

CYRIL DIONNE

Les interfaces intelligentes en éducation à distance :
*La réaction émotionnelle de l'apprenant soumis à une
représentation graphique*



(Cette illustration a été créée avec le logiciel Photoshop à partir des images « i Robot - l'affiche du film » le film d'Alex Proyas de 2004 et d'une des images du blog de Darren Cannell, http://weblogs.elearning.ubc.ca/vschools/archives/cat_assistant_principal_log.html)

Directeur de mémoire : Hamadou Saliah-Hassane

Mémoire présenté
à la TÉLUQ, université du Québec à Montréal (UQAM)
dans le cadre du programme de maîtrise en formation à distance
pour l'obtention du grade de maîtrise en formation à distance, profil avec mémoire
(3509)

FORMATION À DISTANCE
TÉLUQ
UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL (UQAM)
QUÉBEC

FÉVRIER 2011



<http://r-libre.teluq.ca/610/>

© Cyril Dionne, 2011

- * *Il est à noter que les documents multimédias (Digital Video Data - DVD) utilisés dans le stage expérimental sont annexés au présent mémoire de maîtrise.*

Les disques (DVD) contiennent, en plus des données de valence et de biométrie des apprenants, les interfaces qui ont été utilisées en concert avec l'expérimentation. De cette façon, on a pu déterminer et identifier les spécificités physiologiques et émotionnelles des sujets (qui ont été captées avec la sonde portable CleveLabs BioCapture Pro et une caméra vidéo HD). Ces DVD aident à expliquer le déroulement de l'expérimentation et donner un sens aux textes des entrevues dirigées par les avatars.

Les interfaces étaient composées de six avatars projetés sur un tableau blanc interactif SMARTBoard par le biais d'un lecteur DVD. L'apprenant devait donc en choisir seulement un pour animer l'entrevue. Il faisait donc fait un choix initial vis-à-vis ses préférences esthétiques et morphologiques. L'avatar a posé les mêmes questions que celles posées par le chercheur lors de l'entrevue individuelle. L'avatar a aussi répondu à l'élève durant l'entrevue individuelle. Les avatars étaient animés en français et en anglais avec des voix humaines et électroniques (Text to Speech – TTS) qui étaient regroupés dans 2 groupes d'âge (6 à 9 ans et 10 à 12 ans). Il y en avait 8 interfaces (disques) en tout; soit 4 pour le groupe de 6 à 9 et 4 pour le groupe de 10 à 12 ans.

6 à 9 ans

(1) Interface française avec voix humaine

(1) Interface anglaise avec voix humaine

(1) Interface française avec voix synthétique

(1) Interface anglaise avec voix synthétique

10 à 12 ans

(1) Interface française avec voix humaine

(1) Interface anglaise avec voix humaine

(1) Interface française avec voix synthétique

(1) Interface anglaise avec voix synthétique

Résumé

Dans un futur prochain, l'éducation à distance pourrait se définir comme l'école à la maison pour non seulement les étudiants post-secondaires, mais pour les élèves des niveaux élémentaires et secondaires. Dans un tel scénario, on peut envisager une refonte profonde en éducation. Le rôle des parents, des enseignants et de l'école risque de subir une transformation qui à ce jour, n'a jamais été envisagée. L'implication des interfaces intelligentes qui pourraient donner un support pédagogique adéquat aux apprenants en éducation à distance est en train de se réaliser (Il faut comprendre que la culture numérique d'aujourd'hui, dépasse celle de la culture uniquement informatique). Avec l'avènement de systèmes de neurones artificiels de plus en plus sophistiqués qui apprennent de façon inductive et la codification systématique des émotions humaines en algorithmes logiques, nous sommes à l'aube d'une véritable révolution en éducation. Ce mémoire explore l'impact émotionnel des interfaces intelligentes en éducation à distance à l'école primaire. Il se penche sur un des aspects fondamentaux en intelligence artificielle; la réaction émotionnelle de l'apprenant vis-à-vis ces représentations graphiques (avatars).

Abstract

In a not so distant future, all students could be home schooled and we are talking not only about students at the post-secondary level, but also at the elementary level. In such a scenario, one can consider a major revolution in education. The role of parents, teachers and the school is likely to undergo a transformation that could change our concepts of what is an education. Intelligent interfaces could give an adequate teaching support to the children in education and thus, replace the teacher. With the advent of increasingly sophisticated artificial neuron networks that are able to learn inductively and the beginning of systematic coding of human emotions in logical algorithms, we are at the dawn of true revolution in education. This thesis explores the emotional impact of intelligent interfaces in an elementary school setting. It is based upon the emotional reaction of students when confronted to a graphical representation (avatar).

Avant-Propos

L'ajout de laboratoire virtuel en éducation et contrôlé par le biais d'instrument à distance est une des facettes intéressantes en formation à distance. Le sujet de cette proposition de mémoire traite de l'impact des interfaces intelligentes en éducation. Vu l'aspect de ce sujet de recherche et le peu de travaux fait sur celui-ci, ce mémoire explore et propose des justifications pertinentes au moins au niveau théorique.

Dans ce mémoire de maîtrise, nous cherchons à démontrer la faisabilité de développer une première étape d'un système intelligent qui interagit avec l'apprenant. Cette étape consiste essentiellement à acquérir les données et informations requises qui permettraient de poursuivre nos travaux de recherche, une contribution à la mise en œuvre des tutoriels intelligents dans un contexte de formation à distance. Nous allons donc, à cette étape, consacrer nos efforts à l'acquisition des données qui permettraient de concevoir des interfaces utilisateurs adaptatifs basées sur la réaction d'un apprenant vis à vis une représentation graphique (il est à noter que les termes « représentation graphique » et « avatar » désignent la même chose et sont interchangeables dans ce rapport de mémoire). Pour la conscientisation et la préoccupation des conséquences émotives, psychologiques et sociales que cette interface intelligente pourrait avoir sur l'apprenant, il fallait l'humaniser le plus possible pour qu'elle soit acceptée et non rejetée par l'apprenant.

Ce mémoire est basé sur l'implication de l'intelligence artificielle (IA) par l'apport d'interfaces intelligentes (avatars) en éducation à distance. Le but étant de démontrer l'importance et la nécessité de l'ajout d'un tutoriel intelligent dans le processus d'apprentissage en ligne. Cette recherche a été faite en milieu éducationnel dans le nord de l'Ontario, plus précisément à Cochrane Ontario.

Je tiens en tout premier lieu, à remercier mon Directeur de mémoire, M. Hamadou Saliah-Hassane de la TÉLUQ/UQAM, pour l'aide, les conseils, la supervision et son soutien précieux qui m'ont permis d'élaborer ce mémoire dans le cadre du programme, Maîtrise en formation à distance, profil avec mémoire.

J'aimerais aussi remercier tout particulièrement et à témoigner toute ma reconnaissance aux personnes et organismes suivants : Le Conseil 'District School Board Ontario North East', ainsi que les élèves, les enseignants et les parents de l'école Cochrane Public School pour avoir si gentiment accepté de participer à l'élaboration de ce mémoire. J'aimerais aussi souligner le nom de deux élèves, Ryan Genier et Ashton Hawryluk pour leur aide indispensable lors de l'étape de l'expérimentation.

Je dédicace ce mémoire, à mon épouse, la Docteure Gaétane DeRome, qui m'a soutenu tout au long de ce projet avec son expertise médicale et son support inconditionnel.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	3
ABSTRACT	4
AVANT-PROPOS	5
DÉDICACE	6
TABLE DES MATIÈRES	7
LISTE DES FIGURES	9
LISTE DES TABLEAUX	11
INTRODUCTION	13
1. CONTEXTE	15
1.1 La problématique	15
1.1.1 Le but de l'éducation	15
1.1.2 Différences sur l'apprentissage en présentiel et en distanciel	15
1.1.3 La formation à distance (FAD)	16
1.1.4 Les différentes théories sur les émotions	17
1.1.5 Les interfaces intelligentes	17
1.2 Cadre conceptuel	18
1.2.1 Les émotions	18
1.2.2 Les interfaces affectives/intelligentes	22
2. DÉVELOPPEMENT D'OUTILS DE MESURE	27
2.1 Les instruments de cueillette des données	28
2.1.1 Les représentations graphiques (avatars)	28
2.1.2 L'interface.....	28
2.1.3 Analyse	30
2.2 Technique d'analyse	31
2.2.1 Comparaison des données dans le choix d'avatar par l'élève.....	32
2.2.2 Les données biométriques	35
2.2.3 Les participants	37
2.2.4 Les émotions évaluées.....	38
2.2.5 Le barème	38
2.2.6 Les coordonnées polaires des différentes émotions	39
2.3 Contrôle de la qualité des données	42

2.4	Contrôle de la qualité des analyses.....	42
2.5	Éthique	43
3.	CONCLUSION	44
3.1	Collecte et analyse des données	44
3.1.1	Principaux résultats	45
3.1.2	Discussion des résultats	61
3.1.3	Choix initial	61
3.1.4	Expérience (valence et biométrie).....	62
3.2	Conclusions importantes	63
3.3	Limite de la recherche	65
4.	BIBLIOGRAPHIE	66
5.	LIENS INTERNET	69
6.	TABLE DES ANNEXES	70

LISTE DES FIGURES

Figure		Page
1	Processus de communication machine/humain basé sur le modèle d'Antonio Damasio.....	20
2	Diagramme "circomplexe" de Posner, Russell et Peterson	22
3	Photo de l'expérimentation en cours	29
4	Exemple d'interface pour le groupe A - 6 à 9 ans; voix humaines françaises	29
5	Exemple d'interface pour le groupe B - 10 à 12 ans; voix synthétiques anglaises	30
6	Le modèle bidimensionnel et bipolaire de Posner, Russell et Peterson	36
7	Adaptation du modèle bidimensionnel et bipolaire de Posner, Russell et Peterson	40
8	Moyenne des données biométriques et de valence par avatar pour le groupe A (6 à 9 ans) - chercheur	46
9	Moyenne des données biométriques et de valence par avatar pour le groupe A (6 à 9 ans) - avatar	47
10	Moyenne des données biométriques et de valence par avatar pour le groupe B (10 à 12 ans) - chercheur	48
11	Moyenne des données biométriques et de valence par avatar pour le groupe B (10 à 12 ans) – avatar	49
12	Moyenne des données de valence et biométriques pour les groupes A et B (6 à 12 ans) avec voix humaines et synthétiques (avatars)	50
13	Moyenne des données de valence et biométriques pour les groupes A et B (6 à 12 ans) selon l'âge (chercheur)	51
14	Moyenne des données de valence et biométriques pour les groupes A et B (6 à 12 ans) selon l'âge (avatar)	52
15	Moyenne des données de valence et biométriques pour les groupes A et B (6 à 12 ans) selon le sexe (chercheur)	53

16	Moyenne des données de valence et biométriques pour les groupes A et B (6 à 12 ans) selon le sexe (avatar)	54
17	Moyenne des données de valence et biométriques pour les groupes A et B (6 à 12 ans) selon la langue (chercheur)	55
18	Moyenne des données de valence et biométriques pour les groupes A et B (6 à 12 ans) selon la langue (avatar)	56
19	Moyenne des données de valence et biométriques pour les groupes A et B (6 à 12 ans) selon l'ethnie (chercheur)	57
20	Moyenne des données de valence et biométriques pour les groupes A et B (6 à 12 ans) selon l'ethnie (avatar)	58
21	Moyenne des données de valence et biométriques pour les groupes A et B (6 à 12 ans) selon l'identification de l'élève (chercheur)	59
22	Moyenne des données de valence et biométriques pour les groupes A et B (6 à 12 ans) selon l'identification de l'élève (avatar)	60

LISTE DES TABLEAUX

Tableau		Page
I	L'organisation des interfaces selon les groupes d'âge	30
II	Entrevue dirigée par l'avatar - Groupe A	31
III	Entrevue dirigée par l'avatar - Groupe B.....	32
IV	Résultats combinés des groupes A & B	33
V	Résultats combinés des groupes A & B; choix par sexe	33
VI	Résultats combinés des groupes A & B; choix par langue	34
VII	Résultats combinés des groupes A & B; choix par ethnies	34
VIII	Résultats combinés des groupes A & B; choix par élève identifié	35
IX	Le rythme cardiaque moyen d'un enfant âgé de 6 à 12 ans (adaptation)	42
X	Moyenne des données biométriques et de valences par avatar pour le groupe A (6 à 9 ans)	46
XI	Moyenne des données biométriques et de valences par avatar pour le groupe A (10 à 12 ans)	48
XII	Moyenne des données de valences et biométriques pour les groupes A et B (6 à 12 ans) avec voix humaines et synthétiques (avatars)	50
XIII	Moyenne des données de valences et biométriques pour les groupes A et B (6 à 12 ans) selon l'âge.....	51
XIV	Moyenne des données de valences et biométriques pour les groupes A et B (6 à 12 ans) selon le sexe	52
XV	Moyenne des données de valences et biométriques pour les groupes A et B (6 à 12 ans) selon la langue	54
XVI	Moyenne des données de valences et biométriques pour les groupes A et B (6 à 12 ans) selon l'ethnie	56

XVII	Moyenne des données de valences et biométriques pour les groupes A et B (6 à 12 ans) selon l'identification de l'élève 58
------	---

Introduction

Cette recherche a été conçue pour explorer l'application de l'intelligence artificielle en milieu scolaire par le biais d'interfaces intelligentes, plus spécifiquement, la réaction émotionnelle des apprenants soumis à une représentation graphique (avatar) dans un environnement contrôlé par le biais d'appareils biométriques. Une attention particulière a été retenue afin de pouvoir exploiter les résultats de nos travaux dans un contexte de formation à distance puisque les interfaces et les usagers pourraient être délocalisés par les réseaux informatiques.

