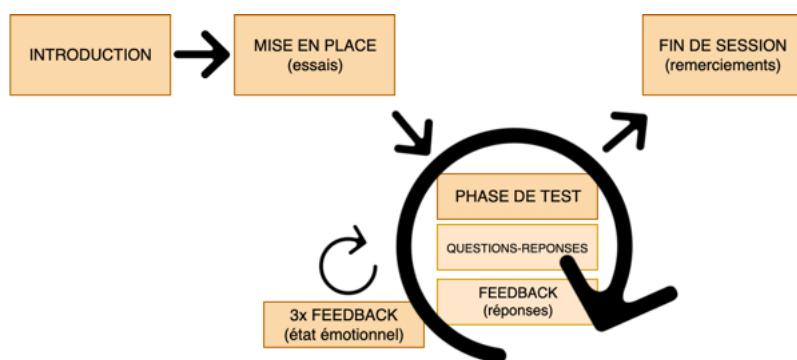
Plus concrètement, le scénario débute par une courte introduction et présentation du robot humanoïde quant à la suite de l'épreuve. Dans un second temps, l'androïde effectue une phase dite de « Mise en place » afin de mettre le sujet en situation et qu'il comprenne le

déroulement de l'évaluation. Lors de cette deuxième phase, il va questionner à deux reprises le sujet en utilisant le même format de questions qui sera utilisé lors de l'examen. Le robot effectuera deux retours neutres d'émotion. Cette étape achevée, NAO lance immédiatement la phase de test concrète. Le robot questionne à 15 reprises le cobaye et effectue des retours émotionnels en fonction des réponses bonnes ou mauvaises de l'étudiant. Pour chaque question, il y a donc un retour dit positif ou un retour dit négatif. Un retour unique négatif, bien que la réponse du sujet soit juste ou fausse, est également réalisé lors des questions 6 et 12 ceci afin d'essayer de déstabiliser le sujet. En complément, le robot effectuera à trois reprises entre les questions 4-5, 10-11 et 14-15 une analyse de l'état émotionnel du sujet et réalisera un feedback s'y rattachant. La dernière phase de cet entretien entre humain et robot s'achève par les remerciements de ce dernier.

Seuls trois verbes sont utilisés : aimer, vendre et courir. Il sera demandé aux sujets de les conjuguer au temps et mode suivants : indicatif présent, imparfait, futur simple, conditionnel présent et subjonctif imparfait.

Pour l'enchainement de questions, il a été décidé que les cobayes ne pouvaient pas demander au robot de répéter la consigne. De ce fait, une fois la question posée celle-ci devait être comprise par l'étudiant sans possibilité d'obtenir une aide par la suite comme dans le cadre d'un examen.

Figure 27 Schéma d'enchainement du scénario



Source : de l'auteur

7.3 Choix de la technologie de développement

Avant de débuter la phase de développement, il a été question de choisir l'outil le plus adapté. Dans les investigations menées en amont de ce chapitre, on peut montrer que deux solutions s'offraient aux développeurs.

La première solution consiste à utiliser un environnement de développement et d'installer le SDK dans l'un des langages de programmation disponibles. De prime à bord, cette solution permet une création libre du scénario et une haute liberté de programmation. La seconde option vise à utiliser exclusivement l'environnement du logiciel *Choregraphe* et de corriger certains nœuds si besoin via l'accès au code fait en Python.

Après une prise en main et une série de différentes mises en situation du robot NAO via l'application *Choregraphe*, il s'avère que l'entier des nœuds existant permet la création du

prototype sans avoir à passer par de la programmation. Dès lors, la première solution utilisant le développement pur et dur est abandonnée. Effectivement, il aurait été possible d'installer le SDK de NAOqi et créer par ce moyen le prototype. Toutefois, il aurait été nécessaire de reproduire à l'identique le code des nœuds de l'application *Choregraphe* et ainsi de créer une redondance et un travail supplémentaire inutile. Il n'y avait donc aucun avantage à choisir cette option alors que *Choregraphe* répond parfaitement aux besoins définis pour ce travail. Pour rappel, l'application fonctionne grâce au SDK NAOqi.

7.4 Création du prototype

Le prototype va être créé sur la base du scénario d'apprentissage dévoilé au point 7.2. Pour ce faire, différents points vont devoir être préparés en se basant sur les acquis précédemment obtenus lors des recherches en lien avec les émotions. Les aspects importants de la réalisation du prototype sont démontrés et, pour chaque étape, les contraintes et problèmes rencontrés sont présentés.

7.4.1 Définition précise du scénario orale

Avant de débuter l'élaboration du prototype, le scénario entier a été rédigé et a prévu toutes les interactions entre le robot et le cobaye en se basant sur le schéma de la Figure 27. En annexe du présent document se trouve le script général de l'entretien.

Les retours du robot suite aux réponses et ceux réalisés après l'évaluation émotionnelle des sujets ont été réalisés dans un premier temps pour une phase d'essai interne du prototype. Lors de cette phase, seules quelques questions ont été mises en place. Il s'est avéré que les retours étaient trop longs et trop négatifs en cas d'erreur. Par rapport à ces retours négatifs, il faut savoir que la reconnaissance vocale de NAO ne fait pas la différence entre une véritable réponse et une réflexion à haute voix du sujet. En cas de réflexion à haute voix, le robot va juger cela comme une réponse. De par cet état de fait, il a fallu revoir les retours en cas de mauvaise réponse pour qu'il soit entre la neutralité et le négatif. En s'appuyant sur ces constatations, le script définitif a été rédigé.

Les questions ont été rédigées en utilisant une structure identique et aisément reconnaissable, voir ci-après : « Conjuguez le verbe « CHANTER » à la première personne du singulier du présent de l'indicatif ». Chacun de ces énoncés est prononcées par le robot sur un ton neutre.

7.4.2 Reconnaissance vocale

Le scénario est largement basé sur l'échange entre le testeur et le testé. Il est dès lors primordial de pouvoir identifier la réponse du sujet à la question du robot. NAOqi permet au robot d'être à l'écoute des propos tenus par les interlocuteurs. En l'occurrence, via *Choregraphe*, le nœud « Choice » est basé sur le moteur de reconnaissance vocale. Ce nœud contient en son sein deux sous-nœuds. L'un des deux permet de définir une question et le second de prédefinir des réponses attendues. Toutefois, le second sous-nœud également nommé « Choice », contenant les propositions de réponses, a le désavantage de permettre aux étudiants de demander de l'aide ou de répéter la question à maintes reprises. Ces deux options peuvent être désactivées. Lors de différents essais, malgré avoir désactivé ces options, il était étonnamment toujours possible de répéter la question. Il était également possible de définir un nombre de répétitions de la réponse en cas d'échec. Bémol, ce

paramètre de répétition ne peut pas être défini à zéro, si un sujet fait une erreur et que le robot ne comprend pas la réponse, il va automatiquement offrir un nouvel essai. Cette situation va à l'encontre du fonctionnement du scénario.

Choregraphe contient un second nœud « Speech Recognition » qui offre un fonctionnement de reconnaissance vocale similaire au nœud « Choice », mais en comptant un nombre d'options radicalement moins élevées. Ces paramètres sont les suivants :

- La liste du ou des mots attendus
- Le seuil de confiance en pourcentage (de la réponse du sujet)
- La détection des mots dans une phrase

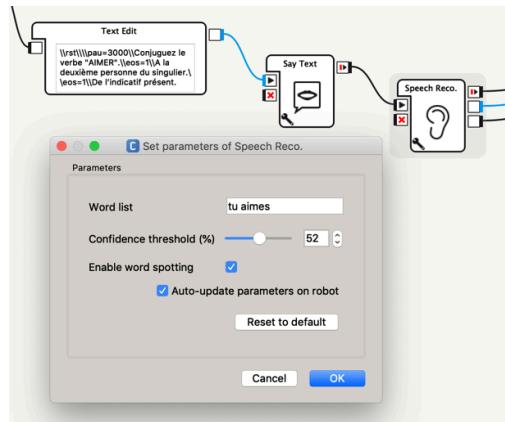
Le nœud « Speech Recognition » a également l'avantage de donner une réponse binaire, la réponse est soit juste, soit fausse.

Il a été décidé d'opérer les parties de questions-réponses en utilisant ce dernier nœud qui offre le moyen au robot d'écouter les réponses et de les valider. Néanmoins lors d'un pré-développement du prototype, il a été constaté que ce dernier nœud comportait quelques problèmes. Chaque question doit avoir son propre nœud « Speech Recognition » pour fonctionner. Il a été constaté que quand le premier nœud avait été utilisé pour sa question, il ne se désactivait pas et restait à l'écoute. Quand le robot exécutait la question suivante, c'est le « Speech Recognition » précédent qui restait activé. De ce fait, pour que la réponse (de la question 2) soit considérée juste, il fallait fournir la réponse de l'exercice 1, ce qui n'est pas logique, ni acceptable. Cet état de fait a lourdement handicapé la mise en place du prototype. Malgré des recherches dans la documentation et dans la communauté entourant NAO, il n'y a pas eu de solution trouvée. Lors d'un essai, il a été choisi de mettre en place le nœud principal « Choice » et de remplacer ses deux sous-nœuds par le nœud « Speech Recognition ». Il s'est avéré que le nœud principal « Choice » agissait comme une boîte quasi-hermétique ne pouvant qu'interagir vers l'extérieur. Le nœud « Speech Recognition » incrusté en son sein, un fois utilisé, n'était plus capable d'écouter les réponses suivantes et se voyait désactivé.

Second élément problématique, le nœud « Speech Recognition » fonctionne avec le paramètre dit du « seuil de confiance ». C'est-à-dire que ce nœud se met à l'écoute au terme d'une question et il attend une ou des réponses précises qui lui ont été transmises en amont. Si la réponse attendue est « Tu vends », le robot va analyser la réponse orale du sujet et va émettre un pourcentage de confiance en rapport. *Choregraphe* permet aux développeurs de connaître ce taux de confiance dans une vue intégrée à l'application. En cas de bonne réponse orale, le taux oscille généralement entre 50 et 60 pour cent, mais il est généralement proche de 52-53 pour cent. Il aurait été dès lors possible de définir ce taux à 50 pour cent et d'ainsi considérer que si une réponse atteignant au moins ce taux, elle devait être considérée comme juste. Néanmoins après quelques essais, si la réponse attendue était « Tu vends », il était possible d'obtenir une valeur de taux de confiance supérieur à 50 pour cent en répondant oralement « Je vends » car la fin de la réponse est identique à celle attendue. Malgré plusieurs recherches dans la documentation, il n'y a pas un taux de confiance à appliquer qui est suggéré. Il a donc été choisi de monter ce taux de confiance à 52 pour cent afin d'éviter autant que possible ce souci.

Contrainte complémentaire, quand le nœud « Speech Recognition » est activé, la situation aurait été identique avec la seconde option, il s'attend à recevoir une réponse. Si le sujet réfléchit à haut-voix, le nœud va considérer cette réflexion comme une réponse. « Speech Recognition » ne fait pas la part des choses.

Figure 28 Intérieur du nœud « Choice » comprenant la donnée d'exercice et le nœud « Speech Recognition »



Source : de l'auteur

7.4.3 Générations des émotions

Après chaque question, quand la reconnaissance vocale a réalisé son travail, il s'agit de donner un retour contenant une émotion en lien avec la réponse émise par le sujet. Si la réponse est bonne, le retour est bon et si la réponse était mauvaise, le retour est mauvais.

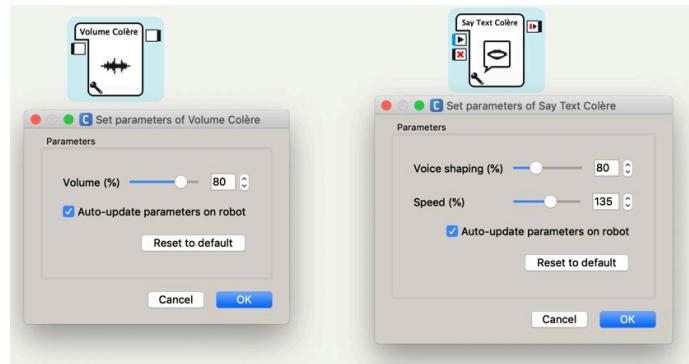
Pour mettre en place cette génération d'émotion, il a fallu s'appuyer sur les informations collectées dans le cadre des chapitres « 5 Les émotions » et « 6 NAO et émotions ». Avant de créer ces émotions, il a fallu déterminer quelles émotions allait être représentées. Il faut se souvenir que le robot NAO, dans son état normal, via *ALRobotMood*, obtient un état émotionnel en s'appuyant « sur son propre état physique et sur les sentiments de l'environnement et des personnes qui l'entourent » (SoftBank Robotics, 2019). Néanmoins, cet état ne permet pas de lui attribuer une émotion à proprement parler. Il n'est donc pas possible d'utiliser cette partie de NAOqi. Les points découverts en lien avec les émotions (aux chapitres 5 & 6) ont permis de mettre en lumière six émotions primaires qui vont être modélisées au travers de l'androïde. Si l'on souhaite générer des émotions au robot, il s'agira de les créer artificiellement via la voix et les paroles, la gestuelle et la colorisation des yeux de NAO.

Voix

La première étape concerne la voix du robot. Le chapitre « 6.2 Émotions et voix » éclaire partiellement ce point et permet de découvrir les options vocales du robot et les éléments découverts au point « 5.2.1 Voix » démontrent de quelle manière la voix humaine peut émettre des émotions. Le Tableau 14 représente l'union de ces éléments qui permettront de développer la voix du robot dans le cadre du prototype. Certaines valeurs ont dû être définies de manière quelque peu arbitraire, mais toujours en se référant aux informations collectées. On pense ici au volume, à la vitesse ou à la forme de la voix car il n'existe pas de donnée précise pour les régler à un niveau spécifique. De plus, pour certaines émotions comme la surprise ou le dégoût peu d'information ont été trouvées, les voix resteront dès lors partiellement neutres.

Ci-après, la Figure 29 démontre les paramètres principaux pour la gestion de la voix. Les autres paramètres comme la gestion des pauses dans le discours se font directement dans le texte.

Figure 29 Représentation des paramètres de gestion de voix.



Source : de l'auteur

Tableau 14 Association entre émotions vocales et voix de NAO

Émotions	Valeurs	Voix	Voix NAO
Joie	Volume sonore : Vitesse de parole : Hauteur : Durée parole : Longueur pause : Qté de pause : Rythme : Énoncé : Remarque :	fort-bruyant rapide basse longue longue peu régulier précise -	Volume : 75/100 Speed : 135% Voice shaping : 80% longue longue \\pau=1200\\ peu - \\emph=1\\ -
Peur	Volume sonore : Vitesse de parole : Hauteur : Durée parole : Longueur pause : Qté de pause : Rythme : Énoncé : Remarque : -	fort-bruyant rapide haute courte courte peu - - -	Volume : 80/100 Speed : 145% Voice shaping : 120% courte courte \\pau=500\\ peu - - -

Tristesse	Volume sonore : Vitesse de parole : Hauteur : Durée parole : Longueur pause : Qté de pause : Rythme : Énoncé : Remarque : -	bas lente haute longue irrégulière beaucoup (entre phrases) - - calme, grave, confus	Volume : 45/100 Speed : 90% Voice shaping : 120% longue irrégulière beaucoup (entre phrase - - -
Colère	Volume sonore : Vitesse de parole : Hauteur : Durée parole : Longueur pause : Qté de pause : Rythme : Énoncé : Remarque : -	fort rapide basse courte courte peu irrégulier Précise -	Volume : 80/100 Speed : 135% Voice shaping : 80% courte courte \\pau=400\\ peu irrégulier \\emph=1\\ -
Dégoût	Volume sonore : Vitesse de parole : Hauteur : Durée parole : Longueur pause : Qté de pause : Rythme : Énoncé : Remarque : -	- lente Modérée - longue beaucoup - - - - - -	Volume : 50/100 Speed : 90% Voice shaping : 100% - Longue \\pau=1200\\ beaucoup - - - -
Surprise	Volume sonore : Vitesse de parole : Hauteur : Durée parole : Longueur pause : Qté de pause : Rythme : Énoncé : Remarque : -	fort rapide - - - - - - - - -	Volume : 80/100 Speed : 125-130% Voice shaping : 100% - - - - - - -

Source : de l'auteur

Gestes et mouvements

Les gestes et les mouvements qui doivent induire des émotions ont été réalisées en se concentrant sur les informations rassemblées dans les chapitres « 5.2.2 Gestuelle et mouvement » et « 6.3 Émotions et mouvements ». La réunion des informations de gestuelle et mouvement dans le Tableau 11 et les images du Tableau 10 ont permis la génération des émotions au moyen du logiciel *Choregraphe* et de l'*Animation Mode* qui y est intégré. Chaque émotion a été fabriquée à double en utilisant des positions différentes, mais reproduisant l'émotion.