Quand on voit un jeune apprenant interagir avec un ordinateur en salle de classe où ailleurs, il n'est pas difficile de voir qu'il existe déjà une symbiose entre celui-ci et la technologie. Or, même pour les néophytes de la technologie, on doit tous accepter le fait que l'ordinateur est que pour l'apprenant, un outil aussi naturel que le tableau d'ardoise, les livres et autres équipements de la salle de classe. Au niveau pédagogique, que ce soit à partir de la philosophie socioconstructiviste ou connexionnisme, la technologie aide l'apprenant à construire son savoir à partir de ses expériences antécédentes. Cette culture informatique ou numérique aide-t-elle à renforcer ses savoirs et en construire d'autres? On peut imaginer l'impact qu'aurait une entité artificielle intelligente au niveau cognitif de l'apprenant accouplée avec toutes les connaissances du monde sensible et qui serait mise à jour de façon instantanée.

Au niveau psychologique, on voit déjà les protestations que beaucoup voudront renchérir; l'être humain n'est pas une machine. Or, nous humains, sommes-nous en fait des animaux pensants qui construisons notre réalité à partir de nos capteurs et effecteurs? C'est au niveau de la recherche que la plupart des solutions s'y trouvent, que ce soit du point de vue neurologique ou neurophysiologique. Si l'intelligence artificielle (IA) doit être configurée sur le modèle humain, on doit donc comprendre comment notre cerveau fonctionne à tous les niveaux. Cet aspect de la compréhension fonctionnelle intégrale du cerveau demeure encore une des grandes frontières inexplorées que beaucoup de

chercheurs en IA comme Hugo de Garis (*de Garis, 2005*) semble dénoter comme l'obstacle le plus important qui reste à franchir avant d'aboutir à un cerveau artificiel autonome.

On peut comprendre que c'est au niveau de l'interaction sociale que les détracteurs de l'IA en éducation risquent d'être les plus virulents. Pour eux, le coût sociologique qu'engendrerait cet isolement social causé par le fait que les enfants n'auraient pas la chance de côtoyer les autres, serait trop lourd pour notre société. Mais pour les chercheurs comme Arnaud Revel (*Revel, 2003/4*), qui postule la possible symbiose de l'IA avec le développement ontogénique et phylogénique de l'enfant afin de créer des systèmes pensants semblent être en désaccord. Ils nous démontrent les affinités possibles entre le développement épigénétique de l'enfant et de l'intelligence artificielle à partir des algorithmes génétiques. Pour ceux qui sont partisans de l'approche Animat, comme Daniel C. Dennett (*Dennett, 1991*) et Rodney Brooks (*Brooks, 1987*), qui cherchent à décrire des architectures de contrôle d'agents autonomes afin de reproduire des comportements observés dans la nature. Selon cette ligne de pensée, peut-on affirmer que si l'entité artificielle démontre une certaine humanité au niveau émotionnel, que l'enfant l'accepterait comme un des siens?

Il n'est pas difficile d'extrapoler pour voir que l'école traditionnelle telle qu'on la connaît va diminuer de beaucoup, sinon disparaître dans quelques générations. Les gouvernements deviennent de plus en plus conscients de la portée économique que l'éducation prend dans chaque budget annuel et ils réalisent qu'ils se doivent de trouver des solutions rationnelles sans alourdir le poids des impôts des contribuables. On sait tous que l'éducation dispensée en ligne ou à distance est moins coûteuse que l'école traditionnelle (on a qu'à penser à toutes les infrastructures qui sont nécessaires pour instruire et éduquer un enfant). Donc, la question posée n'est pas le comment, mais quand surviendront tous ces bouleversements en éducation.

1.

Contexte

1.1 La problématique

1.1.1 Le but de l'éducation

Quel est le but de l'éducation? Voilà tout un paradigme qui ne cesse de faire couler l'encre parmi les grands penseurs en éducation depuis belle lurette. L'élément le plus important en éducation est l'apprenant. C'est celui-ci qui enclenche le processus pédagogique qu'on appelle enseignement. Que se soient les théories spiritualistes, personalistes, psychocognitives, technologiques, sociocognitives, sociales ou académiques, l'apprenant nous aide à façonner notre façon de voir le monde de l'éducation en tant qu'enseignant.

L'éducation sert d'outil à l'apprenant afin d'apprendre à apprendre et de cheminer dans son processus de découverte dans le monde naturel. L'enseignant est, dans le processus éducationnel, un guide, un facilitateur qui amène l'apprenant à se dépasser au niveau cognitif, émotionnel et sociale. Ce processus n'a n'y ordre temporel ou chronologique.

1.1.2 Différences sur l'apprentissage en présentiel et en distanciel

Le débat entre l'apprentissage en présentiel versus celui du distanciel s'accroît de plus en plus. La FAD prend de plus en plus de place dans le monde de l'éducation et donc c'est normal que ces deux philosophies de l'éducation s'entrecroisent souvent. Est-ce que la salle de classique procure un meilleur environnement pour l'apprentissage? Y répondre c'est inclure la dimension humaine et intrinsèque de l'être humain et elle dépend moins de la méthodologie

adoptée et des outils utilisés pour parvenir à un apprentissage viable et concret. En éducation classique, c'est la qualité de l'enseignant qui fait la différence. En formation à distance, cette notion de l'humanisation de l'enseignement est moins présente, et dans certains cas, invisible puisque l'apprenant est autodidacte, ce qui demeure, de nos jours, sa faiblesse flagrante.

1.1.3 La formation à distance (FAD)

Ici, il faut différencier la formation à distance (FAD) classique de celle du « e-learning » qui est plus moderne. La FAD classique n'a guère évolué depuis qu'on la connaît; soit la méthode familière de recevoir un cours imprimé par courrier postal. Le but en demeure le même, soit de régler le problème de l'accessibilité et de la distance surtout pour les communautés dispersées et minoritaires. Elle favorise plutôt une responsabilisation de l'apprenant et une approche socioconstructiviste vygotskienne puisque dans celle-ci, c'est l'apprenant qui construit ses connaissances à partir d'un apprentissage qui reflète ses valeurs et son milieu.

En ce qui concerne le « e-learning », c'est une démarche cognitive informatisée qui tente de répondre à des besoins sociétaux évoluant de plus en plus rapidement. Elle se veut plus novatrice dans son approche et son accessibilité à partir d'outils technologiques. Elle réduit aussi la distance sans pour autant atténuer le contenu pédagogique et médiatique du cours.

Comme le dit si bien Jacques Rodet (*Rodet, 2009**), la formation à distance renverse les rôles classiques de formation. L'apprenant devient et doit devenir le seul principal acteur de cette démarche pédagogique. Les activités d'encadrement constituent le soutien à l'apprentissage en FAD. Aujourd'hui, avec l'avènement des Technologies de l'Information et de la Communication (TIC) en éducation, ces paradigmes de l'apprentissage se retrouvent souvent réduits à une singularité non affective qui évolue, plus souvent qu'autrement, dans le non virtuel. Les

complémentarités ou les solutions se situent justement au niveau technologique et avec l'évolution de la technologie de façon exponentielle, on devrait voir de plus en plus avec l'apport et la complicité de l'IA en éducation et en FAD, un soutien émotionnel plus marqué.

1.1.4 Les différentes théories sur les émotions

L'importance du support émotionnel à l'apprentissage en formation à distance (FAD) a toujours été une des facettes les moins comprises et ayant peu de support. Il y a eu beaucoup de recherche dans le domaine de l'émotion au niveau physiologique et pour cela, on a qu'à penser à Charles Darwin (L'expression des émotions chez les hommes et les animaux), William James et sa théorie des émotions, Walter Cannon et Philip Bard (théorie neuroanatomique des modèles émotifs), et de James Papez et de Paul MacLean (théorie des émotions). Il y en a eu d'autres plus récemment comme Antonio Damasio (les systèmes de bases neuronales de la cognition, du comportement et des marqueurs somatiques), et aussi, les travaux de L. Cahill sur la consolidation de la mémoire par l'amygdale.

1.1.5 Les interfaces intelligentes

Le mémoire est basé sur l'implication de l'intelligence artificielle (IA) en éducation à distance par le biais d'interface (tutoriel) intelligente. Avec l'émergence de la technologie en IA, il serait possible d'impliquer celle-ci à un niveau satisfaisant et qui tenterait de répondre à toutes les questions posées en éducation à distance. Dans une réponse affirmative, on pourrait créer des interfaces intelligentes (ou semi intelligentes) qui suivent de près le cheminement cognitif et affectif de l'apprenant. Avec l'apparition et le développement des sciences en IA, plus précisément avec les systèmes neuronaux, cette interface intelligente pourrait bien s'adapter à tous les environnements et cultures puisque sa capacité d'acclimatation pourrait être parallèle à celle de l'apprenant.

Le tout est fondé sur les théories et travaux de chercheurs en intelligence artificielle d'interface affective notamment, Rosalind W. Picard du « Affective Computer Lab » de l'institut de technologie du Massachusetts (MIT), du « Rainbow Research Group » de l'université Cambridge, de Roger Nkambou de l'université du Québec à Montréal (UQAM), de Katherine Isbister (Institut polytechnique de Rensselaer) et de Kristina Höök (Institut suédoise de la recherche informatique) et ainsi que de plusieurs autres chercheurs sur l'évaluation des interfaces affectives. Dans un deuxième temps, l'étape de l'expérimentation de ce mémoire a été faite en milieu éducationnel dans une école primaire du Nord de l'Ontario.

1.2 Cadre conceptuel

1.2.1 Les émotions

L'acte émotionnel est un phénomène physique lié à la perception d'une action interne ou externe. La notion affective des interfaces intelligentes puisent aux sources mêmes des travaux faits par plusieurs grands chercheurs scientifiques de l'histoire.

Charles Darwin

Le premier à avancer cette idée de l'émotion fut Charles Darwin dans "*The Expression of Emotions in Man and Animals*" en 1872. Il en déduit l'idée que les émotions des animaux sont analogues à celles des humains. Il démontra aussi qu'il existe un certain nombre d'émotions propres à toutes les espèces animales.

La théorie des émotions de "James Lange"

William James avait déjà proposé en 1868, que les émotions découlent des sécrétions corporels. Cette proposition fut reprise en 1885 par Carl Lange d'où la théorie des émotions de "James Lange".

Walter Cannon, Philip Bard et James Paperz

En 1931, la théorie de "James Lange" fut contestée par Walter Cannon et Philip Bard. Pour eux, l'émotion était d'abord une expérience cognitive. Mais cette thèse est critiquée puisqu'il semble y avoir des émotions même s'il n'y a aucun effet somatique. Néanmoins, ils furent les premiers à proposer que la région de l'hypothalamus du cerveau est responsable des émotions. Ceci fut aussi repris par James Paperz en 1937, lorsqu'il proposa un schéma du système central des émotions.