La page suivante démontre chaque émotion à un instant précis. En aparté, il ne faut toutefois pas tenir compte des yeux, orange-verts, qui sont colorés de cette manière car les images ont été saisies lors de l'utilisation de l'*Animation Mode* de *Choregraphe*.

Pour ces animations émotionnelles, seuls les membres du haut du corps ont été articulés. Il y a eu peu d'informations trouvées en relation avec le positionnement des jambes lors des recherches. De plus, la stabilité du robot est délicate à maîtriser et celui-ci peut rapidement perdre l'équilibre. D'un point de vue technique et également sécuritaire, il a été décidé de conserver les jambes fixes.

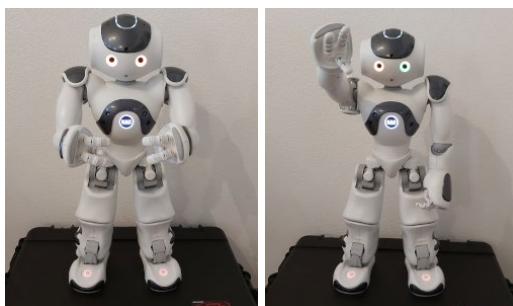
JOIE



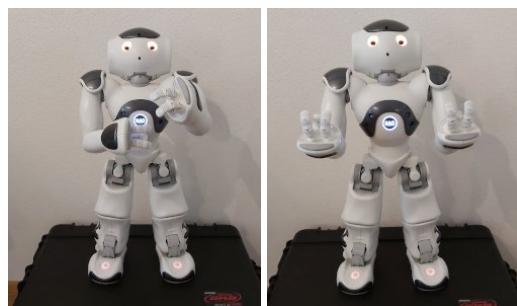
TRISTESSE



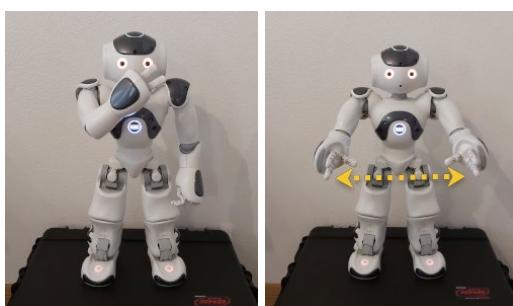
COLERE



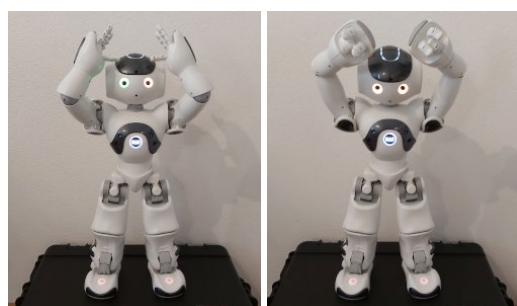
PEUR



DEGOUT



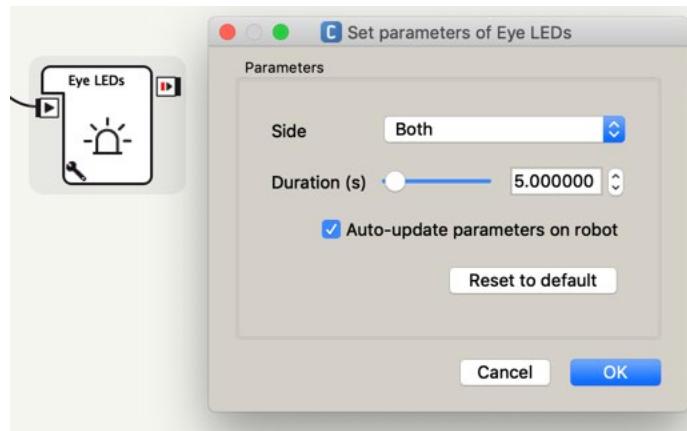
SURPRISE



Colorisation des yeux

Dans les chapitres « 5.2.3 Colorisation des émotions » et « 6.4 Émotions et couleurs », il a été évoqué que certaines couleurs pouvaient amener à ressentir certaines émotions. En se basant sur les données regroupées dans le Tableau 11, les couleurs ont été implémentées pour chaque émotion dans les yeux du robot. Pour ce faire, le nœud « Eye LEDs » a été utilisé. Il permet de définir la couleur souhaitée et la durée d'exposition de celle-ci en seconde comme le représente ci-dessous la figure.

Figure 30 Paramétrage des couleurs émotionnelle dans les yeux du robot



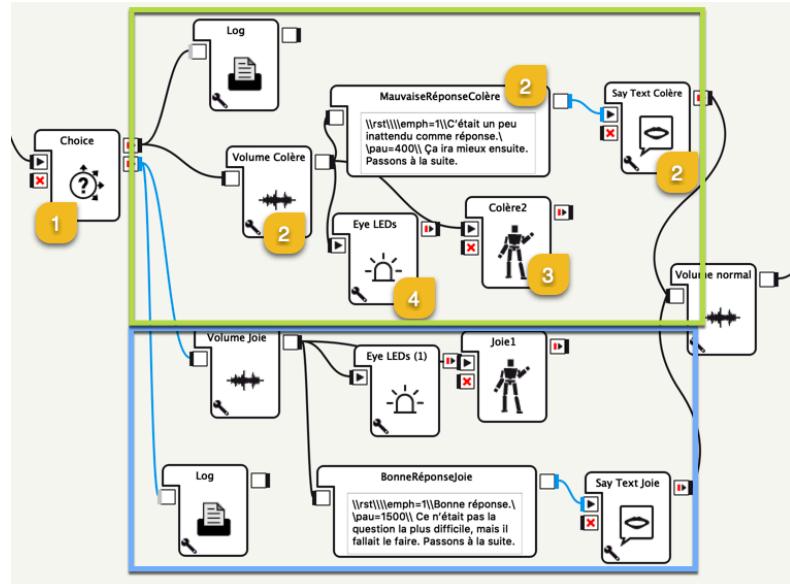
Source : de l'auteur

Résultat de la génération des émotions

Au final, après chaque question, le robot va devoir réaliser un retour émotionnel soit positif, soit négatif en fonction de la réponse donnée et de l'estimation de cette réponse par le robot via le nœud « Speech Recognition ». Pour ce faire, il va falloir fusionner les éléments présentés ci-dessus à savoir la parole, la voix, les gestes et les yeux. La Figure 31 représente la génération des émotions via l'application *Choregraphe*. Il s'agit de regrouper chaque composante. L'encadré vert représente le retour négatif en cas d'erreur, alors que le bleuté montre le fonctionnement du retour positif-juste. Chaque point de l'illustration est décrit ci-après.

1. Question posée par le robot
2. Nœuds permettant la gestion de la parole et du son
3. Nœud relatif à l'animation (gestes-mouvements)
4. Nœud en lien avec la colorisation des yeux

Figure 31 Exemple de génération des émotions via Choregraphe



Source : de l'auteur

7.4.4 Analyse de l'état émotionnel des sujets

Tel qu'évoqué en préambule de ce chapitre, à trois reprises au cours du questionnaire le robot doit réaliser une évaluation émotionnelle des participants puis réaliser un retour en fonction du résultat obtenu.

Pour ce faire, NAOqi contient dans l'API *NAOqi Emotion*, le sous module *ALMood*. Pour rappel, ce module permet notamment d'évaluer l'état émotionnel d'un participant, mais aussi sa concentration ainsi que d'autres facteurs. Pour réaliser cette opération, il est possible d'utiliser le nœud préconfiguré par SoftBank Robotics : « Get Mood ». Cette boîte va retourner l'état émotionnel de la personne interagissant avec le robot pendant les quelques secondes qui ont eu lieu avant l'appel de cette méthode (SoftBank Robotics, 2019). Les valeurs obtenues sont les suivantes : positif, négatif, neutre, inconnu.

La boîte « Get Mood » d'*ALMood* ne fonctionne que si la partie *ALAutonomousLife* est activée. *ALAutonomousLife* est la partie qui fait fonctionner et surtout gesticuler le robot en tout temps. En désactivant, ce sous-module le robot ne bougerait pas, sauf en cas d'appel d'une animation créé via l'*Animation Mode*. Il est donc nécessaire de le faire fonctionner. Le robot réalisera donc certains mouvements pendant l'entretien qui n'ont pas été configuré dans notre scénario de base. Il arrive que, même si *ALAutonomousLife* est censé fonctionner, qu'il ne fonctionne en fait pas pleinement et le nœud « Get Mood » ne parvient pas à retourner une évaluation du sujet. La valeur retournée est : inconnue.

Il n'y a pas d'explication pour savoir comment sont obtenus les résultats positif, négatif ou neutre et ils ne sont pas rattachés à une émotion en particulier. De ce fait, il a été décidé que si le retour était :

- Positif : les émotions de joie ou de surprise seraient jouées
- Négatif : les émotions de colère, de tristesse, de dégoût et de peur seraient jouées
- Neutre et inconnu : un retour neutre

Ces émotions se baseront sur les animations réalisées et présentées dans le point « 7.4.3 Générations des émotions ».

8 Entretiens et test du prototype

Une fois, le développement du prototype achevé, il s'agit de le tester face un échantillon d'étudiants. Ce chapitre va présenter la méthodologie choisie, la manière de composer l'échantillon de sujets, le déroulement des essais et des entretiens. Au terme de cette partie, les résultats obtenus lors de ces rencontres seront présentés.

8.1 Objectifs

Ces tests et ces retours d'utilisateurs ont pour but de :

- définir si une interaction est possible dans un format de question-réponse entre NAO et un étudiant
- définir si NAO est capable de transmettre des émotions à ses interlocuteurs
- définir si ces émotions peuvent influer sur la perception d'apprentissage des étudiants

8.2 Approche qualitative

Cette phase de test a été réalisée sous la forme d'une enquête qualitative. Ce choix s'impose par le fait qu'un seul robot NAO est possédé par Cyberlearn. Ainsi, pour réaliser une étude quantitative, il s'agirait de s'appuyer sur un panel large d'étudiants ce qui imposerait le besoin d'avoir quelques robots complémentaires, un temps de test plus étendu et des ressources humaines supplémentaires.

Ces rencontres sont l'occasion de répondre à la question de recherche. Cette étude est exploratoire et il s'agit de découvrir si le robot NAO est capable d'influencer la perception d'apprentissage d'un étudiant au travers de ses (NAO) émotions. Pour ce faire, il s'agira de collecter les retours des sujets par rapport à la situation vécue lors de l'interaction avec le robot. Il est donc question de prendre le pouls de participants et comprendre leur comportement, obtenir leurs avis, sentiments et émotions lors d'une discussion et de la mise sur papier de leurs différents retours.

8.3 Échantillon

Dans le cadre d'une étude qualitative, l'échantillon a sélectionné est restreint et les personnes sélectionnées doivent représenter un certain quota prédéfini. Ce type d'étude qualitative est utilisée afin de comprendre des points sous-jacents et donc de dégager des tendances d'opinion pour découvrir un problème. (SnapSueys, 2001)

Lors de ces entretiens 10 étudiants de la HES-SO ont été invités à prendre part à la phase de test du prototype. Les sujets sont représentatifs du nombre d'élèves par domaine de la HES-SO. Ci-dessous est présenté un tableau représentant la situation du nombre d'étudiants de chaque domaine d'étude de la Haute École Spécialisée de Suisse occidentale en adéquation avec le rapport 2017 de l'institution. Les deux domaines des arts (Design & Arts visuels - Musique et Arts de la scène) n'atteignent pas individuellement un quota d'élèves suffisant pour être représentés dans le cadre de cette étude. Il a toutefois été choisi de leur octroyer

une personne qui les représentera de manière commune. Cette décision se justifie car ces deux domaines représentent, à eux deux, la partie artistique de l'HES-SO et surtout leur quota (12,3%) cumulé permet de leur octroyer un sujet dans le cadre de cette étude.

Tableau 15 Répartition des domaines rapportée à 10 étudiants

Design & Arts visuels	Économie & Services	Ingénierie et Architecture	Musique et Arts de la scène	Santé	Travail social
1'354 étudiants 6,5%	7'017 étudiants 33,8%	4'644 étudiants 22,4%	1'208 étudiants 5,8%	3'714 étudiants 17,9%	2'809 étudiants 13,5%

Source : (HES-SO, 2018)

L'échantillon représentera les domaines comme suit

- Design & Arts visuels – Musique et Arts de la scène : 1 sujet
- Économie & Services : 4 sujets
- Ingénierie et Architecture : 2 sujets
- Santé : 2 sujets
- Travail social : 1 sujet

Parmi ces 10 personnes, il a été choisi de travailler avec un nombre de femmes et d'hommes représentant les forces en présence au sein de la HES-SO en termes d'étudiants. La répartition entre les deux genres tend à être égal en 2017. Il était souhaité de présenter autant de sujet des deux sexes. Une première répartition était bien homogène, mais un sujet masculin a dû être remplacé. Il l'a été par une femme. Ce changement reste toutefois proche de la réalité car la gente féminine est plus nombreuse au sein de l'institution. La réparation finale est de 6 femmes et de 4 hommes.

Tableau 16 Répartition hommes – femmes rapportée à 10 étudiants

Hommes	Femmes
9'896 étudiants 47,55%	10'914 étudiantes 52,45%
4 (4,7)	6 (5,3)

Source : (HES-SO, 2018)

Le prochain tableau représente les personnes présentes lors des entretiens et leurs représentations.

Tableau 17 Liste des étudiants représentant l'échantillon

Sujet n°	Sexe	Age	Domaine	Année	Degré	Lieu
1	Féminin	26	Santé	3 ^{ème}	Bachelor	Viège
2	Homme	29	Ingénierie et Architecture	1 ^{ère}	Master	Fribourg
3	Féminin	25	Économie & Services	2 ^{ème}	Master	Lausanne
4	Masculin	21	Économie & Services	2 ^{ème}	Bachelor	Sierre
5	Masculin	19	Économie & Services	1 ^{ère}	Bachelor	Sierre
6	Féminin	22	Économie & Services	2 ^{ère}	Bachelor	Sierre
7	Féminin	24	Travail social	3 ^{ème}	Bachelor	Sierre
8	Féminin	24	Musique et arts de la scène	3 ^{ème}	Bachelor	Genève
9	Masculin	26	Ingénierie et Architecture	2 ^{ème}	Bachelor	Fribourg
10	Féminin	24	Santé	3 ^{ème}	Bachelor	Viège

Source : de l'auteur

8.4 Déroulement des entretiens

Tous les entretiens se déroulent de manière individuelle et sont réalisés en intérieur. Par individuel, il est compris que seuls sont présents le sujet et l'examineur (ainsi que le robot NAO). L'examineur utilise un ordinateur portable pour lancer le programme sur le robot et l'ordinateur portable est utilisé en fin de séance par le sujet. Un smartphone sert à filmer la phase de test avec le robot.