Paul MacLeans

Ce ne fut qu'en 1949 que Paul MacLeans avança l'idée que le cerveau est en fait divisé en trois parties distinctes: le cerveau reptilien (émotions automatiques et primitives), le cerveau limbique (intermédiaire) et enfin le néocortex (qui est le plus sophistiqué). Il cibra pour la première fois, l'amygdale et le cortex frontal en plus du thalamus, l'hypothalamus et l'hippocampe qui sont en réalité, le centre de notre interface émotionnelle humaine. Le système limbique de MacLeans est encore de nos jours accepté comme le centre principal du cerveau émotionnel ou d'affectivité émotionnelle.

Antonio Damasio

Le neurologue, Antonio Damasio (*Damasio, 1994*) a démontré la relation possible entre les émotions et le processus cognitif de l'apprentissage par sa théorie des marqueurs somatiques (qui sont en fait des changements physiologiques). Il propose des théories qui sont ancrées dans le réel et mesurable puisque sa recherche est basée sur l'activité neuronale spécifique et va à l'encontre de celles des théories cognitives. En fait, il est un disciple de Williams James puisqu'il préconise que les sécrétions corporels sont responsables des émotions à partir de stimuli internes et externes. Il dénote aussi que la perception est d'ordre émotionnel et non cognitif. Ce qui est très intéressant dans sa proposition des marqueurs somatiques, est qu'il propose que ceux-ci, dans la plupart des

situations, conduisent à des solutions pragmatiques même sans analyse logique de l'environnement lorsqu'il y a une insuffisance de choix. Pour voir un exemple des théories de Damasio, un modèle adapté de communication entre l'humain et la machine est proposée dans ce mémoire (figure 1).

Processus de communication machine/humain

(basé sur le modèle de Damasio)

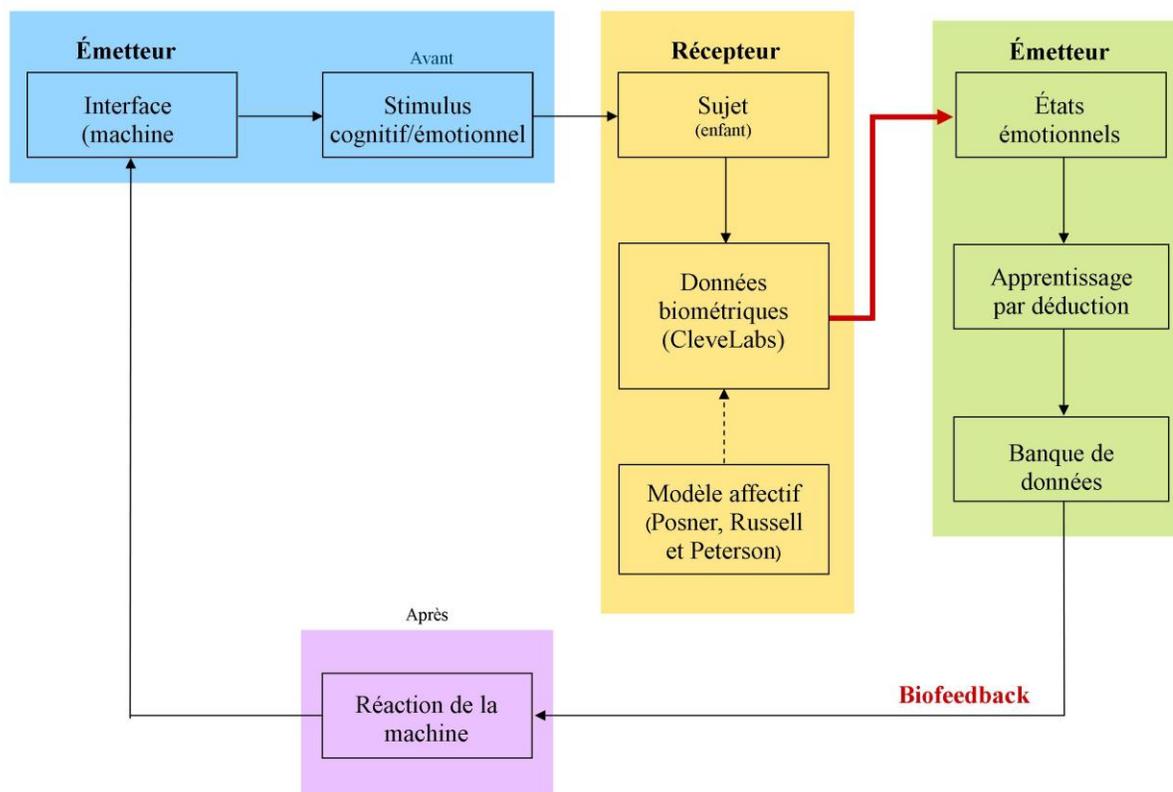


FIGURE 1

Voici une adaptation possible du modèle d'Antonio Damasio (*Damasio, 1994*) à partir des concepts énoncés dans ce mémoire. Dans le processus de communication (machine/humain) entre émetteur et récepteur, les émotions des sujets seraient évaluées à partir des données biométriques et du modèle de Jonathan Posner, James A. Russell, et Bradley S. Peterson (*Posner, Russell et Peterson, 2005* – figure 2). D'où l'émetteur (machine) ferait état des états émotionnels du récepteur (sujet) et à partir de cela, par l'apprentissage de

déduction, choisirait les bonnes réactions de la banque de données pour continuer le processus de communication avec le sujet. Cet apprentissage serait basé sur les algorithmes génétiques et la logique floue. On utiliserait des algorithmes génétiques lorsqu'on ne connaît pas la méthodologie pour parvenir à la résolution d'un problème comme dans ce cas ici; choisir la bonne émotion pour continuer le processus de communication entre l'élève et la machine.

Larry Cahill

Un autre chercheur important qui est à noter dans ce mémoire est Larry Cahill. Ses travaux portent sur la consolidation de la mémoire à partir de l'amygdale. Il reprend que le processus de consolidation de la mémoire à long terme est proportionnel à l'intensité de l'émotion ressentie par le sujet tel que démontré par l'émission tomographique de positrons métabolisés dans l'amygdale (*Cahill, Richard, Haier, Fallons, Alkirei, Tang, Keator, Wu, MCgaugh, 1996*). Dans la même trempe que Damasio, il cherche des réponses physiologiques plausibles à des phénomènes naturels qui ne sont pas nécessairement d'ordre cognitif pour expliquer des phénomènes d'une rare complexité.

J. Posner, J. A. Russell, and B. S. Peterson

Ce mémoire reprend les travaux et le modèle affectif proposé par Jonathan Posner (Columbia College of Physicians and Surgeons et Boston College), James A. Russell (Boston College) et Bradley S. Peterson (Columbia College of Physicians and Surgeons et New York State Psychiatric Institute). Pour eux, l'interprétation cognitive des émotions est le résultat de deux systèmes très spécifiques et co-dépendant l'un de l'autre (*Posner, Russell et Peterson, 2005*). Leur modèle reprend la thèse que les émotions peuvent être comprises par la combinaison linéaire de deux axes neurophysiologiques soit la valence (attirance ou répulsion d'une situation) et l'excitation (figure 1). Ce qui est intéressant pour ce mémoire, c'est que le modèle proposé par les chercheurs est un outil qui nous aide à comprendre, analyser, qualifier et quantifier les expressions faciales et les

réactions physiologiques des apprenants par rapport aux différents stimuli. Dans leur cadre conceptuel, ils ont réussi à réunir les deux grandes philosophies des émotions, soit celle qui préconise une approche cognitive et l'autre, comme celle de Damasio, une approche physiologique.

Diagramme "circomplexe" de Posner, Russell et Peterson, 2005

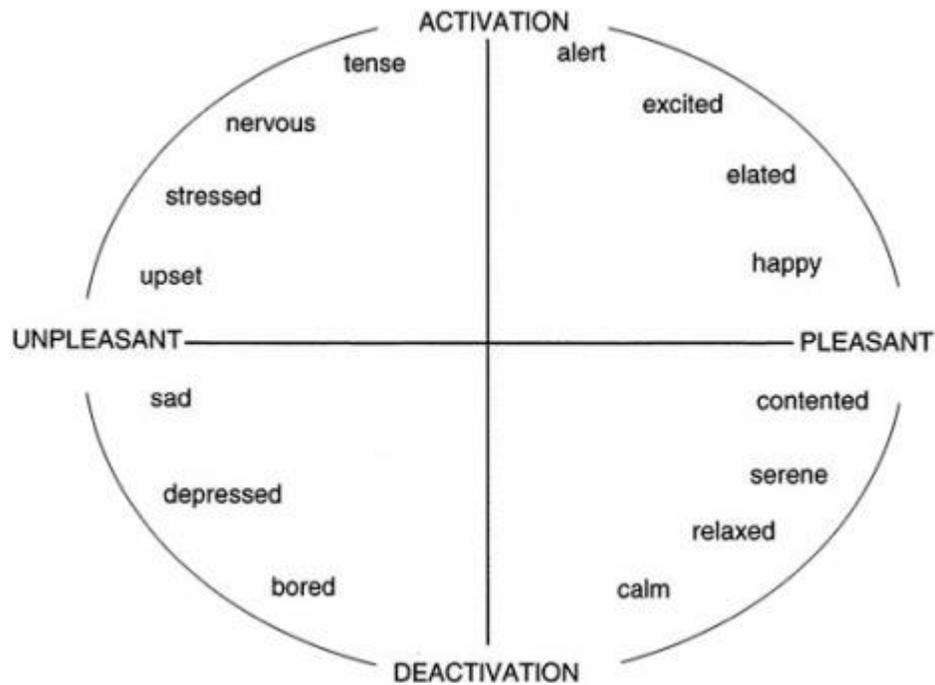


FIGURE 2

1.2.2 Les interfaces affectives/intelligentes

On ne peut parler d'interface intelligente sans parler de l'intelligence artificielle. Les deux concepts sont liés et inséparables. Aussi, la formation à distance ne touche presque pas les apprenants d'âge scolaire (primaire et secondaire) puisqu'au niveau pédagogique, celle-ci n'a guère évolué et n'a certainement pas suivie, pas à pas, l'expansion technologique de nos sociétés d'où l'importance de

l'apport de l'émotivité en formation à distance par le biais d'interface affective et intelligente.

Rosalind W. Picard (Affective Computer Lab - MIT)

Le groupe du « Affective Computer Lab » du MIT semble plus enclin à développer une interface qui agirait et interagirait comme un guide, un tuteur dans l'apprentissage. Ils préconisent aussi à développer des capteurs, effecteurs et des interfaces en plus de nouveaux traitements de signaux, l'identification de modèles plausibles et des algorithmes de raisonnement afin de répondre et d'évaluer les émotions des élèves en temps réel (*Picard, 2009*). Ils ont déjà développé plusieurs appareils comme la sonde de conductivité, les sondes de tensions Tekscan, l'appareil photo BlueEyes et le galvanomètre pour la peau. Selon eux, les interfaces intelligentes se doivent de reconnaître les émotions et de réagir de façons appropriées face à ceux-ci.

Comme le démontre Rosalind W. Picard, il y a un lien évident entre l'investissement émotionnel et l'acte cognitif de l'apprenant dans son apprentissage à long terme (*Picard et Cytowic, 2009; 1989*). Trop souvent, l'apprentissage qui se fait entre la machine et l'être humain tient seulement pour compte la composante cognitive et non le cadre affectif cognitif (*Picard, 2009*). Si on veut que cet apprentissage soit plus naturel, on doit se concentrer davantage sur le côté émotif des apprenants. La plupart des recherches indiquent qu'il y a vraiment un enseignement durable à court et à long terme lorsqu'on fait appel aux émotions de l'individu et donc les tuteurs automatisés se doivent de refléter cette réalité.

De plus en plus on réalise l'importance des émotions dans l'apprentissage : trop d'émotions peuvent souvent conduire à des raisonnements cognitifs erronés tandis que pas assez donnent souvent le même résultat (*Picard, 2009*). Il semble que l'intelligence cognitive et émotionnelle sont intimement liées l'une à l'autre dans le

processus décisionnel et le processus d'apprentissage (*Picard, 2009*). En milieu scolaire, l'interface artificielle se doit d'interagir de façon naturelle afin de simuler une relation enseignant/élève réelle pour évoluer vers un apprentissage véritable.