L'entretien est mené de la manière suivante :

1. Accueil
2. Rencontre entre le sujet et l'examineur
3. Présentation succincte du travail de Master et des objectifs
4. Présentation du robot NAO, de son fonctionnement et prise en main par le sujet
5. Explications du test et consignes transmises oralement par l'examineur
6. Réalisation du test par le sujet
 - a. Phase de mise en place (deux questions d'essai)
 - b. Phase de test du prototype
 - c. Suivi de la progression du sujet par l'examineur
7. Le sujet remplit son profil d'utilisateur
8. Réalisation de l'interview orale et mise par écrit par le sujet
9. Remerciements

Concernant le point 3, il a été décidé de présenter succinctement le travail de Master. Cette décision a été prise afin de ne pas fausser la perception du sujet lors de la phase de test du prototype. Il n'a pas été fait mention des émotions de manière trop appuyées. Il a simplement été demandé au sujet de prendre garde aux interactions avec le robot et de rester pleinement concentré sur l'exercice. Pour le point 6c, l'examinateur rapporte le déroulement du test pour chaque question afin d'apporter des précisions sur le robot et le sujet (incompréhension, frustration du sujet car réponse correcte, mais incomprise par le robot ou réponse erronée du sujet, mais acceptée par le robot, etc.). De plus, lors de la réalisation de la phase de test avec le robot, les sujets sont filmés en ayant donné leur accord au préalable.

Avant de réaliser les entretiens, l'examinateur a testé le prototype sur trois personnes externes. Il a été constaté que malgré une phase de mise en test du robot, les bêtatesteurs ne s'attendaient pas à une série de questions répétées et énoncées de la même manière avec un énoncé (verbe + pronom + mode et temps du verbe). En amont de l'élaboration du prototype, il avait été défini de ne pas prévenir du fonctionnement du questionnaire et de la manière avec laquelle le robot allait leur émettre les consignes. Les trois bêtatesteurs ont connu une forte frustration quant au fait de ne pas comprendre tout de suite le déroulement du processus. Dans le but de palier à ce problème et d'éviter de créer un biais, il a été décidé que l'examinateur allait présenter une fois oralement un modèle de question sur l'exemple suivant « Conjuguez le verbe "MANGER" à la troisième personne du singulier de l'indicatif présent » pour que les personnes sachent à quoi s'attendre lors de l'exécution du test. Le fait de créer de la frustration quant à la compréhension de la donnée et l'impossibilité du robot de répéter l'énoncé aurait pu prétérer le test en lui-même. En outre, le fait d'expliquer le fonctionnement permet au sujet de mieux se concentrer sur les interactions avec le robot.

8.5 Questionnaire

Au terme de l'essai du prototype, un questionnaire a été soumis aux étudiants. Celui-ci était composé de deux parties :

- Partie 1 – Profil du sujet-étudiant
- Partie 2 – Questions concernant le prototype et avis général

Partie 1 – Profil du sujet-étudiant

Cette première partie comportait des demandes d'information par rapport à chaque sujet questionné et a permis de composer et de vérifier les profils attendus (voir chapitre « 8.3 Échantillon » et Tableau 17).

- Sexe
- Âge
- Domaine d'étude à la HES-SO
- Niveau d'étude auprès de la HES-SO
- Lieu d'étude principal

Partie 2 – Question concernant le prototype et avis général

Cette partie fait référence à l'expérience vécue par les sujets lors du test du prototype et permet également d'obtenir leur avis par rapport à l'utilisation d'un robot dans le milieu des études.

Le robot en général

- Qu'avez-vous pensé du robot en général ?
- Que pensez-vous du fait d'apprendre avec un robot ?

Le robot, ses interactions, ses émotions

- Quels sont les comportements du robot qui vous ont frappé-e ?
- Estimez-vous que ce robot est capable d'exprimer des émotions ?
- Durant ce test, pensez-vous que les feedbacks de ce robot ont intégré de l'émotion ? Lesquelles ?
- Parmi les moyens que le robot a utilisés pour communiquer avec vous, quels sont ceux qui vous ont frappés ? Étonnés ? Encouragés ? Découragés ?

Le sujet : ses ressentis et ses émotions face aux robots

- Selon vous, durant ce test, le robot a-t-il pris en compte vos propres émotions ?
- Quelle émotion principale avez-vous ressentie durant le test ?
- Quelle émotion principale avez-vous ressentie à la fin du test ?
- Selon vous, en quoi le robot a-t-il influencé cet état émotionnel final ?
- Qu'avez-vous préféré dans sa manière de réagir à vos réponses ?
- Qu'avez-vous moins apprécié dans sa manière de réagir à vos réponses ?
- Remarques

8.6 Résultats

Le robot en général

Ces deux premières questions sont relatives au robot en général. Elles font référence à ce que les sujets ont pensé du robot et à leur point de vue face à l'apprentissage avec un robot. Les personnes interrogées ont évoqué le fait que l'expérience en général avec le robot était ludique et que les interactions étaient bonnes et intéressantes. Plusieurs étudiants ont démontré un intérêt au fait que le robot bougeait et les suivait du regard. Une personne a fait remarquer que son utilisation imposait des contraintes (parler distinctement, ne pas réfléchir à haute voix, etc.).

Certains intervenants ont fait mention de leur intérêt d'apprendre, de réviser avec un robot tout en notant qu'il fallait utiliser un tel outil à petites doses et dans des situations qui s'y prêtent. Une autre partie de l'échantillon avoue plus de scepticisme quant au fait d'apprendre avec un tel robot. Ils notent que l'androïde NAO fait beaucoup de bruits (mouvements) ou qu'il ne s'adapte pas à des gens ayant des facultés d'apprentissage visuel. Une personne indique que le robot ne comprend pas toujours les réponses alors qu'elles semblent correctes. Une seconde mentionne le fait qu'il manque d'interactions véritablement humaines (échanges, compassion ou interactions physiques).

Le robot, ses interactions, ses émotions

Cette série de questions essaient de mettre en lumière si les sujets ont pris conscience d'interactions ou de comportements spéciaux du robot NAO. Il y est également question de savoir si les étudiants ont ressenti ou non le fait que le robot leur ait transmis des émotions. Finalement, il sera question de savoir par quels biais, selon eux, l'humanoïde a interagi avec eux.

Les sujets ont noté les changements de la voix du robot lors de ses feedbacks et également le fait qu'il les félicitait ou les interpellait selon leurs réponses. Certaines personnes se sont senties encouragées par NAO lors des erreurs et d'autres ont eu un sentiment plus négatif. Un cobaye a trouvé le robot intimidant et agressif. Les participants ont également relevé la gestuelle du robot, que cela soit lors des feedbacks ou lorsque NAO les suit du regard.

Une légère majorité des participants à cette phase de test estiment que le robot est capable d'exprimer des émotions. Des sujets indiquent que les émotions sont transmises par le biais de sa voix ou par les yeux. Néanmoins, ces réponses positives sont marquées par le scepticisme. Bien que convaincu qu'il soit capable de transmettre des émotions, un individu affirme que le robot ne les contrôle pas pleinement. Deux autres intervenants trouvent qu'il est difficile de comprendre entièrement les émotions de NAO du fait qu'il ne peut pas transmettre d'expressions/émotions faciales. Le restant des sondés avouent ne pas croire que le robot puisse exprimer la moindre émotion.

La grande majorité des personnes observées pensent que le robot a intégré des émotions lors de ses feedbacks. Une personne estime que le robot n'a pas d'émotion, mais qu'il les joue. Ils ont souvent séquencé les retours du robot humanoïde comme positifs et négatifs en fonction de la réponse qu'ils avaient donnée. Certaines personnes ont surtout constaté la joie du robot lors des bonnes réponses. En parallèle, ils ont senti que le robot pouvait être déçu, désespéré ou énervé en cas d'erreurs. Deux sujets se sont sentis agressés ou blessés.

Les étudiants considèrent que le robot a notamment utilisé la gestuelle, sa voix et ses mots pour communiquer avec eux. Il y a eu de l'étonnement par rapport au fait qu'il a "remarqué" certaines positions des étudiants, ces retours ont eu lieu lors des trois analyses émotionnelles spécifiques. Une personne s'est dit impatiente d'avoir un retour, notamment gestuelle, du robot à ses réponses. Une seconde personne a relevé le fait d'être applaudie ou que le robot baissait sa tête.

Le sujet : ses ressentis et ses émotions face aux robots

Ces questions consistent à explorer la partie émotionnelle des étudiants et de comprendre qu'elles ont été leurs réactions face aux retours du NAO pendant l'interaction.

Une majorité estime que le robot a pris en compte leurs propres émotions. Ces personnes ont noté que le robot a constaté qu'ils étaient positifs pendant l'interaction. Ces retours ont lieu lors des 3 analyses émotionnelles des sujets par le robot entre les questions 4-5, 10-11 et 14-15. Une autre personne estime que le robot a essayé de la remotiver pour la suite de l'exercice.

Chacun des sujets a ressenti des émotions totalement différentes des autres testés. Trois sujets se disent avoir été amusés ou fiers pendant l'exercice alors que deux autres personnes ont affirmé avoir ressenti du stress et une autre de l'intimidation. Le fait d'être intrigué quant aux futures réponses du robot a été mentionné. De la peur et de la honte face au fait de faire des erreurs ont aussi été évoquées.

A la fin du test, quatre sujets avouent avoir été soulagés de voir le test s'achever. L'un d'entre eux estimait être soulagé de ne plus être jugé et, une seconde, de voir simplement le test arriver à son terme. Deux sujets ont révélé une émotion d'intérêt quant au fait d'interagir avec un robot. Le dernier feedback positif du robot a rendu une personne plus contente alors qu'elle était déçue de sa prestation jusqu'alors. Une personne relève de la frustration et n'a pas eu

l'impression d'avoir « joué » avec le robot. La colère a également émané d'un sondé car il n'avait pas pu réviser.

Les sujets se disent avoir été influencés par le robot vers cette émotion finale par les feedbacks qu'il a émis. Quelques sujets se disent avoir été félicités ou encore encouragés par NAO. Quand il s'agit de feedback dans ce contexte, on retient notamment la partie des paroles. La gestuelle n'est pas forcément mentionnée comme une partie prenante des feedbacks par les intervenants, quoi qu'il en soit, elle aurait également influencé quelques-uns d'entre eux. Une personne mentionne également que le fait que le robot ne comprenait pas correctement ses réponses a influencé son état émotionnel final.

Les cobayes mentionnent avoir préféré la gestuelle du robot et le design comme un élément clé dans la manière que NAO a eu d'interagir avec eux. Par la gestuelle, on peut comprendre les mouvements du bras et ceux de la tête. Une personne fait remarquer qu'elle a apprécié que le robot la suive du regard, une fonction de base du robot. L'autre point positif provient de son langage qui a permis de soutenir certaines personnes. A contrario, deux personnes ont trouvé limitant le fait que certaines fois le robot ne semblait pas les entendre ou les écouter. Du point de vue négatif des sujets par rapport aux réactions du robot, ils notent que certains mouvements désagréables comme les bras en avant ou le fait qu'il gesticule beaucoup. Il faut savoir que le robot doit se mouvoir en continu afin d'évaluer l'état émotionnel des sujets. Des personnes disent également avoir trouvé le robot strict lorsqu'ils commettaient des erreurs.

8.7 Suivi de la progression

Lors de la partie du développement du prototype, il a été constaté que le robot via sa reconnaissance vocale connaissait quelques problèmes. En parallèle de l'évaluation du robot et de ses feedbacks, il a été décidé d'évaluer manuellement les réponses données par les sujets et les validations émises par le robot lors de chaque phase de test. Cette évaluation a été réalisé en direct par l'examinateur. Il s'agissait d'évaluer si

- la réponse du sujet était juste, le robot évalue la réponse comme juste (VV),
- la réponse du sujet était juste, le robot évalue la réponse comme fausse (VF),
- la réponse du sujet était fausse, le robot évalue la réponse comme juste (FV),
- la réponse du sujet était fausse, le robot évalue la réponse comme fausse (FF).

Avec la prise en main du robot en amont de la phase de développement et grâce à la phase de test avec des bêtatesteurs, il a été rapidement possible d'envisager que le robot allait régulièrement se tromper. Ces erreurs allaient se produire lors de l'évaluation des réponses données par les sujets. C'est la reconnaissance vocale qui est mise en cause. Ci-après la matrice de confusion permet de prendre connaissance de ces erreurs entre les réponses réellement données par les sujets et l'évaluation du robot. Le total des réponses équivaut à 149 dans ce tableau. Il faut savoir qu'une réponse n'a pas pu être prise en compte car le robot lors de l'expérimentation a bogué à une reprise et n'a pas laissé répondre un sujet lors d'une question.

Tableau 18 Répartition des retours du robots NAO

	Évaluation comme juste de NAO (V)	Évaluation comme fausse de NAO (F)
Réponse du sujet juste (V)	47	37
Réponse du sujet fausse (F)	3	62

Source : de l'auteur

Cette matrice montre qu'il y a un véritable problème avec 37 réponses pourtant correctes des sujets, mais considérées comme fausses par le robot (VF). La mauvaise évaluation pourrait venir du fait que le taux de confidence, évalué par le robot, pour valider une réponse comme juste doit atteindre 52%. Parmi les 37 réponses, 16 d'entre elles se trouvent avec un taux de confidence entre 50 et 52%. En abaissant ce taux de confidence de 2 points, il aurait été possible de faire baisser de moitié ce type de mauvaise évaluation du robot. Bien que ce changement soit réalisé, il subsistera toujours le risque qu'une personne donne une réponse erronée, mais qui reste proche dans l'intonation de celle attendue. Par exemple, la réponse souhaitée par NAO serait « Je vends » et la réponse donnée par le sujet serait « Tu vends ». Le fait que le seuil de confidence soit plus bas permettrait potentiellement au robot de valider cette réponse erronée du sujet suite à un abaissement à 50% du seuil. Il n'est pas aisés de trouver un juste milieu. Il faut aussi tenir compte du fait que cette matrice contient toutes les évaluations, même quand le robot effectuait un retour unique aux question 6 et 12.

Il était important de prendre en compte ce point car une mauvaise évaluation du robot fait obtenir au sujet un feedback plus négatif en lieu et place d'un feedback plus positif. Cela peut impacter son état émotionnel, ainsi que la suite du test car l'étudiant perd confiance en le robot.

8.8 Feedback sur l'état émotionnel

A trois reprise le robot effectue une analyse de l'état émotionnel des étudiants. Cette analyse permet d'obtenir quatre résultats différents. La personne peut être positive, négative, neutre ou avoir un état inconnu. Au terme des 10 entretiens le robot a estimé que les personnes étaient à :

- 19 reprises positives
- 4 reprises négatives
- 1 reprise neutre
- 6 reprises, le robot n'est pas parvenu à estimer l'état de la personne testée.

Il est intéressant de constater, à la lecture des retours des sujets, que plusieurs d'entre eux ont véritablement remarqué ce moment d'évaluation sans pour autant que celui-ci leur soit indiqué. Il semble avoir eu un impact sur leur état en cours et au terme de la phase de test du prototype.

8.9 Feedbacks uniques

Au cours de la phase de test le robot réalise deux retours uniques. Ces deux retours seront négatifs que la réponse soit juste ou fausse. Il avait été décidé de réaliser cette opération afin de déstabiliser les étudiants. Le fait qu'il y ait eu des confusions dans les évaluations du robot (voir chapitre 8.7 Suivi de la progression) cet outil n'a pas pu être utilisé à bon escient. Néanmoins en analysant les vidéos lors de ces questions, on peut constater que les sujets font parfois la moue, sourient à l'évaluation alors qu'ils répondent justement. Il faut savoir que ces retours uniques ont lieu après des questions relativement aisées.

8.10 Synthèse des résultats

Au sortir de cette analyse des résultats, il est possible de marquer différents points intéressants. Les sujets-étudiants admettent porter un intérêt au robot et être intrigués par le fait de devoir interagir avec lui. Ils émettent quelques doutes quant à son utilisation et propose qu'il soit un appoint ou un complément à leur apprentissage. Plusieurs sujets se disent intéressés par le robot dans un but de révision. Le fait que l'évaluation de leur réponse ne soit pas toujours correcte dérangent plusieurs participants ce qui est tout à fait normal. En l'état même une simple correction du taux de confidence ne changerait pas cette constatation, il s'agirait de revoir la reconnaissance vocale du robot.

Un second point s'est révélé important et n'a pas été analysé dans cette thèse parce qu'il a été identifié en fin d'étude à la suite des entretiens. Il semble que le choix du vocabulaire pour les retours oraux du robot a échoué. Malgré une lecture de nombreux articles scientifiques en lien avec les émotions, il n'a pas été fait mention de l'importance du choix du vocabulaire dans ce cadre-là. Il est intéressant de constater que certaines personnes ont pris les remarques négatives de manière positive et que d'autres ont mal vécu ces remarques. L'un des sujets n'a pas textuellement ou oralement fait mention de sa frustration, mais la lecture de la vidéo et son état à la sortie de la séance a montré qu'il avait été passablement impacté par la rencontre avec le robot.

Malgré l'utilisation de six émotions par NAO et des interventions neutres du robot, les sujets ont relevé que le robot pouvait notamment émettre les émotions de joie et de colère. Les retours démontrent que l'hypothèse formulée au début de ce travail se révèle juste à savoir que les feedbacks émotionnels du robot ont influencé la perception d'apprentissage des étudiants. Certains ont évoqué avoir été motivés par le robot et d'autres démotivés par ses réactions à leurs réponses. Il est à noter que des sujets avaient peur de faire faux et honte de ne pas réussir à répondre correctement.

Un point intéressant a été soulevé par un étudiant après la fin d'une rencontre. Il a évoqué le fait d'avoir connu beaucoup de difficultés à répondre aux questions car il est visuel dans son apprentissage et qu'il ne parvenait pas à assimiler correctement la question. L'utilisation de robots dans un cadre pédagogique n'est donc pas adaptée à chaque fonctionnement et chaque type d'apprentissage.

Constat complémentaire, les yeux ont été colorisés dans le cadre de cette étude en fonction des émotions, mais cette fonctionnalité n'a pas eu l'effet escompté. Lors de la revue de la littérature, il a été fait mention de l'étude de 2011 de Häring, Bee et André. Cette recherche avait utilisé NAO pour tester la communication des émotions du robot aux humains. A cette occasion, il avait été fait mention que cette colorisation des yeux n'avait pas été pertinente et

avait été peu constatée par les sujets. (Häring, Bee, & André, 2011) Le résultat de la présente étude est identique et peu d'intervenants ont soulevé cet aspect. Une colorisation ou un changement de couleur dans les yeux n'est pas un comportement humain. Ce moyen de transmettre des émotions n'étant pas habituel pour les sujets, il a certainement été occulté ou n'a pas été pris en compte car peu pertinent et non-communicatif pour eux. La colorisation des yeux est trop éloignée des conventions humaines pour communiquer les émotions.

9 Synthèse et conclusion

Avant de conclure cette thèse, les informations récoltées lors de la réalisation de ce travail sont synthétisées. En complément, il s'agit de l'occasion de débattre des problèmes principaux rencontrés et d'aborder certains éléments constatés. Pour terminer, il sera discuté des axes d'amélioration ainsi que des perspectives futures de ce travail.

9.1 Synthèse globale

Cette étude permet de confirmer et valider l'hypothèse formulée lors de la phase initiale de ce travail. Les retours émotionnels mêlant mouvements et voix du robot NAO influent la perception de l'apprentissage des étudiants au niveau tertiaire. Plusieurs étapes ont permis d'amener l'auteur à cette prise de position.

Dans la première phase, il a été question d'analyser de manière générale ce qui avait déjà été réalisé dans les domaines des émotions et des robots. Il est rapidement possible de constater que peu d'études ont été menées dans le domaine de l'apprentissage assisté par un robot dans l'éducation tertiaire ce qui conforte le choix de cette étude.

Dans la continuité, il s'agissait de réaliser un état de l'art non-exhaustif des robots humanoïdes existants. Avant d'évoquer un premier exemple concret, il a été question de déterminer ce qu'était concrètement un humanoïde et de le définir. Le Larousse décrivait un humanoïde comme un être ou un robot réalisé à l'image de l'homme dans un contexte de science-fiction. De manière moins fictionnelle, d'autres définitions ont permis de comprendre que derrière le terme « robot humanoïde » se cachait une machine. Elle se compose d'un torse à qui l'on rattache des bras pour lui permettre de saisir des objets, des jambes pour se mouvoir et une tête pour « voir » via une caméra. Les robots, en général, sont de nos jours de plus en plus établis dans notre société et interviennent dans différents milieux comme l'industrie automobile, la médecine, la santé, les domaines militaires, l'économie et encore l'éducation. Une fois ces premiers points établis, il a été question de présenter différents robots. La décision a été prise de présenter les premiers robots et de progresser dans l'histoire avec des robots plus actuels. ASIMO a été l'un des premiers humanoïdes à être développé dans les années 1980, son évolution a vu ses capacités évoluer. Les chercheurs ont d'abord décidé de se focaliser sur son maintien et sa marche, avant de le doter d'une reconnaissance faciale et d'exécuter des simples ordres. D'autres projets de robots humanoïdes, KHR et HRP, ont suivi un but identique à savoir développer la démarche robotique. Wakamaru qui apparaît dans la première partie des années 2000 est un robot de service et officie chez les particuliers. Des robots vendus aux particuliers arrivent ensuite sur le marché et sont destinés à des fonctions divertissantes. Puis l'un des robots de dernière génération est évoqué, Pepper. Il permet une interaction plus personnalisable et est l'un des premiers robots à intégrer des fonctions émotionnelles autant de son côté que du côté de son interlocuteur.

L'évolution du développement des robots et cette première phase de recherches ont permis de comprendre ce qu'était un androïde et comment il a été possible d'arriver à NAO, le robot utilisé dans le cadre de cette étude. La suite des opérations a consisté à analyser le robot NAO, à comprendre son fonctionnement et l'environnement qui l'entoure. Il a également été possible de le prendre en main et d'effectuer des premiers essais. Le premier robot de SoftBank Robotics comporte une multitude de technologies lui permettant de fonctionner de manière autonome ou d'interagir avec des humains. Il est muni de LEDs, entre autres, pour

les yeux, de haut-parleurs pour la parole, de caméras pour sa vision, de sonars pour éviter les obstacles. Il fonctionne également au travers d'un écosystème, NAOqi, commun à son homologue Pepper et qui leur permet d'utiliser leurs fonctions. On découvre également que le robot peut être programmé et que le kit de développement (NAOqi) est en *open source*. La programmation peut se faire au travers de plusieurs langages de programmation en installant le SDK. Une alternative clé en main est fournie par SoftBank Robotics, il s'agit de programmer le robot au moyen d'une suite de nœuds représentant des fonctions/actions et s'appuyant sur NAOqi.

La suite de la thèse a nécessité d'explorer et de découvrir ce qu'étaient les émotions. Cette partie de recherche a permis de constater de quelle manière apparait une émotion chez un être humain, ainsi que prendre en compte l'évolution des croyances et des avancées dans ce domaine de recherche. Il en découle la découverte de six émotions primaires : la joie, la colère, la peur, la surprise, le dégoût et la tristesse qui permettent de créer par leur biais d'autres teintes d'émotions. Il a été constaté que les émotions se propagent notamment par les mimiques faciales, mais également par la voix, les mouvements/les gestes du corps et que certaines émotions pouvaient avoir une ou des couleurs de référence.

La continuité de la recherche a mis en lumière les compétences émotionnelles du robot NAO. Il serait capable d'avoir nativement un état émotionnel propre en fonction de l'environnement qui l'entoure et de l'attitude des gens qui interagissent avec lui (ce point n'est pas confirmé par SoftBank Robotics). L'androïde NAO est capable de prendre en compte l'état émotionnel de la personne en face de lui et même d'évaluer son degré de concentration dans leur conversation. En s'appuyant sur les acquis relatifs aux émotions évoquées précédemment, ce chapitre a permis d'expliquer de quelle manière il allait être possible de créer/diffuser des émotions au travers de NAO. En colorisant ses yeux, en lui attribuant des mouvements spécifiques avec les membres hauts de son corps et en adaptant sa voix, NAO devrait pouvoir faire passer des émotions à ses interlocuteurs.

La création du cas pratique découle des recherches précédentes et en est pleinement constituée. Le but de ce prototype vise à permettre d'infirmer ou de confirmer l'hypothèse de ce travail lors de la phase de test qui suivra. Le prototype est construit afin de réaliser un entretien entre machine (NAO) et humain. Cet entretien est structuré sous une forme de questions-réponses. Les sujets sont évalués par le robot qui émet des retours émotionnels en fonction des réponses reçues. Ces retours sont structurés grâce à la voix du robot, des gestes préprogrammés et la colorisation des yeux du robot. Le cas pratique est également composé d'une évaluation de l'état émotionnel par l'androïde du sujet pendant l'entretien.

La création du prototype achevée, il a été temps de l'exercer sur les sujets. Un échantillon de 10 étudiants représentatifs de la composition des domaines de la HES-SO a interagi avec le robot NAO. Cette phase de test permet d'analyser l'influence des feedbacks émotionnels du robot sur la perception d'apprentissage. Au sortir de cette phase de test, on constate que le robot est parvenu à transmettre ses émotions aux étudiants et à les influencer émotionnellement. Toutes les émotions jouées par le robot ne sont pas reconnues, mais les étudiants ressentent les changements de rythmes dans la voix, ses mouvements et les interprètent comme des signaux. Il reste toutefois une légère interrogation en sachant que la reconnaissance vocale n'a pas été parfaite. Elle peut avoir trop influencé négativement certains sujets car elle a entraîné des retours non-ajustés. Malgré ce cas de figure, les étudiants ont confirmé se sentir motivés, poussés vers l'avant ou parfois démotivés, voire abattus pendant et au terme de la série de questions-réponses. On note également des

émotions d'accomplissement : le soulagement, la honte, la joie qui ont été décrites par les étudiants. La lecture des vidéos montre également de la tristesse ou du désespoir.

9.2 Difficultés rencontrées

Plusieurs difficultés ont émaillé le parcours de la réalisation de cette thèse. L'une des difficultés les plus importantes a été de comprendre l'environnement entourant le robot NAO. En débutant les recherches sur internet en rapport avec le robot, les premières occurrences renvoient généralement vers la documentation officielle de la société fondatrice du robot Aldebaran. Ces occurrences sont souvent liées à une documentation obsolète de NAO et NAOqi. Malheureusement, il a fallu un certain temps pour se rendre compte de cette situation et de réaliser que la documentation affichée n'était plus toujours à jour. Une fois cette constatation faite et d'autres recherches, il a été possible de découvrir qu'il existait deux sites internet officiels avec de la documentation à jour (<http://doc.aldebaran.com> & <https://developer.softbankrobotics.com/nao6>). Le second site est pourtant le site officiel actuel et est très mal référencé. Il appartient à la société japonaise SoftBank Robotics ayant acheté Aldebaran. A la lecture de la documentation, il existe de nombreuses incohérences et manquements. Pour rappel, le SDK NAOqi est partagé entre les robots Pepper et NAO. De nombreux composants ne sont pas utilisables pour l'un ou l'autre robot et ces informations sont indiquées clairement sur la documentation. Toutefois à plusieurs reprises, certains composants uniquement indisponibles pour NAO n'étaient pas mentionnés. Il s'agit notamment du sous-module *ALRobotMood* qu'il n'a pas été possible de définir s'il était fonctionnel sur NAO. Une tentative de prise de contact par courriel avec l'équipe de SoftBank Robotics est restée infructueuse. De plus la communauté entourant le robot ne semble plus active et plusieurs pages internet pointent vers des liens morts ou obsolètes. Il y a un sentiment ambivalent entourant l'environnement de cette entreprise. Elle semble à la fois peu active mais annonce depuis plusieurs années l'arrivée d'un nouveau robot Romeo, projet lancé en 2009 (Projet Romeo, 2019). Autre élément marquant et allant dans le sens des constatations précédentes, le robot ne compte qu'une seule application externe sur son magasin d'applications et les autres ont été réalisées par SoftBank Robotics. Malgré le coût du robot, on peut aisément penser que le store aurait pu être plus fourni en 10 ans d'exploitation de NAO.

Il y a également eu plusieurs surprises entourant le robot NAO. Celui-ci est disponible depuis plus de 10 ans et a connu de nombreuses améliorations, notamment au niveau du logiciel, au fur et à mesure de son évolution. Toutefois certains éléments ne semblent pas avoir été revus ni améliorés. Les caméras intégrées sont de qualité médiocre, le robot a beaucoup de difficulté à entendre et à écouter un interlocuteur lors d'une simple interaction. La reconnaissance vocale est également décevante comme il en a été discuté précédemment. On peut aussi signaler que la voix du robot est difficilement modulable et ne permet pas de travailler avec elle de manière précise. Au terme de ce projet, il reste à l'auteur un sentiment ambigu par rapport aux capacités réelles de ce robot. Il manque clairement une intelligence artificielle intégrée au robot qui permettrait de créer un véritable lien et surtout une véritable interaction et adaptabilité comme on peut le vivre en utilisant des assistants vocaux.

Une difficulté, (in)attendue, est liée à la recherche de tout ce qui entoure les émotions. Il était espéré réaliser cette partie de travail rapidement, mais avec des difficultés. Il a rapidement fallu se résoudre à consacrer un temps plus conséquent à ce point qui n'était de loin pas anecdotique et restait difficile à traiter. De plus, cette partie émotionnelle devait apporter une pierre importante à la construction de cette thèse. Il a fallu d'abord comprendre le

fonctionnement des émotions et les recherches qui les entourent avant de pouvoir passer à la seconde étape traitant de ses composantes dans la communication : gestes, voix, couleur et encore apprentissage.

9.3 Améliorations possibles

Au terme de cette thèse, plusieurs améliorations sont envisageables. Les discussions et surtout les retours écrits des sujets montrent qu'il y a un manque par rapport au choix du vocabulaire utilisé lors des feedbacks du robot. Il s'agirait de se concentrer de manière plus précise sur le choix des termes et à leur importance par rapport à la situation vécue par l'étudiant. Il faut également soulever un point important, il est difficile de paramétrier finement la voix du robot. Un humain aura toujours la possibilité de passer différentes émotions en utilisant « un mot » identique. En variant la prononciation, la force, le débit ou encore les intonations de la voix un mot pourra avoir une signification qui variera d'une situation à une autre. Le robot NAO ne permet pas de jouer à ce point avec sa voix ce qui peut impacter autant négativement que positivement les sujets. Il sera donc judicieux de revoir certains choix de vocabulaire.