Ce qui est intéressant avec les recherches effectuées par l' « Affective Computer Lab » du MIT, est l'aspect de la relation possible de l'intelligence artificielle et du développement épi génétique (*Brooks, 1987*) de l'enfant qui souligne que l'embryon d'un être vivant se développe par multiplication et différenciation cellulaire progressive et non à partir d'éléments préformés dans l'œuf (voir [Centre national des ressources textuelles et lexicales](#) - *CNRTL, 2009**). Le laboratoire de recherche du MIT prône la relation étroite de l'apprentissage d'une interface intelligente qui apprend en même temps que l'élève (*Picard, 2009*). Ce qu'ils envisagent est une relation symbiotique entre l'être humain et la machine dans le processus de l'apprentissage. Le but serait de créer une interface intelligente artificielle qui interagit de façon naturelle entre l'apprenant et elle-même et qui l'encadre dans toutes ses activités. Le problème posé est que le mécanisme émotionnel chez l'être humain n'est pas encore bien compris et jusqu'ici, nous en sommes seulement au stade embryonnaire de l'interaction émotionnelle entre la machine et l'homme. La plupart des récentes recherches en sciences cognitives indiquent qu'il ne peut y avoir d'intelligence artificielle sans le facteur émotionnel. Nous entrons dans l'ère bionique et nous ne comprenons pas encore complètement le mode de communication des neurones humains. Fait intéressant cependant, nous commençons à codifier les émotions de façon systématique en équations et en algorithmes logiques, quantifiables et reproductibles.

Ce qu'il est important de concevoir et de comprendre, tout au moins au niveau de l'apprentissage, c'est que l'environnement, dans le développement cognitif de l'individu, est un facteur aussi déterminant que son génome génétique. Selon *Brangier et Hammes (2007)*, la technologie et les êtres humains sont maintenant conjugués par des rapports réciproques de co-dépendance dans une relation-technologies-organisation. On peut s'apercevoir

que cette symbiose existe présentement entre les machines et les humains qu'on soit d'accord ou non. Maintenant, si on peut imaginer pour un instant une interface intelligente qui se développe et s'adapte avec l'apprenant on voit tout de suite les apports que cela serait pour l'éducation. Et si tout cela se faisait combiné avec une modélisation cognitive de l'apprentissage dans un contexte de réseaux de neurones artificiels qui imitent individuellement le comportement et les émotions humaines de chaque apprenant. Ceci pourrait nous aider à créer des interfaces qui se rapprochent de l'aspect émotionnel de l'être humain.

Rainbow Research Group

L'approche du « Rainbow Research Group » de l'université Cambridge est un peu plus différente de celle du MIT puisqu'il étudie plutôt le comportement émotionnelle et non pas l'approche systémique et technologique d'interface intelligente. Shazia Afzal, (*Afzal, Robinson, 2009*) une étudiante à la maîtrise de doctorat, travaille en concert avec le professeur Peter Robinson pour tenter de définir les émotions possibles de l'être humain. Elle se base sur la taxonomie de Simon Baron-Cohen (*Baron-Cohen, 2004*) qui classifie les émotions en 24 groupes distincts et 412 concepts différents. Son travail de recherche porte surtout sur les expressions faciales de l'être humain et de la possibilité de pouvoir les mesurer de façon concise et précise.

Roger Nkambou (Université du Québec à Montréal - UQAM)

Un des aspects le plus intéressant à subvenir dans les théories et les applications des apprentissages informatisés est certainement les travaux de Roger Nkambou de l'UQAM. Il prône le développement d'interface intelligente axé non seulement sur les réactions émotives de la machine vis à vis les apprenants, mais aussi sur la capture des réactions exprimées par les apprenants lors de différentes séances d'enseignement (Nkambou, Gauthier, Frasson, 2003) (Gaha, Dubois, Nkambou, 2007). Donc, l'interface intelligente peut répondre de façon émotionnelle aux différents intervenants puisque les réactions de ceux-ci sont captées par la

machine. L'architecture informatisée, le tutoriel intelligent (Affective Intelligent Tutoring System - ITS) préconisée par Nkambou a cette flexibilité d'engager une vraie communication entre l'émetteur et le récepteur par le biais d'états cognitifs et émotifs quantifiés. Évidemment, on peut voir les avantages de celui-ci vis à vis les apprentissages en ligne qui certainement ouvre la voie à des développements très intéressants dans les années à venir en formation à distance informatisée (e-learning).

La recherche en cours

Il va s'en dire qu'il y a beaucoup de recherche en cours sur les interfaces intelligentes pour qu'elles soient accessibles et humaines (émotions) dans le cadre d'apprentissage en ligne (formation à distance). Plusieurs chercheurs sont en train de développer, dans la foulée de Nkambou et de Picard, différentes instances d'interface intelligentes pour répondre à un besoin de plus en plus pressant de l'interactivité entre l'homme et la machine. Pour cela on a qu'à penser à Longkai Wu (Université Nanyang, Singapore) et Chee-Kit Looi (Université Nanyang, Singapore) qui ont souligné l'importance de l'apprenant à pouvoir réfléchir sur son apprentissage avec l'apport d'interfaces intelligentes. Il y a en d'autres qui étudient le comportement émotif d'un apprenant lorsqu'il est subjugué dans un environnement de résolution de problèmes. D'autres s'investissent dans l'effet culturel et linguistique dans le cadre d'interfaces intelligentes. Katherine Isbister (Institut polytechnique Rensselaer, New-York) et Kristina Höök (Institut suédois des sciences informatiques), deux chercheuses qui collaborent à évaluer les stratégies qui influent sur les interfaces affectives à partir de systèmes interactifs qu'ils soient sonores ou visuels. On pourrait aussi souligner les travaux de Nadia Gauducheau (Université technologique de Troyes, France) qui évalue et mesure les émotions des utilisateurs dans les systèmes intelligents interactifs.

2.

Développement d'outils de mesure

Cette phase méthodologique, comprend une expérience afin de vérifier certaines hypothèses notamment les réactions physiologiques de l'apprenant vis-à-vis une représentation graphique. Durant la phase méthodologique du dépistage des émotions, il y a une évaluation des émotions dégagées des apprenants lorsqu'ils étaient soumis à une interface avec des représentations graphiques qui avaient des expressions morphologiques bien définies et qui étaient articulés et animés (sons et images). Ce qui était important ici, c'était de voir la réaction émotionnelle des apprenants (mesurée à partir de données biométriques) vis à vis ces représentations graphiques. De cette façon, on pouvait cibler les caractéristiques physiologiques (visuelles et sonores) et émotionnelles qui avaient un haut taux d'acceptation de la part des apprenants. Ceci nous aiderait peut être à parvenir à la création d'un modèle autonome ou plusieurs modèles d'interfaces intelligentes qui auraient les caractéristiques émotionnelles voulues. Inclus, étaient des élèves de la 1ère jusqu'à la 8e année (l'âge pouvait varier de 6 à 12 ans). Les diverses ethnies et cultures étaient représentées afin de voir si leurs interactions avec ces animations graphiques étaient congruentes avec les autres.

2.1 Les instruments de cueillette des données

2.1.1 Les représentations graphiques (avatars)

Selon la définition du dictionnaire, l'avatar est la représentation graphique à l'écran d'internautes, en deux ou trois dimensions. Le terme "avatar" désigne en sanskrit, les incarnations successives du Dieu Vishnou.

2.1.2 L'interface

Les sujets utilisés dans cette expérience allaient de 6 à 12 ans. Ils étaient divisés en deux groupes distincts : 6 à 9 ans et 9 à 12 ans. Ils étaient composés d'un nombre de filles (67%) et de garçons (33%) de diverses ethnies.

Les avatars proposés dans les interfaces variaient selon les groupes d'âge. Ils avaient été créés à partir du logiciel CrazyTalk Pro 6. Aussi, ils étaient animés à partir de photos de chiens et de chats pour les plus petits et de visages humains (mâles et femelles) pour les plus grands. Il fallait noter aussi que dans l'interface, les avatars avaient une variance de voix humaines et de voix robotiques (Text to Speech – TTS). Ils étaient présentés sous forme de fichiers « MPG2 » (Motion Picture Expert Group) dans un DVD (Digital Video Data) à l'aide d'un tableau blanc interactif, d'un microphone et d'une caméra vidéo haute définition qui était branchée pour enregistrer les expressions faciales des divers sujets.

Il y avait six représentations graphiques par interface. Il y avait 4 interfaces pour chacun des deux groupes (A et B - donc 8 interfaces en tout): 2 avec voix humaines anglaises, 2 avec voix humaines françaises, 2 avec voix synthétiques anglaises et enfin, 2 avec voix synthétiques françaises.



FIGURE 3 (Photo de l'expérimentation en cours)



FIGURE 4 (exemple pour groupe A - 6 à 9 ans, voix humaines françaises)

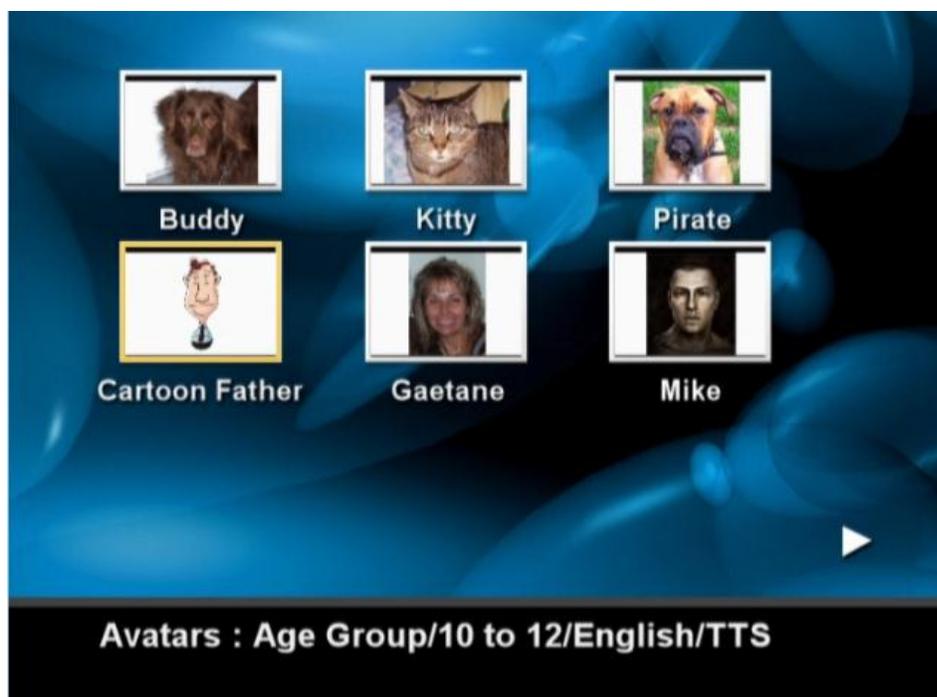


FIGURE 5 (exemple pour groupe B - 10 à 12 ans, voix synthétiques anglaises)

Voici l'organisation des interfaces selon les groupes d'âge :

Tableau I

Groupe d'âge	Animal	Dessin animé	Humain
6 à 9 ans	1 chat, 2 chiens	Caliméro	1 mâle, 1 femelle
10 à 12 ans	1 chat, 2 chiens	Cartoon Father	1 mâle, 1 femelle

2.1.3 Analyse

Différents résultats ont été comparés dans cette étude de modélisation, de simulation et d'expérimentation. L'âge, la langue, le sexe, l'ethnie du sujet et l'identification comportementale de l'élève ont été retenus pour les analyses à partir des résultats reçus. Il faut aussi noter qu'à partir des données biométriques, des

valeurs qualitatives ont été données afin de pouvoir évaluer le facteur valence dégagé de chaque émotion et de faire une projection bipolaire.