Le fait de voir évoluer le robot avec les sujets a permis de prendre également conscience que le mot « interaction » n'avait pas pu prendre sa véritable définition dans le projet. Évidemment, l'humanoïde a posé des questions et a reçu des réponses des sujets. Une interaction consiste en un échange véritable et les deux parties doivent pouvoir se questionner et se répondre. Il manque cet aspect communicationnel entre les parties prenantes. Il ne faut pas oublier que ce cas pratique devait être mené dans une forme d'examen (scolaire). Toutefois, le robot ne permet pas à l'étudiant de demander des précisions ou de répéter la consigne, choses qui se font dans le cadre d'une évaluation entre humains.

Cette thèse permet de constater que la reconnaissance vocale incorporée dans NAO laisse à désirer, même si elle peut être quelque peu améliorée. Il faut parler précisément, fortement et de manière sûre et convaincue au robot pour qu'il comprenne et valide la réponse espérée. Dans le cas d'une suite à ce projet, il serait primordial de s'appuyer sur une ressource externe qui permette une analyse plus pointue des réponses et ainsi d'éviter d'utiliser cette fonction de base du robot NAO.

9.4 Perspectives futures

Cette thèse a permis de constater que les retours émotionnels d'un robot pouvaient influencer la perception d'apprentissage d'un étudiant. Il serait désormais intéressant d'utiliser ce cas pratique et de le comparer à une situation réelle en s'appuyant sur une partie des améliorations citées ci-dessus. Les sujets seraient confrontés à une situation de questions-réponses face à un humain dans un premier temps, puis face au robot NAO. Cette mise en situation permettrait d'identifier si les étudiants sont plus influencés dans un cas d'apprentissage par un professeur humain ou humanoïde. Cette mise en situation permettrait également de définir si ces influences sont identiques si le professeur est un humain ou un robot.

Le robot Pepper, de la famille de NAO, à l'avantage de permettre l'utilisation d'une tablette tactile. Cet écran permet la diffusion de vidéo et de messages. L'utilisation de ce robot dans un même contexte que le prototype pourrait être intéressant et permettrait de soutenir plus

facilement des personnes étant plus visuelles qu'auditives dans leur apprentissage. Une comparaison entre les deux robots de SoftBank Robotics pourrait également être envisagée sur le même principe que l'approche professeur humain et humanoïde.

9.5 Conclusions

Ce travail a été enrichissant à tout point de vue, autant personnellement que professionnellement. Il a permis à l'auteur de prendre connaissance de sujets (robot humanoïde, NAO, émotions) qu'il n'avait jamais abordé. Le fait de confronter le prototype aux étudiants a été enrichissant et a permis de mettre en lumière plusieurs points attendus lors de l'analyse et du développement, mais également de prendre conscience de certains éléments (vocabulaire choisi, par exemple) non-pressentis dans la réalisation du prototype.

Il y a eu beaucoup d'évolutions dans le domaine des robots (accessibles sur le marché) dans le courant des années 2000 et ce travail a permis de constater qu'il semblait que ce développement s'était quelque peu ralenti jusqu'à ce jour. Il n'y a que très peu de nouveaux robots qui ont émergé sur le devant de la scène. On retrouve régulièrement les robots NAO et Pepper mis en avant dans des articles de journaux, quand bien même Pepper n'a que 5 ans. Dans le courant de la réalisation de la thèse quelques articles ont évoqué la présence de ces robots en Suisse. Un exemple de Pepper travaille auprès d'un magasin de l'entreprise téléphonique Swisscom à Soleure. (Meier, 2019) Néanmoins, le robot devient une solution dans le cadre de l'enseignement en tout cas au niveau primaire. En juin 2019, le quotidien valaisan Le Nouvelliste rapportait que Beat Zemp, président sortant de l'organisation faîtière des enseignants de Suisse alémanique, prédisait l'arrivée de robots pour faire la classe en Suisse. (Le Nouvelliste - ATS, 2019) L'éducation est l'un des nombreux domaines qui sera touché par l'arrivée des humanoïdes comme la santé, secteur dans lequel Pepper intervient déjà notamment au CHU d'Angers en France où il y accueille les patients depuis 2018 (Swiss Digital Health, 2019).

Cette thèse a permis de créer des émotions au travers du robot NAO en se basant sur différentes études. Il serait toutefois intéressant d'évaluer l'exactitude de ces émotions et de s'assurer que les mouvements, la gestion de la voix et les couleurs choisies soient parfaitement adéquates. Une fois celles-ci vérifiées, il deviendrait plus facile à en composer d'autres et à rendre le robot plus précis dans ses réactions.

En définitive, il s'avère important que les émotions soient intégrées à l'avenir dans l'exécution des robots actuels et futurs. Ce simple fait permettra de créer une interaction plus vive et pertinente entre les hommes et les machines quel que soit le domaine d'activité. Les émotions mèneront également les humains vers une acceptation plus aisée de leur homologue androïde.

Attestation

Je déclare sur l'honneur, que j'ai effectué ce Travail de Master seul, sans autre aide que celles dûment signalées dans les références, et que je n'ai utilisé que les sources expressément mentionnées. Je ne donnerai aucune copie de ce rapport à un tiers sans l'autorisation conjointe du Responsable de l'Orientation et du Professeur chargé du suivi du Travail de Master et de l'institution ou entreprise pour laquelle ce travail a été effectué.

Lausanne, 22 août 2019

Cyril Zufferey

Liste des figures

Figure 1 Montage des évolutions successives du projet ASIMO	11
Figure 2 Montage des trois versions de Actroid	12
Figure 3 Conception artistique de KHR-3	13
Figure 4 Représentation de Wakamaru	14
Figure 5 Représentation de HRP-2	15
Figure 6 Représentation du Robosapien X	16
Figure 7 Représentation du robot iCub	17
Figure 8 Tête de robot iCub encodant des émotions	18
Figure 9 Représentation du robot UBTEch Lynx	18
Figure 10 Représentation de UBTEch Alpha 1 Pro	19
Figure 11 Représentation de Pepper	20
Figure 12 Illustrations de NAO	22
Figure 13 Montages photo des moyens d'interaction de NAO	23
Figure 14 Registre des langages supportées par NAO 6	24
Figure 15 Interface graphique de Choregraphe	25
Figure 16 Représentation des langages de programmation pour NAO	26
Figure 17 Les méthodes de programmation sont semblables d'un langage à un autre	27
Figure 18 Représentation des trois théories des émotions	36
Figure 19 Représentation des 6 émotions faciales universelles	37
Figure 20 Trois paramètres caractéristiques de la voix	39
Figure 21 Affecter les valeurs de paramètre de l'éditeur pour les six stimuli d'émotion	42
Figure 22 Postures recevant la concordance la plus élevée pour chaque émotion avec les trois points de vue	47
Figure 23 Association couleurs et émotions des enfants selon l'âge et le sexe	48
Figure 24 Le système de couleurs Munsell	49
Figure 25 Exemple de retour de la méthode currentPersonState	55
Figure 26 Capture d'écran de Choregraphe avec l'Animation Mode	63
Figure 27 Schéma d'enchainement du scénario	66
Figure 28 Intérieur du nœud « Choice » comprenant la donnée d'exercice et le nœud « Speech Recognition »	69
Figure 29 Représentation des paramètres de gestion de voix	70
Figure 30 Paramétrage des couleurs émotionnelle dans les yeux du robot	74
Figure 31 Exemple de génération des émotions via Choregraphe	75

Liste des tableaux

Tableau 1 Descriptif des phases du projet	4
Tableau 2 Différentes APIs et modules inclus dans NAO 6	29
Tableau 3 Les principales catégories d'émotions primaires	34
Tableau 4 Liste des actions du visage	37
Tableau 5 Profils acoustique des émotions de Petri Laukka	40
Tableau 6 Profils acoustiques de peur, de colère, de tristesse et de joie	43
Tableau 7 Profils adaptés des émotions de Cynthia Breazeal par l'auteur	44
Tableau 8 Corrélation entre les gestes et les états émotionnels	45
Tableau 9 Liste des émotions reconnus par le système de Gunes et Piccard	45
Tableau 10 Description des postures les plus pertinentes pour chaque émotion	46
Tableau 11 Regroupement des différents moyens (gestes-voix-couleurs) de représenter les émotions	52
Tableau 12 Paramètres de langue de ALTextToSpeech	59
Tableau 13 Paramètre de langue de ALTextToSpeech	60
Tableau 14 Association entre émotions vocales et voix de NAO	70
Tableau 15 Répartition des domaines rapportée à 10 étudiants	78
Tableau 16 Répartition hommes – femmes rapportée à 10 étudiants	78
Tableau 17 Liste des étudiants représentant l'échantillon	79
Tableau 18 Répartition des retours du robots NAO	84

Références

- [17] Cahn, J. E. (1990). The generation of affect in synthesized speech. *Journal of the American Voice I/O Society*.
- [18] Carey, B., & Markoff, J. (2010, 7 11). Students, Meet Your New Teacher, Mr. Robot.
- [19] Churamani , N., Cruz, F., Griffiths, S., & Barros, P. (2016). iCub: Learning Emotion Expressions using Human Reward. *International Conference on Intelligent Robots and Systems IROS*.
- [20] CNRS. (2006, juin 13). Le CNRS accueille le premier robot humanoïde implanté hors du Japon. Paris, France.
- [21] Coppin, G., & Sander, D. (2010). Théories et concepts contemporains en psychologie de l'émotion.
- [22] Coulson, M. (2004). Attributing emotion to static body postures: Recognition accuracy, confusions, and viewpoint dependence. *Journal of nonverbal behavior*, 117-139.
- [23] Cuisinier, F., & Pons, F. (2011). Emotions et cognition en classe.
- [24] Cyberlearn. (2019). *Cyberlearn Le centre e-learning de la HES-SO*. Consulté le 04 2019, sur HES-SO - Cyberlearn: <https://www.hes-so.ch/fr/cyberlearn-13256.html>
- [25] Da Silva Neves, R. (2011). *Psychologie cognitive*. Paris: Armand Colin.
- [26] Damásio, A. R. (1999). *Le sentiment même de soi : corps, émotions, conscience*. Paris: Odile Jacob.
- [27] Damásio, A. R. (2006). *L'erreur de Descartes: la raison des émotions*. Odile Jacob.
- [28] Damasio, A. R. (2003). *Spinoza avait raison : Joie et tristesse le cerveau des émotions*. Paris: Odile Jacob.
- [29] D'Andrade, R., & Egan, M. (1974). The colors of emotion. *American ethnologist*, 49-63.
- [30] Darwin, C. (1877). *L'expression des émotions chez l'homme et les animaux* .
- [31] DigInfo TV. (2011, 10 08). *Incredibly realistic male and female android robots from Japan* - Actroid-F. Récupéré sur YouTube.com: <https://www.youtube.com/watch?v=DF39Ygp53mQ>
- [32] Dubath, M. (2006). *Langage du corps et émotions*. Genève: Haute Ecole de Travail Social.
- [33] Dupla, G. (2012). *La voix au théâtre vecteur d'émotion*. Genève: La Manufacture.
- [34] Eiichi Yoshida. (2007, 02 21). *HRP-2, le robot humanoïde franco-japonais*. Récupéré sur Futura Tech: <https://www.futura-sciences.com/tech/dossiers/technologie-hrp-2-robot-humanoide-franco-japonais-688/>
- [35] Ekman, P. (s.d.). Consulting Psychologists Press.
- [36] Ekman, P., & Friesen, W. (1971). Constants across cultures in the face and emotion. *Journal of personality and social psychology*, 124-129.
- [37] ENSLAB. (2015). *ENSLAB*. Consulté le 04 2019, sur HES-SO Valais/Wallis: <https://www.hevs.ch/fr/mini-sites/projets-produits/enslab/>
- [38] Fridin, M., & Belokopytov, M. (2014). Acceptance of socially assistive humanoid robot by preschool and elementary school teachers. *Computers in Human Behavior*, 23-31.
- [39] Goodrich, M. A., & Schultz, A. C. (2007). Human–Robot Interaction: A Survey. *Human–Computer Interaction*, 203-275.

- [40] Gunes, H., & Piccard, M. (2007). Bi-modal emotion recognition from expressive face and body gestures. *Journal of Network and Computer Applications*, 1334-1345.
- [41] Häring, M., Bee, N., & André, E. (2011). Creation and Evaluation of Emotion Expression with Body Movement, Sound and Eye Color for Humanoid Robots. *Symposium on Robot and Human Interactive Communication*, 204-209.
- [42] HES-SO. (2015). *Plan d'intentions de la HES-SO 2015-2020*. Delémont: HES-SO Rectorat.
- [43] HES-SO. (2017). *MSc BA – Travail de Master MSc BA*.
- [44] HES-SO. (2018). *Rapport annuel 2017*. Delémont: Rectorat HES-SO.
- [45] Hirose, M., & Ogawa, K. (2007). Honda humanoid robots development. *Phil. Trans. R. Soc. A*, 11-19.
- [46] Honda. (2019, 05 06). *History of ASIMO*. Récupéré sur Honda: <https://asimo.honda.com/asimo-history/>
- [47] Honda Motor Co., Ltd. (2007). *Technical Information*. Honda Motor Co., Ltd.
- [48] Honda Motor Co., Ltd. (2019, 05 05). *Honda Robotics*. Récupéré sur Honda: <https://global.honda/innovation/robotics/ASIMO.html>
- [49] Hubo Lab. (2019, 05 12). *Hubo2*. Récupéré sur Hubo Lab - Humanoid Robot Research Center: <http://hubolab.kaist.ac.kr/hubo2/>
- [50] Hupka, R. B., Zaleski, Z., Otto, J., Reidl, L., & Tarabrina, N. V. (1997). The Colors of Anger, Envy, Fear, and Jealousy: A Cross-Cultural Study. *Journal of Cross-Cultural Psychology*, 156-171.
- [51] Huskens, B., Verschuur, R., Gillesen, J., Didden, R., & Barakova, E. (2013). Promoting question-asking in school-aged children with autism spectrum disorders: Effectiveness of a robot intervention compared to a human-trainer intervention. *Developmental Neurorehabilitation*, 345-356.
- [52] iCub.org. (2019, 06 22). *Home*. Récupéré sur iCub.org: <http://www.icub.org/>
- [53] Inconnu. (2019, 07 15). Trois paramètres caractéristiques.
- [54] Kaneko, K., Kanehiro, F., Kajita, S., Hirukawa, H., Kawasaki, T., Hirata, M., . . . Isozumi, T. (2004). Humanoid Robot HRP-2. *International Conference on Robotics & Automation*, 1083-1090.
- [55] Kaneko, K., Kensuke, H., Fumio, K., Miyamori, G., & Akachi, K. (2008). Humanoid Robot HRP-3. *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 2471-2478.
- [56] Kaya, N., & Epps, H. H. (2004). Color-emotion associations: Past experience and personal preference. *AIC 2004 Color and Paints, Interim Meeting of the International Color Association, Proceedings*, 31.
- [57] Kim, W.-S. (2005). *Art design of KHR-3*. Ewha Womans University, Seoul, South Korea.
- [58] Knox, E. (2014). The Hostess at the Border: an emergent anachronism. *The Asian Conference on Cultural Studies*.
- [59] Kokoro Co Ltd. (2019, 05 05). *Actroid-DER series*. Récupéré sur Kokoro: https://www.kokoro-dreams.co.jp/english/rt_tokutyu/actroid/

- [60] *La voix: étude et évolution du véhicule des émotions.* (2019, 07 15). Récupéré sur TPE: La détection des émotions à travers la voix et les micro-expressions: <http://tpe-bacs-lyceejda.blogspot.com/2014/02/la-voix-etude-et-evolution-du-souffle.html>
- [61] Larousse. (2018). *Le grand Larousse illustré 2019.* Larousse.
- [62] Laukka, P. (2004). *Vocal Expression of Emotion : Discrete-emotions and Dimensional Accounts.* Uppsala: Uppsala University.
- [63] Lazarus, R. (1966). *Psychological Stress and Coping Process.* New York: McGraw-Hill.
- [64] Le Figaro.fr avec AFP. (2018, 06 28). *La fin du robot humanoïde japonais Asimo ?* Récupéré sur Le Figaro: <http://www.lefigaro.fr/flash-eco/2018/06/28/97002-20180628FILWWW00025-la-fin-du-robot-humanoide-japonais-asimo.php>
- [65] Le Nouvelliste - ATS. (2019, 08 10). *Ecole: des robots dans les classes pour aider les enseignants?* . Récupéré sur Le Nouvelliste: <https://www.lenouvelliste.ch/articles/suisse/école-des-robots-dans-les-classes-pour-aider-les-enseignants-847733>
- [66] Le Robert. (2011). *Le Robert.*
- [67] Locoge, B. (2015, 06 15). *Pixar, la couleur des sentiments.* Récupéré sur Paris-Match: <https://www.parismatch.com/Culture/Cinema/Vice-versa-Pixar-la-couleur-des-sentiments-782666>
- [68] Meier, T. (2019, 08 10). *Le robot Pepper s'implique au Shop.* Récupéré sur Swisscom: <https://magazine.swisscom.ch/nouvelles-technologies/robot-pepper-pilote-shop/>
- [69] Mitsuhiro, H. (2018). Correspondence analysis of color–emotion associations. *Color Research & Application*, 224-237.
- [70] Miwa, H., Itoh, K., Matsumoto, M., Zecca, M., Takanobu, H., Roccella, S., . . . Takani, A. (2004). Effective Emotional Expressions with Emotion Expression Humanoid Robot WE-4RII. *International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 2203-2208.
- [71] Nijdam, N. A. (2009). Mapping emotion to color. *Book Mapping emotion to color*, 2-9.
- [72] Nomura, T., & Nakao, A. (2010). Comparison on Identification of Affective Body Motions by Robots Between Elder People and University Students: A Case Study in Japan. *International Journal of Social Robotics*, 147-157.
- [73] Nomura, T., & Sasa, M. (2009). Investigation of Differences on Impressions of and Behaviors toward Real and Virtual Robots between Elder People and University Students. *IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics*, 934-939.
- [74] Nugier, A. (2009). Histoire et grands courants de recherche sur les émotions. *Revue électronique de Psychologie Sociale*, pp. 8-14.
- [75] Open Textbook for Hong Kong. (2019, 07 15). *The Cannon-Bard and James-Lange Theories of Emotion* . Récupéré sur Open Textbook for Hong Kong: http://www.opentextbooks.org.hk/ditatopic/27298#fig_d41e9
- [76] Park, I.-W., Kim, J.-Y., Lee, J., & Oh, J.-H. (2005). Mechanical Design of Humanoid Robot Platform KHR-3 (KAIST Humanoid Robot - 3: HUBO). *5th IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots*, 321-326.
- [77] Pekrun, R. (2016). Academic emotions. *Handbook of Motivation at School*, 120-144.

- [78] Petit, M. (2005). *Génération d'émotions pour le robot MAPH*. Laboratoire Valoria - Université de Bretagne Sud.
- [79] Projet Romeo. (2019, 08 10). *Projet Romeo*. Récupéré sur Projet Romeo: <https://projetromeo.com/>
- [80] Robot.wikibis.com. (2019, 05 05). *KHR-1*. Récupéré sur Robot.wikibis.com: <http://www.robot.wikibis.com/khr-1.php>
- [81] RobotCub Project. (2019, 06 20). *Welcome to RobotCub*. Récupéré sur RobotCub: <http://www.robotcub.org/>
- [82] ROS.org. (2019, 06 29). *ROS.org*. Récupéré sur Documentation: <http://wiki.ros.org/fr>
- [83] RTSInfo, Pascal Wassmer. (2019, 05 05). *Les robots doivent-ils être tenus pour responsables de leurs actes?* . Récupéré sur RTSInfo: <https://www.rts.ch/info/sciences-tech/10411027-les-robots-doivent-ils-etre-tenus-pour-responsables-de-leurs-actes-.html>
- [84] Rus, J. (2007). *Munsell color system*. Récupéré sur Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Munsell_color_system
- [85] Samans, J. (2005). *The Robosapien Companion: Tips, Tricks, and Hacks*. Apress.
- [86] Sander, D. (2013). Models of emotion : the affective neuroscience approach. *The Cambridge Handbook of Human Affective Neuroscience*, 5-53.
- [87] Sander, D. (2016). Psychologie des émotions. *Encyclopædia Universalis*.
- [88] Sander, D. (2018, 06 07-08). Emotion et apprentissage. Morat.
- [89] Sander, D., Denervaud, S., Franchini, M., & Gentaz, E. (2017). Les émotions au cœur des processus d'apprentissage. *Neurosciences et pédagogie spécialisée*, 20-25.
- [90] Schachter, S., & Singer, J. E. (1962). Cognitive, social and physiological determinants of emotional state. *Physiological Review*, 379 - 399.
- [91] Scherer, K., & Sander, D. (2014). *Traité de psychologie des émotions*. Dunod.
- [92] Shin, N., & Kim, S. (2007). Learning about, from, and with Robots: Students' Perspectives. *Learning about, from, and with Robots: Students' Perspectives*, 1040-1045.
- [93] Shiotani, S., Tomonaka, T., Kemmotsu, K., Asano, S., Oonishi, K., & Hiura, R. (2006). World's First Full-fledged Communication Robot "wakamaru" Capable of Livingwith Family and Supporting Persons. *Technical Review*.
- [94] Siciliano, B., & Kathib, O. (2019). Humanoid Robots: Historical Perspective,Overview and Scope. *Humanoid Robotics: A Reference*, 3-8.
- [95] SnapSurveys. (2001, 09 16). *What's the difference between qualitative and quantitative research?* Récupéré sur SnapSurveys: The sample size is typically small, and respondents are selected to fulfil a given quota.
- [96] Sabin, C., & Alpert, M. (1999). Emotion in Speech: The Acoustic Attributes of Fear, Anger, Sadness, and Joy. *Journal of Psycholinguistic Research*, 347-365.
- [97] SoftBank Robotics. (2018). *Pocket Guide - NAO6*.
- [98] SoftBank Robotics. (2019, 06 24). *NAO*. Récupéré sur SoftBank Robotics: <https://www.softbankrobotics.com/emea/fr/nao>

- [99] SoftBank Robotics. (2019, 06 26). *NAO - Developer Guide*. Récupéré sur SoftBank Robotics: <https://developer.softbankrobotics.com/nao6/>
- [100] Softbank Robotics. (2019, 05 14). *Pepper*. Récupéré sur Softbank Robotics: <https://www.softbankrobotics.com/us/pepper>
- [101] SoftBank Robotics. (2019, 05 14). *Pepper*. Récupéré sur SoftBank Robotics: <https://www.softbankrobotics.com/emea/fr/pepper>
- [102] SoftBank Robotics. (2019, 07 04). *Store*. Récupéré sur SoftBank Robotics: https://store.aldebaran.com/eur_en/applications/all.html
- [103] Solomon, R. L., & Corbit, J. D. (1974). An opponent-process theory of motivation : I. Temporal dynamics of affect. *Psychological review*, 119-145.
- [104] Stückler, J., Schwenk, J., & Behnke, S. (2004). *Getting Back on Two Feet: Reliable Standing-up Routines for a Humanoid Robot*. Freiburg: University of Freiburg, Computer Science Institute.
- [105] Swiss Digital Health. (2019, 08 10). *Comment les robots humanoïdes peuvent être un assistant au personnel de santé ?* Récupéré sur Swiss Digital Health: <https://www.swissdigitalhealth.com/news/comment-les-robots-humanoides-peuvent-etre-un-assistant-au-personnel-de-sante/>
- [106] Tahon, M. (2012). *Analyse acoustique de la voix émotionnelle de locuteurs lors d'une interaction humain-robot*. Paris: Université Paris Sud - Paris XI.
- [107] Tato, R. (1999). *Emotion Recognition in Speech Signal*. Manchester: University of Manchester.
- [108] Tielman, M., Neerincx, M., Meyer, J.-J., & Looije, R. (2011). Adaptive Emotional Expression in Robot-Child Interaction. *RO-MAN*, 204-209.
- [109] UBTEch Robotics Inc. (2019, 05 14). *UBTEch Alpha 1 Pro*. Récupéré sur UBTEch Robotics: <https://ubtrobot.com/pages/alpha>
- [110] UBTEch Robotics Inc. (2019, 05 14). *Lynx*. Récupéré sur UBTEch Robotics: <https://ubtrobot.com/products/lynx>
- [111] UNIGE. (2018, 02 15). Les émotions véhiculées par la voix sont catégorisées dans le lobe frontal. *Journal de l'UNIGE* n°141, p. 4.
- [112] Vernon, D., von Hofsten, C., & Fadiga, L. (2011). The iCub cognitive architecture. A *Roadmap for Cognitive Development in Humanoid Robots*, 121-153.
- [113] Vincent, J.-D. (2009). *Biologie des passions*. Odile Jacob .
- [114] Walsh, C., & Campbell, C. (2018). *WALSH, Chris et CAMPBELL, Claire. Introducing Coding as a Literacy on Mobile Devices in the Early Years*. Mobile Technologies in Children's Language and Literacy: Innovative Pedagogy in Preschool and Primary Education.
- [115] Weber, M., & Claudon, P. (2009). L'émotion: Contribution à l'étude psychodynamique du développement de la pensée de l'enfant sans langage en interaction. *Devenir*, 61-99.
- [116] Wikipedia. (2019, 05 12). *Humanoid Robotics Project*. Récupéré sur Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Humanoid_Robotics_Project

- [117] Wiktionary. (2019, 07 07). *arousal*. Récupéré sur Wiktionary: <https://fr.wiktionary.org/wiki/arousal>
- [118] WowWee Group Limited. (2019, 05 12). *The Original Biomorphic Robot*. Récupéré sur WowWee.com: <https://wowwee.com/robosapien-x>
- [119] Wu, Y., & Huan, T. S. (2001). Hand Modeling Analysis, and Recognition. *IEEE Signal Processing Magazine*, 51-60.
- [120] You, Z.-J., Shen, C.-Y., Chang, C.-W., Liu, B.-J., & Chen, G.-D. (2006). A Robot as a Teaching Assistant in an English Class . *Sixth International Conference on Advanced Learning Technologies IEEE*, 87-91.

Annexes

Descriptif du Travail de Master

HES-SO//Master

Dépôt du Thème du Travail de Master

Filière : MSc BA – Orientation MSI

Nature confidentielle du travail

Etudiant-e Cyril Zufferey	Année 2019
Entreprise / Institut dans lequel le travail s'effectue Centre e-learning HES-SO Cyberlearn Prof. Anne-Dominique Salamin adominique.salamin@hes-so.ch	Lieu de réalisation du TM Cyberlearn

Titre EMOLIN – EMOrtional Learning INteractions Robot-student
Mots-clés Robot NAO, apprentissage, émotion, interactions
Description (y compris méthodologie prévue et contexte dans lequel le travail s'inscrit) Le Centre e-learning de la HES-SO, par son laboratoire « Enhanced Students Laboratory » (Enslab), mène des recherches sur l'impact des dispositifs technologiques innovants sur l'apprentissage. Dans ce cadre, le laboratoire a acquis le robot NAO. Apparu en 2007, ce robot humanoïde autonome et programmable a été développé pour les universités et les laboratoires à des fins de recherche et d'éducation. Le Robot NAO embarque des capteurs qui lui permettent d'analyser les émotions des humains qui interagissent avec lui. Il est capable également de diffuser des formes d'émotion vers l'utilisateur-trice, via ses caméras oculaires, sa voix synthétique et un dispositif de lumière colorées. Le projet EMOLIN vise à coupler un robot et un étudiant pour effectuer une activité d'apprentissage, de type mémorisation par cœur. Le robot joue le rôle du répétiteur-trice. Au fur et à mesure du déroulement de la séquence d'apprentissage, le robot adapte son propre comportement et son discours, en intégrant des aspects émotionnels. Cette recherche vise à déterminer comment NAO adapte son feedback émotionnel dynamiquement par rapport au comportement et aux réponses faites par l'utilisateur-trice et mesurera l'impact de cette adaptation sur la capacité d'apprentissage de l'étudiant-e. Le travail couvre trois thématiques : <ol style="list-style-type: none">1. Evaluer et programmer les capacités émotionnelles de NAO,2. Développer une séquence d'apprentissage de vocabulaire technique et réaliser un prototype,3. Tester sur un panel de 10 étudiant-e-s la progression dans l'apprentissage (métriques quantitatives via capteurs, réussite à un test de fin de séquence) et récolter le feedback des étudiants sur l'usage de ce type de dispositif (entretiens qualitatifs).

Objectifs (scientifiques, économiques, etc.)**1. Objectifs technologiques**

- Comprendre le fonctionnement du robot Nao,
- Développer un prototype d'apprentissage de vocabulaire technique,
- Associer aux réponses des feedbacks émotionnels appropriés.

2. Objectifs scientifiques

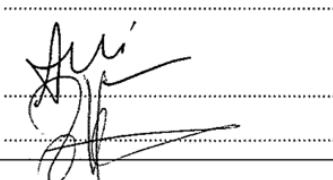
- Définir la question de recherche,
- Formuler l'hypothèse de recherche,
- Prendre position par rapport à l'hypothèse de recherche.

3. En fin de travail il s'agit de :

- Discuter des résultats obtenus,
- Les interpréter,
- Prendre position face à ceux-ci.