2.2 Technique d'analyse

Dans un premier temps, les apprenants faisaient une entrevue avec le chercheur. Ensuite, ils choisissaient un avatar pour passer la même entrevue, mais cette fois-ci, avec la représentation graphique (voir annexes 1, 2 et 3). Les données ont été réparties comme suit dans deux tableaux, soit le groupe A (de 6 à 9 ans) et celui du groupe B (10 à 12 ans):

Tableau II

Groupe 6 – 9 ans

Entrevue dirigée par l'avatar

Langue parlée par l'avatar	Français						Anglais																							
	Humaine			Synthèse vocale (TTS)*			Humaine			Synthèse vocale (TTS)*																				
Voix utilisée	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6						
Types d'avatar** choisis par l'élève		1	1		2		1	1		1			2		1				2	3	8									1

* Text To Speech (TTS)

** Types d'avatar

- 1 – Pirate (chiot)
- 2 – Buddy (chien)
- 3 – Mia (chat)
- 4 – Caliméro (dessin animé)
- 5 – Gaétane (femme)
- 6 – Mike (homme virtuel)

Tableau III

Groupe 10 – 12 ans

Entrevue dirigée par l'avatar

Langue parlée par l'avatar	Français												Anglais											
	Humaine						Synthèse vocale* (TTS)*						Humaine						Synthèse vocale* (TTS)*					
Types d'avatar** choisis par l'élève	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
	2	2	1						2				1		2		1		1	2	1			

* Text To Speech (TTS)

** Types d'avatar

- 1 – Pirate (chien)
- 2 – Buddy (chien)
- 3 – Kitty (chat)
- 4 – Cartoon Figure (dessin animé)
- 5 – Gaétane (femme)
- 6 – Mike (homme virtuel)

2.2.1 Comparaison des données dans le choix d'avatar par l'élève

Il était curieux et inusité de voir le choix initial de la plupart des élèves. La majorité d'entre eux, et pour les deux groupes d'âge, ont choisi les avatars qui représentaient des animaux domestiques (voir tableau IV). Le choix par sexe reflétait encore la même réalité (tableau V). Résultats identiques pour le choix de la langue et par ethnies (voir tableaux VI et VII). Même résultat pour les élèves non identifiés et identifiés (voir tableau VIII).

Tableau IV

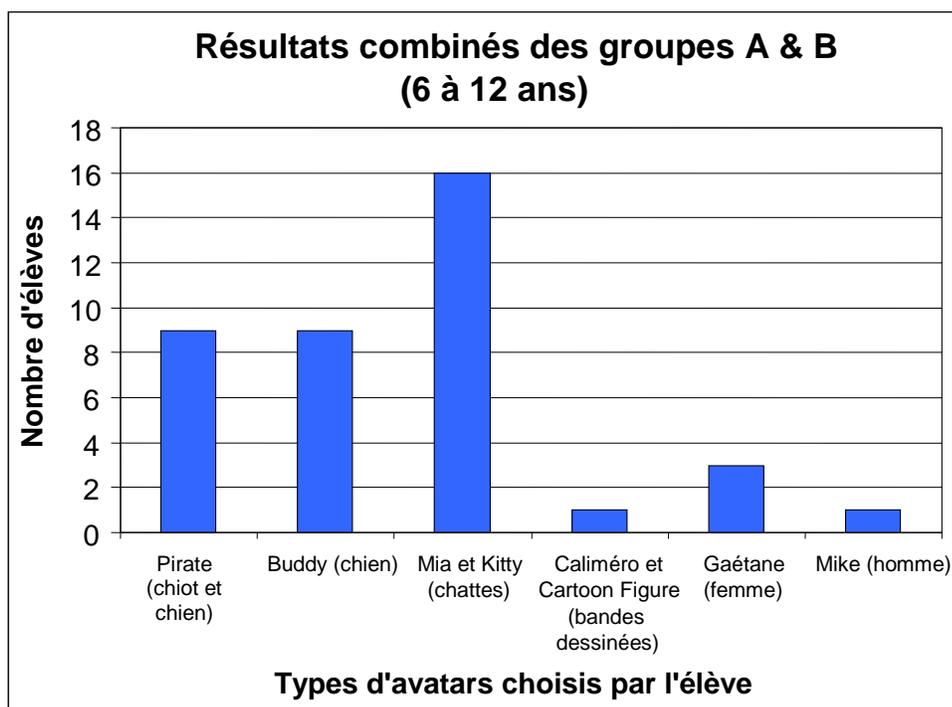


Tableau V

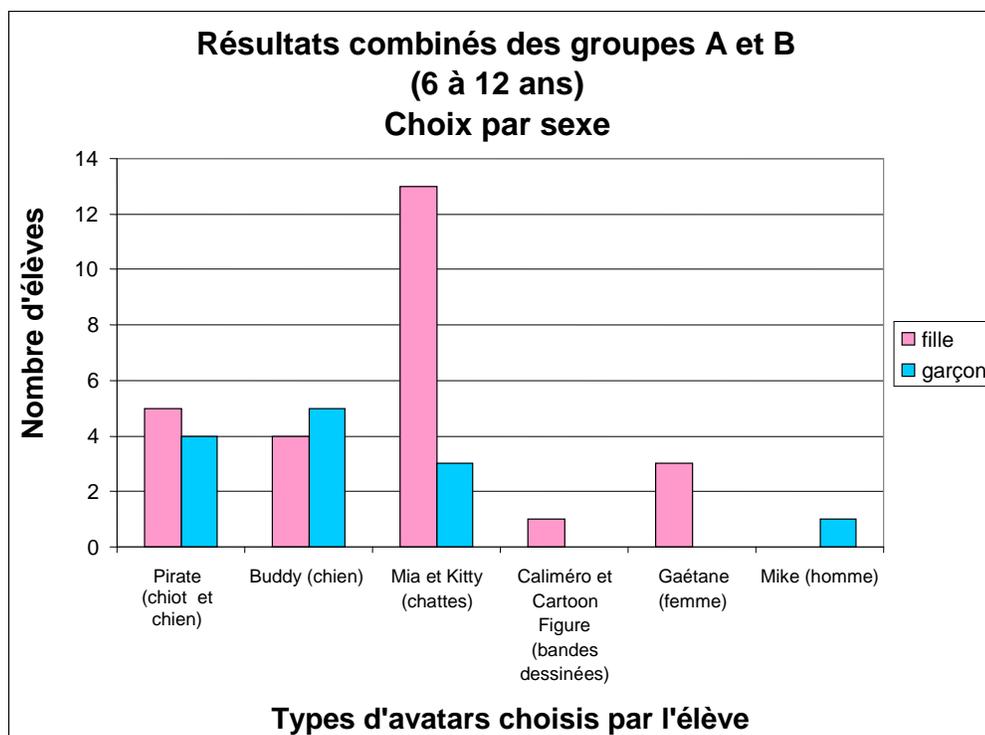


Tableau VI

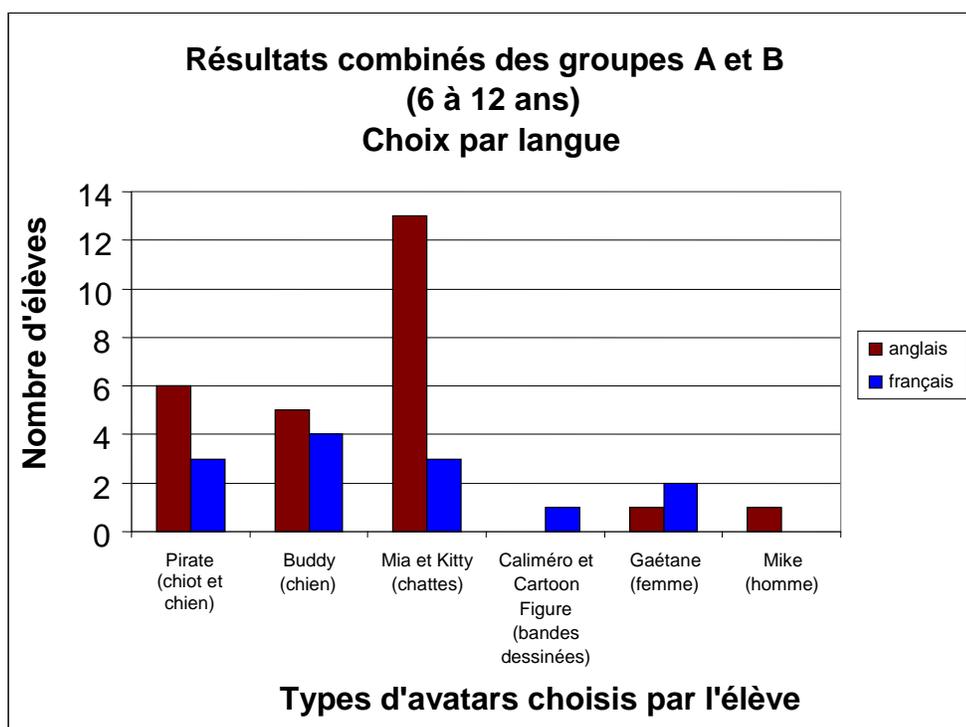
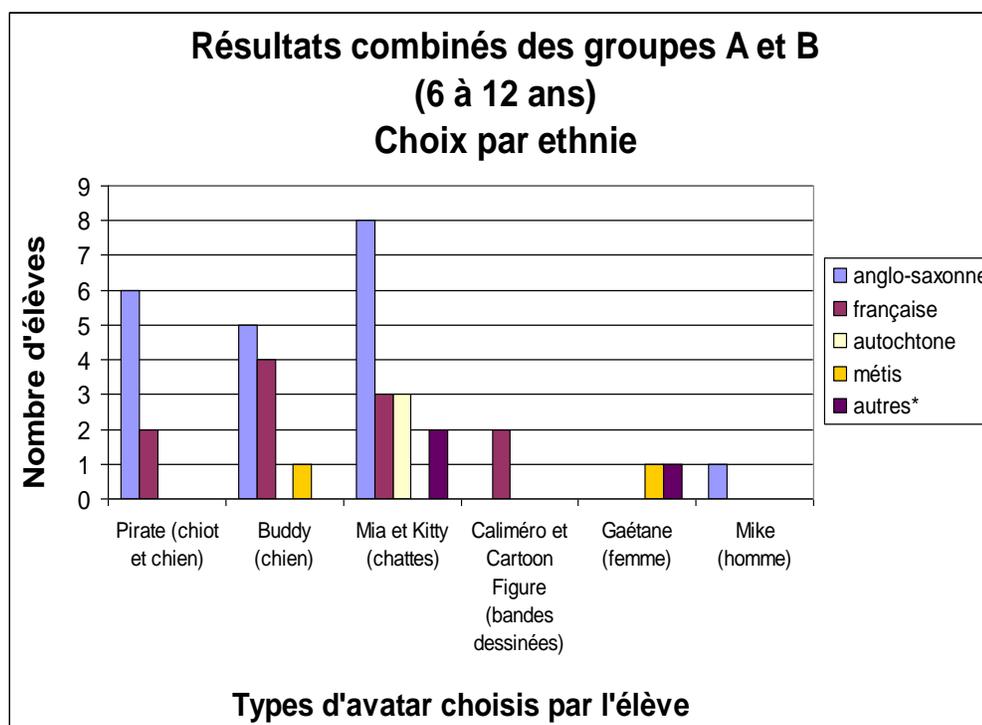
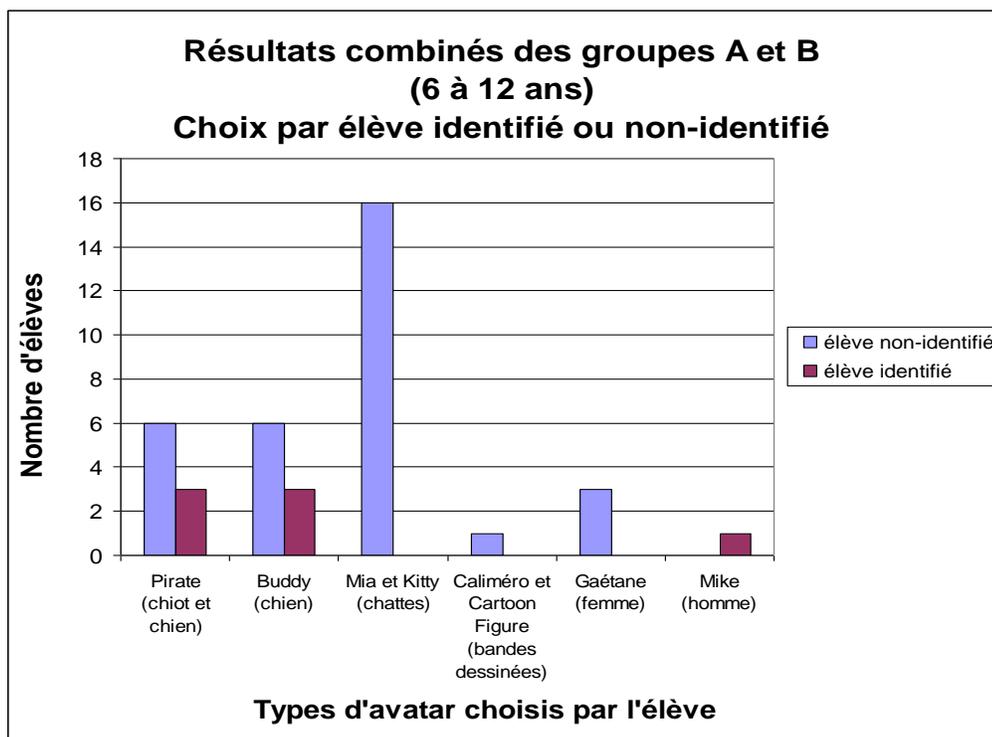