Méthodologie appliquée :

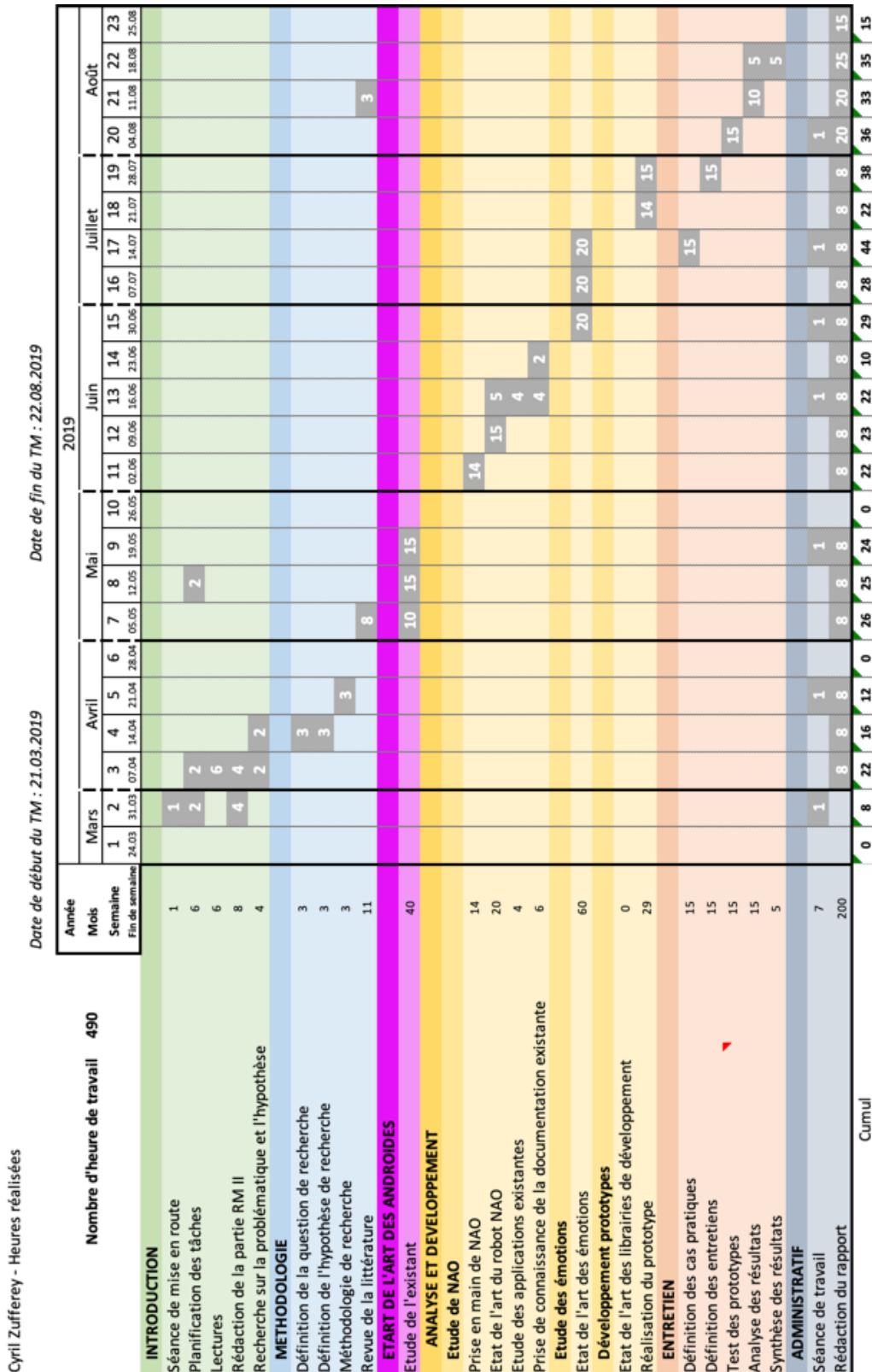
1. Prendre en main le robot Nao,
2. Effectuer un état de l'art des feedbacks émotionnels exécutables par le robot Nao,
3. Développer le prototype d'apprentissage de vocabulaire technique,
4. Tester le prototype sur un échantillon d'étudiants (approche qualitative),
5. Analyser les résultats, discuter les résultats,
6. Invalider/valider l'hypothèse de départ.

Signature	Délais
RO MSI	Attribution du thème
Professeur: 	Remise du rapport
Etudiant: 	

Planification prévue

Année	2019												Août											
	Mois	Mars			Avril			Mai			Juin													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Année	Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Année	Semaine	24.03	31.03	07.04	14.04	21.04	28.04	05.05	12.05	19.05	26.05	03.06	09.06	16.06	23.06	30.06	07.07	14.07	21.07	28.07	04.08	11.08	18.08	25.08
INTRODUCTION																								
Séance de mise en route	1																							
Planification des tâches	4																							
Lectures	6																							
Rédaction de la partie RM II	6																							
Recherche sur la problématique et l'hypothèse	6																							
MÉTHODOLOGIE																								
Définition de la question de recherche	4																							
Définition de l'hypothèse de recherche	4																							
Méthodologie de recherche	4																							
Revue de la littérature	12																							
ÉTAT DE L'ART DES ANDROIDES																								
Etude de l'existant	24																							
ANALYSE ET DÉVELOPPEMENT																								
Etude de NAO																								
Prise en main de NAO	8																							
Etat de l'art du robot NAO	8																							
Etude des applications existantes	3																							
Prise de connaissance de la documentation existante	3																							
Etude des émotions																								
Etat de l'art des émotions	32																							
Développement prototypes																								
Etat de l'art des bibliothèques de développement	4																							
Réalisation du prototype	70																							
ENTRETIEN																								
Définition des cas pratiques	10																							
Définition des entretiens	12																							
Test des prototypes	36																							
Analyse des résultats	20																							
Synthèse des résultats	8																							
ADMINISTRATIF																								
Séance de travail	9																							
Rédaction du rapport	198																							
Cumul	0	11	20	19	12	0	8	23	30	31	34	29	28	29	36	38	33	24	19	24	15	21	20	

Planification réalisée



Cyril Zufferey - Heures réalisées

Travail de Master, MSc HES-SO en Business Administration, Management des Systèmes d'information,
EMOLIN – EMotional Learning INterations robot-student

Scénario du prototype

Introduction du robot

Robot >>>

Bonjour, je suis heureux de vous rencontrer, mon nom est Charlie et je travaille chez Cyberlearn. Je vais dans un premier temps vous poser deux questions pour que vous compreniez comment je fonctionne.

Commençons par ces deux questions

PHASE DE MISE EN PLACE

Question 1 de mise en place

CHANTER

Indicatif	Présent
1 ^{ère} pers.	Singulier
	JE CHANTE

Question

Robot >>> Conjuguez le verbe "CHANTER" à la première personne du singulier du présent de l'indicatif.

Si juste :

Retour : neutre

Robot >>> C'est correct. Vous avez donné la bonne réponse. Passons à l'essai suivant.

Si faux :

Retour : neutre

Robot >>> Ce n'est pas tout à fait cela. Passons à l'essai suivant.

Question 2 de mise en place

POUVOIR

NOUS POURRONS

QUESTION

Robot >>> Conjuguez le verbe "POUVOIR" à la première personne du pluriel du futur simple.

Si juste :

Retour : neutre

Robot >>> Correct. Vous avez trouvé la bonne réponse. A présent, nous allons passer à la véritable phase de test.

Si faux :

Retour : neutre

Robot >>> Pas loin, vous ferez mieux la prochaine fois. A présent, nous allons passer à la véritable phase de test.

Avant de débuter le questionnaire

Robot >>>

Nous venons de terminer notre série d'essai. Nous allons débuter tout de suite le véritable quiz de 15 questions sur la conjugaison.

C'est parti.

PHASE DE TEST

Question 1 – Niveau 1

AIMER

Indicatif	Présent	
2 ^{ème} pers.	Singulier	TU AIMES

QUESTION

Robot >>> Conjuguez le verbe "AIMER" à la deuxième personne du singulier de l'indicatif présent.

FEEDBACK A LA QUESTION

Si juste :

Retour : JOIE1

Robot >>> C'est juste. Vous avez trouvé la bonne réponse. Avançons à la question suivante.

Si faux :

Retour : COLERE1

Robot >>> Presque correct. C'est vraiment dommage. Toutefois, ce n'est pas ce que j'attendais. Avançons à la question suivante.

Question 2 – Niveau 2

VENDRE

Indicatif	Imparfait	
2 ^{ème} pers.	Pluriel	VOUS VENDIEZ

QUESTION

Robot >>> Conjuguez le verbe "VENDRE" à la deuxième personne du pluriel de l'indicatif imparfait.

FEEDBACK A LA QUESTION

Si juste :

Retour : JOIE2

Robot >>> Magnifique, vous êtes sur la bonne voie. J'espérais justement cette réponse. C'est parti pour la troisième question.

Si faux :

Retour : TRISTESSE1

Robot >>> Non, non, ce n'est pas que ce j'espérais. Il faut vous reprendre. Allons vers la troisième question.

Question 3 – Niveau 3

COURIR

Indicatif	Futur Simple
1 ^{ère} pers.	Singulier
	JE COURRAI

QUESTION

Robot >>> Conjuguez le verbe "COURIR" à la première personne du singulier de l'Indicatif Futur simple.

FEEDBACK A LA QUESTION

Si juste :

Retour : SURPRISE1

Robot >>> Effectivement, c'est la réponse que j'espérais. Bien répondu. On poursuit avec la question suivante.

Si faux :

Retour : PEUR1

Robot >>> Non, non. Je ne m'attendais pas tout à fait à ça. Ohlala. Bon, on poursuit avec la question suivante.

Question 4 – Niveau 5

AIMER

Subjonctif	Imparfait
2 ^{ème} pers.	Pluriel
	QUE VOUS AIMASIEZ

QUESTION

Robot >>> Conjuguez le verbe "AIMER" à la deuxième personne du pluriel du Subjonctif Imparfait

FEEDBACK A LA QUESTION

Si juste :

Retour : SURPRISE2

Robot >>> Splendide. Incroyable. Votre réponse était inattendue.

Si faux :

Retour : DEGOÛT1

Robot >>> Non ce n'est pas ça ! J'avais quand même un peu plus d'espoir pour cette réponse.

APRES QUESTION 4

/!\ FEEDBACK EMOTIONNEL / GET MOOD

SI NEUTRE OU INCONNU

Retour : Neutre

Robot >>> Vous semblez un peu passif. N'hésitez pas à bouger un peu si besoin. On passe à la question suivante.

SI POSITIF

Retour : JOIE2

Robot >>> Je constate que vous avez une attitude positive. Poursuivez ainsi et tout ira bien. On passe à la question suivante.

SI NEGATIF

Retour : COLERE1

Robot >>> Vous semblez un peu stressé. Ça ne va pas aider. On se concentre et on passe à la suite.

Question 5 – Niveau 1

VENDRE

Indicatif	Présent	
3 ^{ème} pers.	Pluriel	ILS VENDENT / ELLES VENDENT

QUESTION

Robot >>> Conjuguez le verbe "VENDRE" à la troisième personne du pluriel de l'Indicatif Présent

FEEDBACK A LA QUESTION

Si juste :

Retour : JOIE1

Robot >>> Bonne réponse. Ce n'était pas la question la plus difficile, mais il fallait le faire. Passons à la suite.

Si faux :

Retour : COLERE2

Robot >>> C'était un peu inattendu comme réponse. Ça ira mieux ensuite. Passons à la suite.

Question 6 – Niveau 1

COURIR

Indicatif	Présent	
2 ^{ère} pers.	Singulier	TU COURS

QUESTION

Robot >>> Conjuguez le verbe "COURIR" à la deuxième personne du singulier de l'Indicatif Présent

FEEDBACK A LA QUESTION

/!\ FEEDBACK IDENTIQUE ET FORT

Si juste :

Si faux :

Retour : COLERE1

Robot >>> Non, non, non. Ce n'est pas croyable de faire faux un exercice aussi simple. Vous prenez ce test à la légère ? Continuons l'épreuve et tâchez de faire mieux, cette fois-ci.

Question 7 – Niveau 5

VENDRE

Subjonctif	Imparfait
2 ^{ème} pers.	Singulier

QUE TU VENDISSES

QUESTION

Robot >>> Conjuguez le verbe "VENDRE" à la deuxième personne du singulier du Subjonctif Imparfait

FEEDBACK A LA QUESTION

Si juste :

Retour : SURPRISE1

Robot >>> Alors là, vous m'étonnez. Je n'aurais jamais pensé que l'on puisse trouver cette réponse. Félicitations.

Si faux :

Retour : TRISTESSE2

Robot >>> Je ne suis pas étonné que la réponse ne soit pas parfaite. Toutefois, je m'attendais à mieux. Il faut se reprendre. Allons à la suite.

Question 8 – Niveau 3

AIMER

Indicatif	Futur simple
3 ^{ème} pers.	Singulier

IL / ELLE / ON AIMERA

QUESTION

Robot >>> Conjuguez le verbe " à la troisième personne du singulier de l'Indicatif Futur simple.

FEEDBACK A LA QUESTION

Si juste :

Retour : JOIE2

Robot >>> C'est juste. Mes félicitations pour cette bonne réponse. J'étais sûr que vous alliez y arriver. Encore bravo. Passons à la suite de notre exercice.

Si faux :

Retour : PEUR2

Robot >>> Ce n'est pas tout à fait ce que j'attendais. C'est vraiment dommage. Allons à la suite.

Question 9 – Niveau 2

COURIR

Indicatif	Imparfait
2 ^{ème} pers.	Singulier

TU COURAIS

QUESTION

Robot >>> Conjuguez le verbe "COURIR" à la deuxième personne du singulier de l'Indicatif imparfait

FEEDBACK A LA QUESTION

Si juste :

Retour : JOIE1

Robot >>> C'est formidable. C'est une nouvelle bonne réponse. Poursuivons l'épreuve.

Si faux :

Retour : DEGOUT2

Robot >>> Non, je m'attendais à autre chose pour cette question. Poursuivons l'épreuve.

Question 10 – Niveau 4

AIMER

Conditionnel	Présent
1 ^{ère} pers.	Singulier

J'AIMERAIS

QUESTION

Robot >>> Conjuguez le verbe "AIMER" à la première personne du singulier du conditionnel présent.

FEEDBACK A LA QUESTION

Si juste :

Retour : SURPRISE2

Robot >>> C'était un peu inattendu le conditionnel, n'est-ce pas ? Bravo pour la bonne réponse.

Si faux :

Retour : COLERE2

Robot >>> J'espère obtenir autre chose de votre part. On verra si ça ira mieux la prochaine fois.

APRES QUESTION 10

/!\ FEEDBACK EMOTIONNEL / GET MOOD

SI NEUTRE OU INCONNU

Retour : neutre

Robot >>> Vous semblez un peu passif. Donnez un peu de voix, bougez un peu pendant l'exercice si besoin. On reprend l'examen.

SI POSITIF

Retour : JOIE2

Robot >>> Vous avez une attitude positive. C'est nécessaire pour cet exercice. On rentre dans la dernière ligne droite. C'est parti !

SI NEGATIF

Retour : TRISTESSE2

Robot >>> Cela ne va pas sembler-t-il. Vous n'avez pas bonne mine. Prenez une grande inspiration et expirez. On se motive et on reprend l'exercice.

Question 11 – Niveau 3

VENDRE

Indicatif	Futur Simple
2 ^{ème} pers.	Pluriel

VOUS VENDREZ

QUESTION

Robot >>> Conjuguez le verbe "VENDRE" à la deuxième personne du pluriel de l'Indicatif Futur simple

FEEDBACK A LA QUESTION

Si juste :

Retour : JOIE1

Robot >>> Tout juste pour cette réponse. C'est exactement ce que j'espérais de vous.

Si faux :

Retour : SURPRISE1

Robot >>> Je ne peux pas y croire. Je ne m'attendais pas tout à fait à ça comme réponse. Quel dommage.

Question 12 – Niveau 2

AIMER

Indicatif	Imparfait
3 ^{ère} pers.	Pluriel

ILS / ELLES AIMAIENT

QUESTION

Robot >>> Conjuguez le verbe "AIMER" à la troisième personne du pluriel de l'Indicatif Imparfait.

FEEDBACK A LA QUESTION

/!\ FEEDBACK IDENTIQUE ET FORT

Juste ou faux :

Retour : DEGOUT1

Robot >>> Oooh. Comment pouvez-vous répondre de cette manière. Ce n'est pas croyable. Il va falloir faire mieux dès à présent.

Question 13 – Niveau 5

COURIR

Subjonctif	Imparfait	
3 ^{ème} pers.	Singulier	QU'IL / QU'ELLE / QU'ON COURÛT

QUESTION

Robot >>> Conjuguez le verbe "COURIR" à la troisième personne du pluriel du subjonctif imparfait

FEEDBACK A LA QUESTION

Si juste :

Retour : SURPRISE2

Robot >>> C'est la bonne réponse. Bravo car il fallait la trouver celle-là. Avançons jusqu'à la quatorzième question.

Si faux :

Retour : PEUR1

Robot >>> Non, ce n'est pas ce que j'espérais. Il faut vous reprendre. Avançons jusqu'à la quatorzième question.

Question 14 – Niveau 4

AIMER

Conditionnel	Présent	
2 ^{ème}	Pluriel	VOUS AIMERIEZ

QUESTION

Robot >>> Conjuguez le verbe "AIMER" à la deuxième personne du pluriel du conditionnel présent

FEEDBACK A LA QUESTION

Si juste :

Retour : JOIE2

Robot >>> Félicitations. Le conditionnel du verbe aimer n'a pas ou presque pas de secret pour vous.

Si faux :

Retour : TRISTESSE2

Robot >>> Oooh, je suis chagriné. Je pensais que vous feriez mieux à cette question.

APRES QUESTION 14

/!\ FEEDBACK EMOTIONNEL / GET MOOD

SI NEUTRE OU INCONNU

Retour : neutre

Robot >>> Allez ! On se dirige vers la dernière question. On se motive et on y répond correctement. C'est parti.

SI POSITIF

Retour : SURPRISE1

Robot >>> Heureux de vous voir avec un visage positif. C'est comme cela que l'on va de l'avant. C'est parti pour la dernière question.

SI NEGATIF

Retour : COLERE2

Robot >>> Hey oh. Vous me semblez un peu ailleurs ou dispersé. On se réveille car il est l'heure de répondre à la dernière question. C'est parti.

Question 15 – Niveau 2

VENDRE

Indicatif	Imparfait
1 ^{ère}	Pluriel
	NOUS VENDIONS

QUESTION

Robot >>> Conjuguez le verbe "VENDRE" à la première personne du pluriel de l'indicatif imparfait

FEEDBACK A LA QUESTION

Si juste :

Retour : JOIE1

Robot >>> Bravo cette dernière question est synonyme de bonne réponse. Félicitations !

Si faux :

Retour : COLERE1

Robot >>> Ce n'est pas ce que j'espérais comme réponse pour terminer ce quiz.

Fin de questionnaire du robot

Robot >>> Cette partie d'examen s'achève à présent. Je vous remercie d'avoir participé à ce questionnaire. A bientôt, j'espère.

Résultats des entretiens

Qu'avez-vous pensé du robot en général ?

- Interaction intéressante, réponses variées du robot
- bonne interaction avec le robot, plutôt drôle
- J'ai été étonnée qu'il arrive à capter mon attention et à imposer sa présence.
- le concept est ludique car il nous suit du regard et imite nos positions.
- Intéressant et un peu surprenant de parler à un robot (dans le sens où il répond avec des mouvements également)
- Il bouge dans tous les sens.
- Je trouve impressionnant ce qu'on peut faire avec l'informatique de nos jours. J'ai trouvé sympa de pouvoir voir qu'un robot puisse répondre aux questions, comprendre les réponses et s'y ajuster.
- C'est inhabituel, impose pas mal de contraintes pour répondre, mais de manière général assez ludique et intrigant.
- Il bouge beaucoup et suit le regard. Je trouve cela intéressant mais l'interaction ne sera jamais comme avec un humain.
- il est drôle dans ses expressions oculaires et avec ses mouvements du corps

Que pensez-vous du fait d'apprendre avec un robot ?

- Nécessite un temps d'adaptation, mais peut être un outil très bénéfique
- c'est une bonne alternative pour nous montrer les possibilités technologique et une différente manière d'apprendre, mais je pense qu'il faut l'utiliser à petite dose
- Je trouve cela intéressant si je n'ai personne pour m'aider à réviser.
- Je n'ai pas trop apprécié car je suis une personne visuelle et le fait que les questions soient uniquement orales m'a désavantagé. Mon apprentissage est plus rapide par écrit également. Le rythme était lent à mon goût du coup j'oubliais parfois le verbe à conjuguer.
- C'est intéressant
- Trop de bruits (mécanisme, yeux qui changent de couleurs ...)
- Je pense que pour certains domaines, apprendre avec un robot peut être super intéressant. Par exemple pour faire réviser nos examens à la maison... Par contre je ne verrai pas apprendre complètement avec un robot surtout que mon métier est basé sur le lien social. Mais pourquoi pas introduire pour certains cours qui sont plutôt théorique.
- Ce n'est pas évident de se concentrer au début, c'est une nouvelle chose, on l'observe sans forcément prêter attention à ce qu'il dit.
- Je n'aime pas trop car il ne comprend pas toujours ce que l'on dit. Il ne nous laisse pas toujours le temps de répondre et répond, justement, comme un robot.
- il manque l'interaction humaine naturelle (compassion, échange, interaction physique)

Quels sont les comportements du robot qui vous ont frappé ?

- La gestuelle, l'intonation de la voix pas autant "mécanique" qu'attendu (comparé à un outil comme SIRI)
- lors d'une bonne réponse les gestes, et lors d'une mauvaise réponse les commentaires, par exemple j'espérais mieux.....Je le trouve trop agressif et intimidant. J'ai été surprise. Il change de ton de voix trop souvent.
- Qu'il n'entend pas certaine réponses
- Ces changements de volumes, j'avais l'impression que ses mouvements se calaient aux miens
- Il répond faux, je suis quasiment sur d'avoir eu juste mais le robot disait faux.
- L'expression des émotions (lever les bras par ex). Le fait de féliciter quand il y a une bonne réponse ou au contraire quand il y a une mauvaise réponse de l'exprimer.
- Il essaie d'applaudir, encourage lors de mauvaise réponse, ses yeux sont devenus rouge pour marquer la déception, il baisse la tête lorsque je réponds faux, différentes intonations de voix (aigue/grave, faible/forte), les clignements des yeux avec la luminosité qui varie, il nous suit du regard
- Il suit mon regard et bouge beaucoup comme un humain. Je ne le trouvais pas super sympa quand on se trompait dans les réponses.
- Il n'attendait pas vraiment notre réponse.
- sa gestuelle (positif) et ses expressions orales (négatif)

Estimez-vous que ce robot est capable d'exprimer des émotions ?

- Oui, par l'intonation de la voix
- oui
- Oui mais il ne sait pas les contrôler... De plus, je n'arrive pas à savoir quand il est heureux, contents ou énervé.
- Non je n'ai pas ressenti d'émotions de la part du robot
- Les couleurs de ses yeux indiquent les changements d'émotions
- Oui, il peut faire rire.
- Oui, je pense qu'il ne peut pas exprimer toutes les émotions car il manque par exemple l'expression du visage et la tonalité de la voix pour que ce soit authentique.
- Grâce aux différents comportements cités à la question 3 on a l'impression qu'il est content lorsque l'on répond juste et déçu lorsque l'on répond faux. Mais à part ces aspects "technologiques" il n'a pas de mimique réelle avec la bouche, ni sur les joues ou sur le front ce qui manque pour véritablement exprimer de l'émotion. Donc moitié oui, moitié non...
- Non, ça reste un robot.
- non

Durant ce test, pensez-vous que les feedbacks de ce robot ont intégré de l'émotion ? Lesquelles ?

- Oui, de la déception lors de mauvaises réponses et de l'enthousiasme / joie lors de réponses positives
- oui, il était déçu: les bras et la tête vers le bas les genoux pliés, heureux: comme un petit saut de joie, les bras qui bougent, les mains qui se ferment. Que le robot me dise qu'il espérait mieux
- De l'agression et de la violence non physique.
- non mais elles sont jouées par le robot : la surprise et la colère quand nous faisons une réponse fausse et la joie pour les réponses correctes
- Oui, la colère, la joie, l'encouragement
- Ironie, sarcasme.
- Oui, je dirais qu'il y a eu de la joie (bonne réponse) et de la déception (mauvaise réponse).
- Déception (baisse la tête, voix faible) Enervement (yeux rouge) Joie (Applaudit, voix forte, se relève brusquement)
- Du désespoir (au vu de mes réponses). Mais cela doit être calculé et les phrases codées afin que quand on répond juste ou faux, il sorte la réponse qui va avec cette réponse.
- il était déçu et énervé. ses réponses pouvaient parfois être blessantes

Parmi les moyens que le robot a utilisés pour communiquer avec vous, quels sont ceux qui vous ont frappés ? Etonnés ? Encouragés ? Découragés ?

- L'enthousiasme, la capacité d'encouragement et sa gestuelle m'ont étonné et encouragé lors des feedback du robot
- les gestes : encouragé et les remarques: étonné
- Je trouve qu'il arrivait à m'encourager avec les phrases du style : Tu peux faire mieux, courage etc. Sinon, j'avais l'impression de me faire rabaisser.
- Découragé :Qu'il juge mes réponses "ah elle était facile pourtant" / Encouragé : vous avez une attitude positive
- Étonné par le mouvement de ses bras lors d'une bonne réponse
- Ces grands mouvements de bras quand on répond juste, on les attend avec impatience après chaque questions. C'est encourageant.
- J'ai été étonnée lorsqu'il a parlé de ma "posture" en disant la première fois que je pouvais bouger un peu et la deuxième fois en disant qu'elle était sérieuse. Je me suis sentie plutôt encouragée lorsqu'il utilisait certains termes comme par exemple "vous aurez pu faire mieux"... La couleur des yeux m'a aussi questionnée, j'ai pu voir que quand je répondais faux, ils devenait rouge et vert pour les bonnes réponses.
- Applaudissement, La tête qui baisse, Variation dans la voix
- La gestuelle ainsi que la parole. Quand je répondais faux, il avait l'air vraiment désespéré, comme l'aurait été un humain.
- sa gestuelle m'a encouragée et ses mots m'ont frappée

Selon vous, durant ce test, le robot a-t-il pris en compte vos propres émotions ?

- Oui, l'expression positive (CZ : lors du feedback émotionnel)
- oui, mon sourire, car après plusieurs réponses négatives, il a vu que j'avais une attitude positive
- Non pas du tout
- oui quand il a dit vous avez une attitude positive
- Oui, il m'a remotivé à un moment, il m'a dit que j'étais un peu ailleurs
- Oui
- Je sais pas, j'aurai plutôt dit oui étant donné qu'il a parlé de ma posture. Mais j'ai un peu de peine à comprendre comment il pourrait prendre en compte le stress par exemple.
- Oui, en me disant que j'avais une attitude positive, parce que je souriais
- Non, du tout.
- concernant le stress de passer cet examen oui, mais pas concernant mon étonnement à ses feedbacks parfois durs

Quelle émotion principale avez-vous ressentie durant le test ?

- Un peu de honte liée aux mauvaises réponses
- amusement car je n'ai pas l'habitude de discuter avec un robot
- Intimidation
- la peur de faire faux la conjugaison
- D'abord, de la joie d'entendre ses félicitations puis un peu de déception de pas trouver des bonnes réponses, surpris lorsqu'il m'a dit qu'il s'attendait à mieux de ma part
- De l'amusement, ça façon de se tenir, ses phrases qui semblent un peu ironique m'ont amusé.
- Je dirais l'intrigue car j'appréhendais la réaction du robot lors de mauvaise ou bonne réponse.
- De la fierté quand il applaudissait
- De l'agacement ainsi que du stresse
- Stress

Quelle émotion principale avez-vous ressentie à la fin du test ?

- Un peu de déception quant aux mauvaises réponses et un soulagement d'avoir terminé
- j'ai eu un échange étonnant avec ce robot, on se prend vite au jeu
- Soulagée que se soit fini
- la colère car je n'ai pas révisé la conjugaison depuis longtemps
- La dernière question m'a permis de changer mon émotion car il m'a félicité quand j'ai répondu correctement, alors qu'avant j'étais un peu déçu de mes réponses
- Un peu de frustration, pas l'impression d'avoir vraiment joué avec le robot. Les réponses du robot était défini à l'avance, qu'elles soient justes ou fausses.
- Soulagement car j'ai pu constater que même le robot n'était pas forcément là pour juger mais plutôt pour aider à faire mieux.
- Rien de particulier, pas eu de stress à répondre aux questions, mais tout de même un peu intrigué.
- Du soulagement (car il allait enfin arrêter de me juger)
- Joie

Selon vous, en quoi le robot a-t-il influencé cet état émotionnel final ?

- Par le fait d'être déçu par les réponses fausses et de m'encourager pour donner des réponses justes
- avec ces encouragements après une mauvaise réponse, il m'a motivé
- Il n'a pas réussi à me mettre en confiance.
- avec ces remarques
- Par ses félicitations
- En disant que c'était faux alors que c'était juste.
- Je pense le fait de rassurer et d'encourager lors de mauvaises réponses.
- Intrigué par les mouvement que le robot était capable de faire, son déhanché surtout!
- Ces réponses ainsi que sa gestuelle ont influencé cet état émotionnel
- de par sa gestuelle et l'étonnement de voir l'interaction possible avec un robot

Qu'avez-vous préféré dans sa manière de réagir à vos réponses ?

- Son enthousiasme et sa gestuelle motivante
- les petits sauts et les bras qui se lèvent lors d'une réponse positive, souvent une note positive est donnée par le robot malgré une mauvaise réponse
- Qu'il bouge la tête (oui) quand une réponse était correcte.
- les remarques positives
- Ses félicitations avec les mouvements des bras. Une réponse était correcte et il a levé les deux pour féliciter.
- Ces petites phrases "J'attendais mieux de toi" ...
- Les encouragements et les félicitations (mouvement et parole)
- L'applaudissement et le suivi du regard
- Le fait qu'il me suive du regard
- la gestuelle

Qu'avez-vous moins apprécié dans sa manière de réagir à vos réponses ?

- Le fait qu'il n'entende pas si la réponse n'est pas assez forte
- rien de m'a vraiment dérangé dans sa manière de réagir
- Quand il mettait ses bras en avant.
- la lenteur dans sa manière de parler
- M'a paru un peu sec lorsque j'ai fait quelques erreurs, j'aurai préféré un encouragement ou un "c'est pas grave, regarde cette question est pour toi"
- Il gesticulait tout le temps.
- Je pense le fait de parler de ma posture car j'arrive pas à comprendre comment il peut analyser alors qu'il y a beaucoup de chose qui rentre en ligne de compte comme par exemple les émotions qui sont déjà compliqué de percevoir par les humains.
- Les yeux rouges pour montrer son agacement
- Il ne m'écoutait pas et s'énervait tout seul
- le vocabulaire parfois blessant ou démoralisant

Remarques :

- Très intéressant outil d'apprentissage, prise au sérieux de la part du robot ce qui donne l'envie de mieux faire. La gestuelle du robot motive à faire le test. J'ai réellement apprécié son enthousiasme et ses encouragements. Le fait d'être à la même hauteur que le robot (éventuellement assis), aurait permis d'être plus à l'aise pour interagir avec lui. Langage moins robotisé qu'attendu, discours plus fluide.
- je ne perçois peut-être pas les émotions à cause du manque de langage non verbal chez le robot
- J'ai été très surpris d'entendre que je n'étais pas concentré, je me demande si c'est parce que j'ai fait pas mal d'erreurs d'affilées où si c'est parce que je ne le regardais pas et qu'il a remarqué
- Est-ce le futur de l'enseignement?
- Un robot ne remplacera jamais un humain
- j'ai trouvé très intéressant de faire cette expérience mais préfère apprendre avec un être humain. les nuances de langage, le ton de la voix et le côté chaleureux de la relation humaine était pour moi manquant durant cette interaction. Des encouragements après une mauvaise réponse auraient été plus pertinents qu'une marque de déception de la part du robot.

Données de suivi de la progression et reconnaissance vocale

Ces données sont mises à disposition dans le fichier excel sur la clé USB qui accompagne le présent document.

Le fichier est nommé : dataEntretiens.xlsx

Cas pratique

Le cas pratique au format .crg est joint à la clé USB. Il est importable sur l'application Choregraphe de SoftBank Robotics.