Tableau VII



* autres - polonaise, italienne, allemande

Tableau VIII



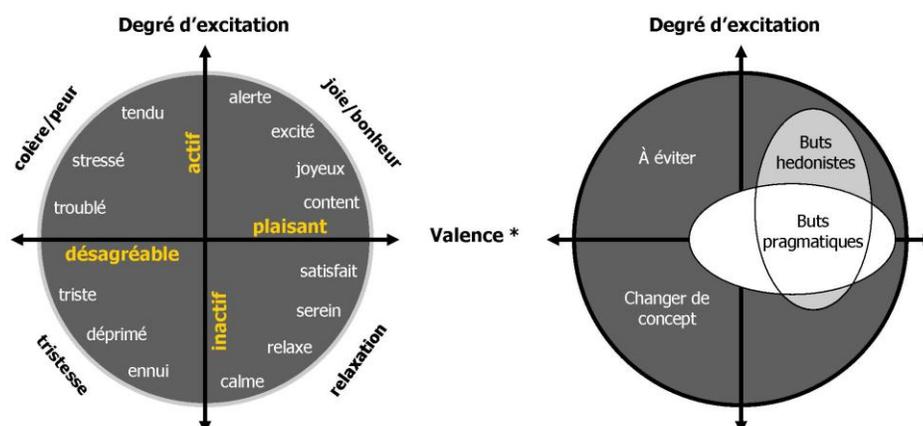
2.2.2 Les données biométriques

La détection des émotions à partir de logiciels biométriques comme CleveLabs et MatLab (voir annexe 21; pour les résultats de valence et de biométrie pour chaque élève, voir annexes 4 et 5) ont aidé à déterminer les facteurs stressant des apprenants avant que ceux-ci les vivent (*Ebner, Holzinger et Stickel, 2009*). L'utilisation des données biométriques a aidé à percevoir des changements environnementaux et physiologiques chez l'apprenant (*Ebner, Holzinger et Stickel, 2009*). Donc, les changements de **degrés d'excitation** chez un apprenant étaient mesurés par la méthode de l'électrocardiographie (ECG).

L'aspect valence (attirance ou répulsion d'une situation) était un peu plus difficile à quantifier puisqu'il s'agissait de données qualitatives basées sur la cognition. Pour cette étape, nous avons utilisé les expressions faciales des apprenants captées par une caméra vidéo de haute définition.

En reprenant le modèle bidimensionnel et bipolaire de Posner, Russell et Peterson (voir figure 6), qui est en fait basé sur celui de H. Schlosberg (*Schlosberg, 1959*), celui-ci citait que les émotions découlent de deux axes principaux : l'excitation et la valence. Et c'était la combinaison et l'activation des deux modèles qui nous aidait à cognitivement et physiologiquement interpréter les différentes expériences qu'on appelle émotions telles que ressentis par les apprenants.

Pour atteindre les buts pragmatiques visés dans cette thèse, cela a dû nécessiter un peu de stimuli désagréables pour arriver à un déséquilibre pédagogique de l'apprenant et ceci est donc reflété dans certaines représentations graphiques (avatars). En mode d'apprentissage, on se devait de créer ce déséquilibre afin de conduire à un conflit cognitif (Piaget).



Adaptation du modèle affectif de Posner, Russell et Peterson

* Valence : Attirance ou répulsion d'un sujet ou d'une situation.

FIGURE 6

Les changements physiologiques causés par le stress chez l'apprenant étaient analysés à partir de l'interaction de celui-ci avec l'interface (*Ebner, Holzinger et Stickel, 2009*). Les changements physiologiques involontaires comme le rythme cardiaque est réglé par le système nerveux autonome et donc pourrait être sujet à interprétation. Évidemment, les signaux étaient surveillés par une sonde portable

(CleveLab) en respectant une méthodologie très précise. Les expressions faciales, la tonalité et l'articulation de la voix, étaient captées à partir d'une caméra vidéo de haute définition comme mentionné plus tôt.

À cause de la subjectivité du concept de la valence (données qualitatives), on se devait d'avoir des données du sujet en état de repos (avant d'être assujettit à l'interface). Ceci a été accompli lors de l'entrevue individuelle fait par le chercheur avec chaque apprenant (il est à noter que ceux-ci étaient branchés à la sonde biométrique pendant l'entrevue avec le chercheur). De cette façon, on pouvait comparer les données reçues durant l'expérimentation avec l'avatar pour ensuite les comparer à ceux qui résultaient lors de l'entrevue avec le chercheur. Aussi, les données ont été comparées à partir de divers groupes d'âges, cultures et ethnies pour mieux nous aider à cibler les différentes émotions démontrées par les individus face aux représentations graphiques. On comparait aussi les données au niveau du sexe de l'apprenant puisque selon plusieurs études, les femmes semblent plus enclines à discerner et exprimer des émotions (*Buck, Miller et Savin, 1972*) (*Ahern et Schwartz, 1980*). Enfin, cette expérimentation devait se faire dans une période de temps déterminée puisque les émotions peuvent varier durant la période d'expérimentation (*Diener, 1984*).

2.2.3 Les participants

Les données sont issues d'une école anglophone/immersion du Nord de l'Ontario - Cochrane Public School (Canada). L'échantillon des sujets se résume comme suit :

Nombre	= 39
Âge	= 6 à 12 ans (minimum/maximum)
Sexe	= 67% filles (26), 33% garçons (13)
Ethnies	= autochtones, française, anglaise, italienne, allemande

Aussi, les sujets ont été choisis reflétant l'élève moyen avec ceux avec des troubles d'apprentissage. Les deux groupes ont été ensuite comparés l'un à l'autre.

2.2.4 Les émotions évaluées

Les émotions évaluées étaient basées sur le modèle de Posner, Russell et Peterson (*Posner, Russell et Peterson, 2005*). Voici la liste des émotions selon les divers quadrants:

- a) Quadrant plaisant actif (pa) par ordre croissant d'excitation
content, joyeux, excité, alerte
- b) Quadrant plaisant inactif (pi) par ordre croissant d'excitation
calme, relaxe, serein, satisfait
- c) Quadrant désagréable inactif (di) par ordre croissant d'excitation
ennui, déprimé, triste
- d) Quadrant désagréable actif (da) par ordre croissant d'excitation
troublé, stressé, tendu

2.2.5 Le barème

Pour cette expérience, on a eu recours à un barème basé sur celui de Posner, Russell et Peterson (*Posner, Russell et Peterson, 2005* - figure 1). À partir des données biométriques reçus, on était capable de quantifier graduellement les émotions exprimées par les différents apprenants. Le but visé était de voir si ces valeurs coïncidaient avec la zone identifiée par Posner, Russell et Peterson comme pragmatique et qui concordait avec celle de la zone hédoniste et donc la plus encline à promouvoir l'apprentissage.

(≈ [0,1 à 0,7 ; 30° à 330°])

Pour chaque avatar choisi par l'apprenant, il en résultait un diagramme bipolaire pour démontrer la réaction positive ou négative de l'apprenant vis-à-vis la représentation graphique (avatar) de l'interface. Il faut aussi noter, que lorsque l'apprenant affichait une émotion neutre, celle-ci convergeait vers le centre du modèle bipolaire.

En termes mathématiques, et selon la proposition de Posner, Russell et Peterson, on considérerait deux variables; soit x et y . Selon leur modèle bipolaire, on devait assumer que (x) et $(-x)$ étaient opposés et indépendants du degré d'excitation (y). Comme proposé dans leur modèle, la valence positive (x) était l'opposé de la valence négative ($-x$). Le degré d'excitation positive était appelé (y) et l'opposé ($-y$). En poursuivant cette logique mathématique, le quadrant plaisant actif ($x + y$) était l'opposé du quadrant désagréable inactif ($-x + -y$). De même, le quadrant désagréable actif ($-x + y$) était l'opposé du quadrant plaisant inactif ($x + (-y)$). Dans ce modèle proposé, et quand les coordonnées x, y étaient de l'ordre de $(0,5 ; 0,0)$, nous en étions au summum de l'émotion voulue en mode d'apprentissage tel que ciblé par Posner, Russell et Peterson.

2.2.6 Les coordonnées polaires des différentes émotions

Voici les différentes coordonnées polaires pour chaque émotion selon le modèle adapté de Posner, Russell et Peterson (*Posner, Russell et Peterson, 2005*). Elles étaient classées par quadrant et ordre croissant ou décroissant d'excitation (voir figure 7). Seulement 14 des émotions les plus importantes ont été retenues pour ce mémoire.

Quadrant plaisant actif (pa)

Content :	$\approx (0,0 \text{ à } 1,0 ; 0^\circ \text{ à } 22,5^\circ)$
Joyeux :	$\approx (0,0 \text{ à } 1,0 ; 22,5^\circ \text{ à } 45^\circ)$
Excité :	$\approx (0,0 \text{ à } 1,0 ; 45^\circ \text{ à } 67,5^\circ)$
Alerte :	$\approx (0,0 \text{ à } 1,0 ; 67,5^\circ \text{ à } 90^\circ)$

Quadrant désagréable actif (da)

Tendu : $\approx (0,0 \text{ à } -1,0 ; 90^\circ \text{ à } 120^\circ)$
 Stressé : $\approx (0,0 \text{ à } -1,0 ; 120^\circ \text{ à } 150^\circ)$
 Troublé : $\approx (0,0 \text{ à } -1,0 ; 150^\circ \text{ à } 180^\circ)$

Quadrant désagréable inactif (di)

Triste : $\approx (0,0 \text{ à } -1,0 ; 180^\circ \text{ à } 210^\circ)$
 Déprimé : $\approx (0,0 \text{ à } -1,0 ; 210^\circ \text{ à } 240^\circ)$
 Ennui : $\approx (0,0 \text{ à } -1,0 ; 240^\circ \text{ à } 270^\circ)$

Quadrant plaisant inactif (pi)

Calme : $\approx (0,0 \text{ à } 1,0 ; 270^\circ \text{ à } 292,5^\circ)$
 Relaxe : $\approx (0,0 \text{ à } 1,0 ; 292,5^\circ \text{ à } 315^\circ)$
 Serein : $\approx (0,0 \text{ à } 1,0 ; 315^\circ \text{ à } 337,5^\circ)$
 Satisfait : $\approx (0,0 \text{ à } 1,0 ; 337,5^\circ \text{ à } 360^\circ)$

Adaptation du modèle bidimensionnel et bipolaire de Posner, Russell et Peterson

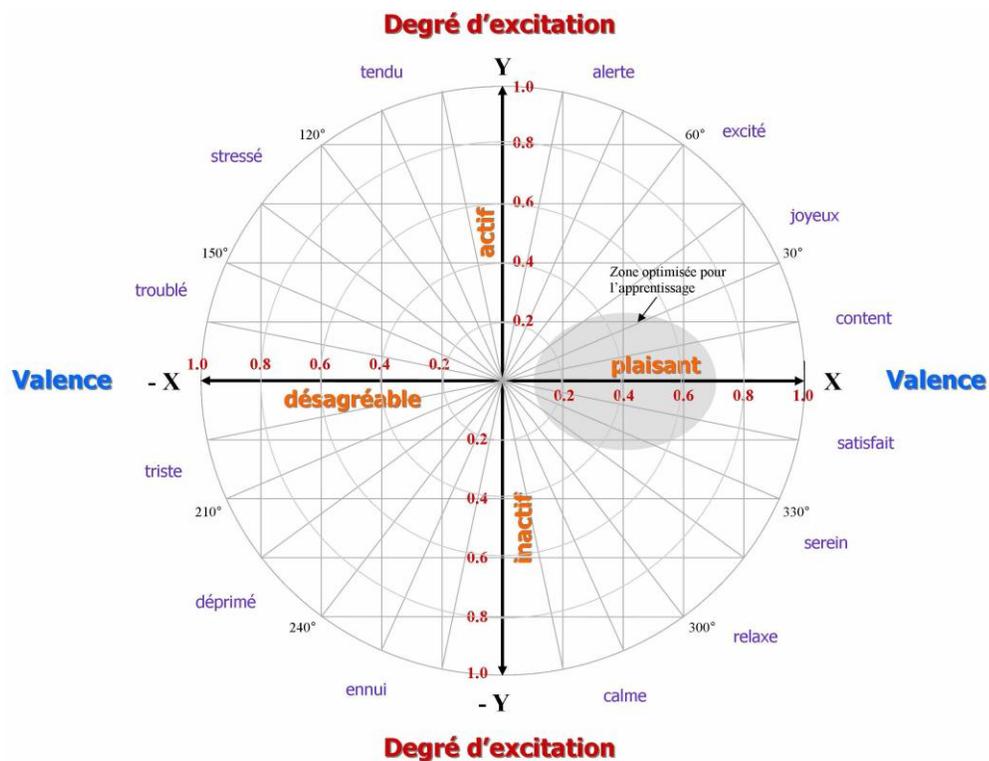


FIGURE 7

Degré d'excitation démontré par l'élève

Par le biais de la trousse CleveLabs, les battements de cœur de chaque élève, ECG (l'excitation), ont été enregistrés durant l'entrevue dirigée par le chercheur et celle conduite par l'avatar. De même pour mesurer la valence, une caméra vidéo de haute définition a enregistré la voix et les expressions faciales de chaque participant afin de reporter les données recueillies dans le diagramme polaire. Des variables (x, y) ont été inscrites dans le diagramme pour refléter les différences morphologiques des différents avatars perçus par les apprenants à partir de leur réaction cognitives et physiologiques. Comme mentionné plus tôt, quatorze des plus grandes émotions humaines ont été utilisées afin de dégager un portrait affectif de chaque individu vis à vis chaque représentation graphique.

Résultats :

La moyenne des données obtenues par la caméra vidéo (valence) par avatar a été compilée de cette façon :

On a ciblé l'émotion ou les émotions démontrée(s) par l'élève durant l'entrevue avec le chercheur et l'avatar. Est-ce que c'était une expérience plaisante, neutre ou déplaisante pour le sujet ? L'échelle se situait entre +1 à -1, neutre étant zéro.

La moyenne des données biométriques (degré d'excitation) par avatar a été compilée de cette façon :

La moyenne du rythme cardiaque de l'apprenant durant l'entrevue conduite par le chercheur et celle conduite par l'avatar. Ensuite, cette moyenne était comparée à la moyenne pour un enfant de 6 à 12 ans. Voici l'échelle utilisée pour ce mémoire :

Tableau IX

Rythme cardiaque (battements de cœur par minute)	Degré d'excitation du modèle adapté de <i>Posner, Russell et Peterson</i>
40	- 1,0
50	- 0,8
60	- 0,6
70	- 0,4
80	- 0,2
90*	0,0
100	0,2
110	0,4
120	0,6
130	0,8
140 +	1,0

* Représente le rythme cardiaque moyen d'un enfant âgé de 6 à 12 ans au repos
Source - 90 par min selon (*MedLine Plus, 2010**).

2.3 Contrôle de la qualité des données

Dans cette expérimentation, le mémoire a recouru à deux formes de données. Il y a eu l'entrevue dirigée par le chercheur et l'entrevue dirigée par la représentation graphique (avatar) qui ont donné en deux types de données qualitatives; soit la valence (par l'utilisation de la caméra vidéo) et les données biométriques (CleveLabs). Par la comparaison des inscriptions (données), on espérait obtenir une marge d'erreur limitée, et donc les réponses obtenues étaient fidèles à la réalité.

2.4 Contrôle de la qualité des analyses

Dans ce mémoire, la procédure d'inter-juge a été utilisée même s'il s'agissait de seulement une personne. Une tierce personne, la docteure Gaétane DeRome MD., a été demandée pour évaluer les données, vérifier et valider les conclusions obtenues dans ce mémoire. Il est aussi à noter que mon directeur de mémoire, M. Saliyah-Hassane, a approuvé les procédures et les outils utilisés dans ce travail.

2.5 Éthique

Les parents des élèves ont rempli un formulaire d'attestation de consentement. La permission du conseil scolaire a été obtenue afin de procéder au stage expérimental. Le Comité de l'éthique de la recherche de la Télé-université (CÉR) nous a émis un certificat avant de pouvoir procéder à l'étape de l'expérimentation.

Pour respecter l'anonymat de chaque participant, des codes ont été créés pour chaque apprenant afin de différencier les données biométriques de celles de valences ainsi que les différentes catégories. Voici le générique :

BIO	donnée biométrique
VAL	donnée de valence
6 à 12	âge du participant
F	filles
G	garçon
I	immersion (français et anglais)
A	anglais seulement
AS	ethnie (anglo-saxonne (AS), française (F), autochtone (AU), autres (AUT))
ID	élève identifié
NID	élève non-identifié
FH	Entrevue conduit par le chercheur avec voix humaine française
AH	Entrevue conduit par le chercheur avec voix humaine anglaise
AFH	Entrevue conduit par l'avatar avec voix humaine française
AFH	Entrevue conduit par l'avatar avec voix humaine anglaise
ATTS	Entrevue conduit par l'avatar avec voix synthétique anglaise (TTS)
FTTS	Entrevue conduit par l'avatar avec voix synthétique française (TTS)

Ex : 1_VAL_6FI_AS_NID_FH (entrevue conduite par le chercheur)
 2_BIO_6FI_AS_NID_Pirate_chiot_FTTS (entrevue conduite par l'avatar)

VAL	donnée de valence
6	âge (années)
F	sexe (fille)
I	langue (immersion)
AS	ethnie (AS - anglo-saxonne)
NID	élève non-identifié
Pirate_chiot	avatar
FH	entrevue conduit par le chercheur en français
FTTS	entrevue conduit par l'avatar en français avec voix synthétique

3.

Conclusion

3.1 Collecte et analyse des données

Le but principal de cette recherche a été de produire une expérience basée (enjeu nomothétique) sur les réactions des apprenants face à une représentation graphique. L'objectif était de trouver des solutions à un problème de dysfonctionnement au niveau émotionnel (enjeu pragmatique) en éducation à distance ; c'est à dire introduire des interfaces intelligentes combinées d'une certaine affectivité et mesurer le réflexe émotionnel des apprenants à partir d'appareils biométriques et d'une caméra vidéo.

L'expérience a été conduite de façon impartiale par un pédagogue et l'analyse a été rigoureusement contrôlée. Ayant un pédagogue de formation comme chercheur, les entrevues et les préparations au contact avec les apprenants ont été soigneusement préparées.

Considérant que ce sont des observations électroniques, nous étions conscients que l'introduction de l'équipement utilisé pouvait avoir faussé certains résultats à cause de stimulus supplémentaires (*Van Der Maren, 1996*). Néanmoins, cette technique permettait de réévaluer des observations faites puisque le contexte pouvait être réexaminé un nombre illimité de fois et la trace électronique des ECG (données biométriques), notamment, permettait aussi de comparer ces résultats aux résultats obtenus à l'aide de la caméra vidéo (données de valence).

La sélection des sujets s'est faite dans une école comptant plus de 340 élèves. Les échantillons en maquette obtenus nous ont permis de théoriser et de postuler des caractéristiques ou résultats pertinents qui se retrouveraient dans le même pourcentage dans la population en général.

Au niveau de la formulation des consignes lors des entrevues, elles étaient claires et concises (voir annexes 1, 2 et 3). L'intervieweur gardait une voix neutre et l'environnement à lequel les sujets ont été soumis encourageait la participation sans condition implicite des personnes interrogées.

3.1.1 Principaux résultats

Le modèle de Posner, Russell et Peterson a été la référence pour cibler plus précisément quelles émotions représentaient le mieux l'apprenant (sujet), et ceci a été noté dans les résultats.

À partir des diagrammes, les indices ont été évalués pour décrire la justesse de l'émotion de l'apprenant vis-à-vis un avatar spécifique (voir les tableaux X et XI, les figures 8 à 11 et les annexes 6 à 9). La comptabilisation des données des avatars qui avaient une voix humaine et une voix synthétique (voir le tableau XII, la figure 12 et l'annexe 10) a été faite afin de comparer ces deux types de voix et leurs réactions émotionnelles qui étaient mesurées à partir des données de valence et de biométrie. En faisant la moyenne des participants, les traits morphologiques des représentations graphiques qui plaisaient le plus aux élèves étaient évidents. Des analyses des résultats à partir de l'âge, le sexe, la langue, l'ethnie et l'identification de l'élève ont aussi été faites (voir les tableaux XIII à XVII, les figures 13 à 22 et les annexes 11 à 20). Voici les résumés numériques.

Tableau X (voir annexes 6 et 8)

Moyenne des données de valence et de biométrie par avatar pour le groupe A (6 à 9 ans)						
Avatar	Pirate (chiot)	Buddy (chien)	Mia (chatte)	Caliméro (dessin animé)	Gaétane (femme humaine)	Mike (homme virtuel)
Moyenne des données de valences du chercheur	0,12	0,15	0,13	- 0,20	0,40	0,40
Moyenne des données biométriques du chercheur	0,57	0,57	0,57	0,54	0,45	0,60
Moyenne des données de valences de l'avatar	- 0,08	- 0,08	- 0,02	0,20	0,10	- 0,20
Moyenne des données biométriques de l'avatar	0,57	0,58	0,56	0,60	0,56	0,60

Moyenne des données de valence et de biométrie par avatar pour le groupe A (6 à 9 ans)

Intervieweur - **CHERCHEUR**

Groupe 6 – 9 ans

(termes polaires)

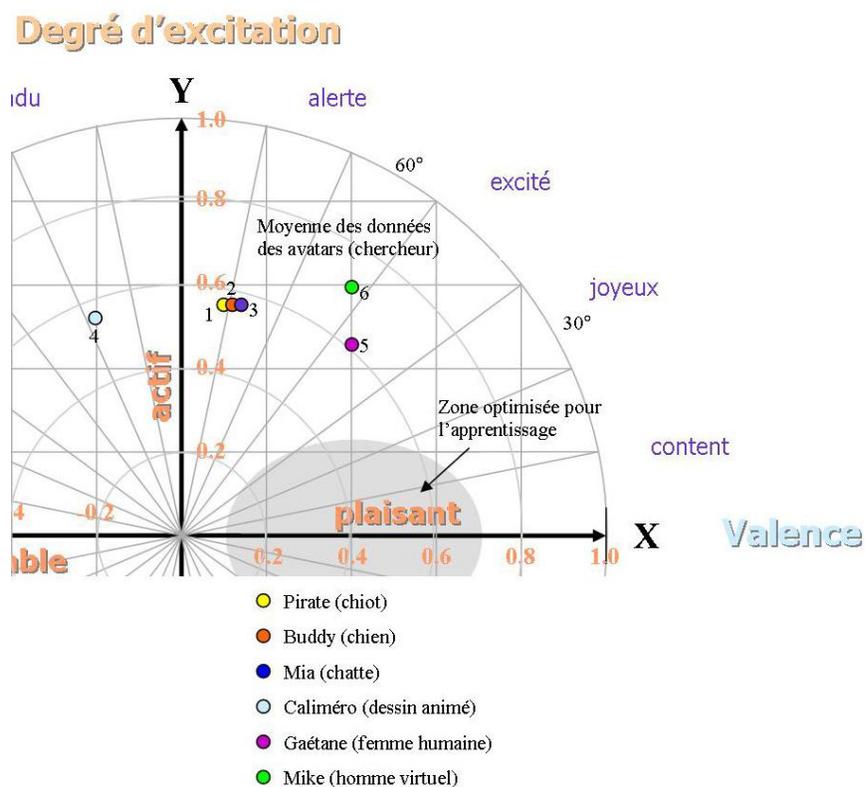


FIGURE 8

Moyenne des données de valence et de biométrie par avatar pour le
 groupe A (6 à 9 ans)
 Intervieweur - **AVATAR**
 Groupe 6 – 9 ans
 (termes polaires)

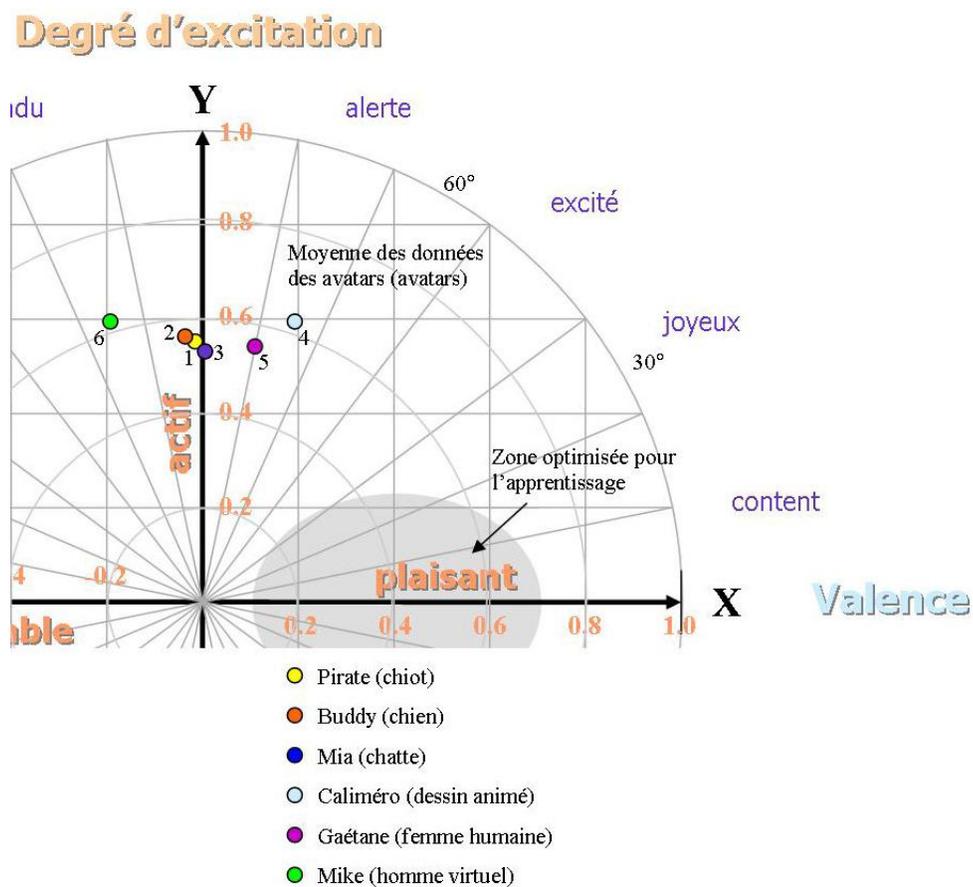


FIGURE 9

Tableau XI (voir annexes 7 et 9)

Moyenne des données de valence et de biométrie par avatar pour le groupe B (10 à 12 ans)				
Avatar	Pirate (chien)	Buddy (chien)	Kitty (chatte)	Gaétane (femme humaine)
Moyenne des données de valences du chercheur	0,20	0,24	0,13	0,10
Moyenne des données biométriques du chercheur	0,58	0,56	0,59	0,60
Moyenne des données de valences de l'avatar	0,20	0,22	0,20	0,10
Moyenne des données biométriques de l'avatar	0,57	0,56	0,59	0,54

Moyenne des données de valence et de biométrie par avatar pour le groupe B (10 à 12 ans)

Intervieweur - **CHERCHEUR**

Groupe 10 – 12 ans

(termes polaires)

Degré d'excitation

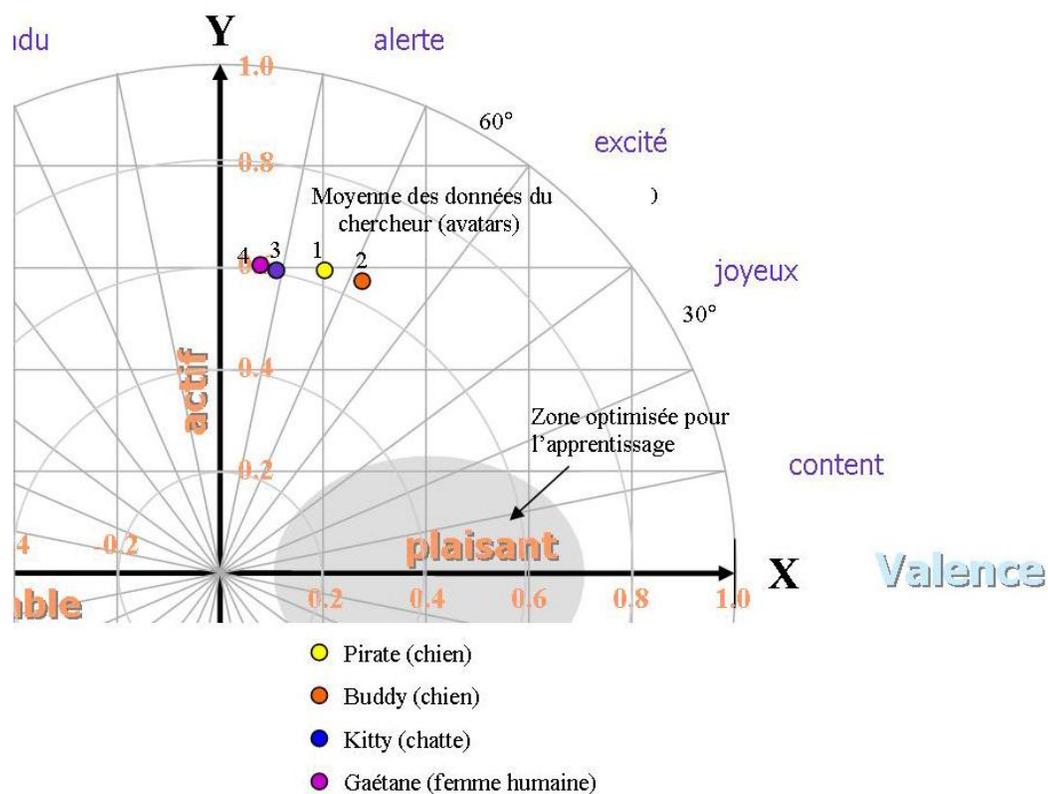


FIGURE 10

Moyenne des données de valence et de biométrie par avatar pour le
groupe B (10 à 12 ans)

Intervieweur - **AVATAR**

Groupe 10 – 12 ans

(termes polaires)

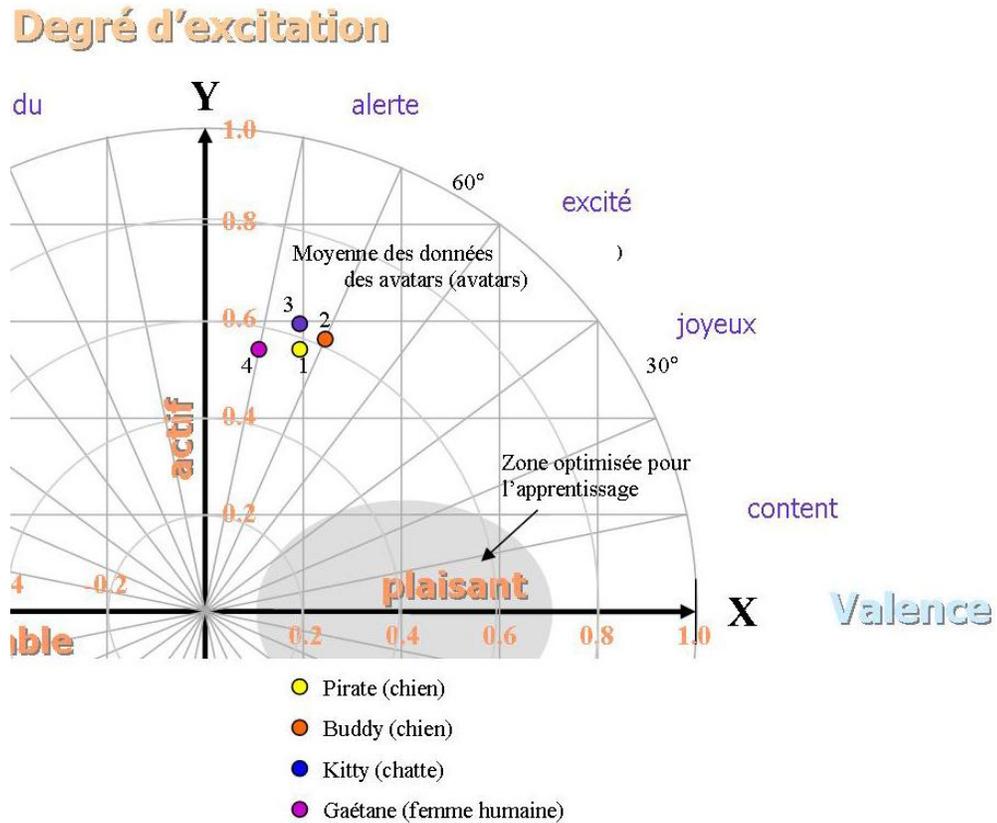


FIGURE 11

Tableau XII (voir annexe 10)

Moyenne des données de valence et de biométrie pour les groupes A et B (6 à 12 ans) avec voix humaines et synthétiques (avatars)				
Avatar	Valence		Biométrie	
	Voix humaine	Voix synthétique	Voix humaine	Voix synthétique
Moyenne des données	-0.017	0.013	0.565	0.564

Moyenne des données de valence et de biométrie pour les groupes A et B (6 à 12 ans) avec voix humaines et synthétiques (avatars)

Intervieweur - **AVATAR**

Groupe A et B

(termes polaires)

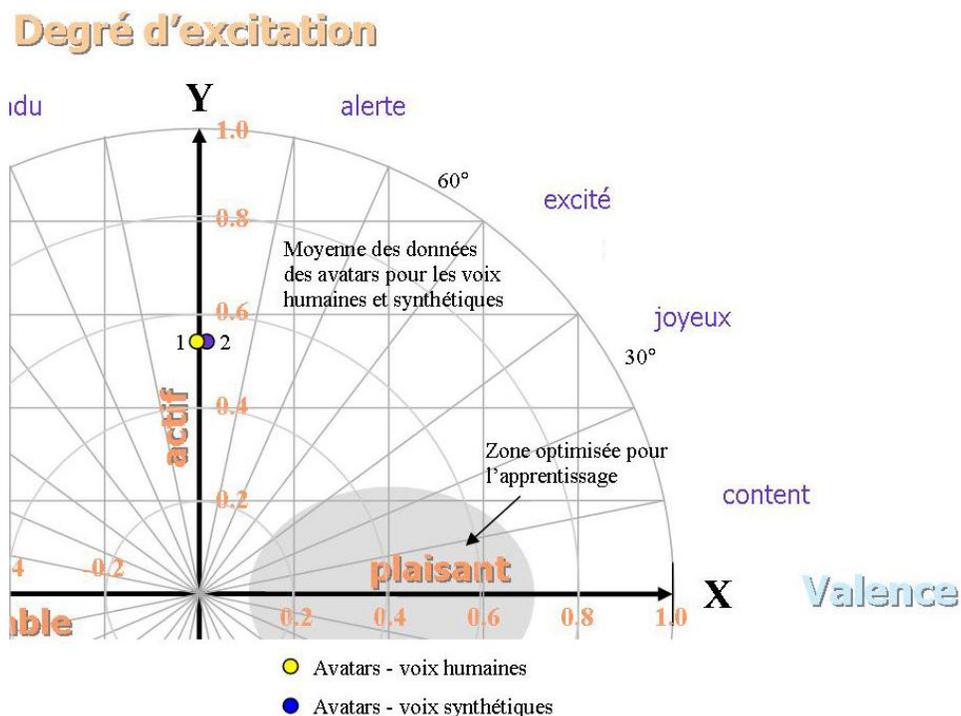


FIGURE 12

Tableau XIII (voir annexes 11 et 12)

Âge - Moyenne des données de valence et de biométrie pour les groupes A et B (6 à 12 ans)							
Âge des participants	6 ans	7 ans	8 ans	9 ans	10 ans	11 ans	12 ans
Moyenne des données de valences du chercheur	0,13	0.18	0.03	0.36	0.15	0.12	0.28
Moyenne des données biométriques du chercheur	0.59	0.55	0.57	0.55	0.56	0.57	0.58
Moyenne des données de valences de l'avatar	0.18	0.02	-0.14	-0.09	-0.08	-0.03	0.08
Moyenne des données biométriques de l'avatar	0.57	0.57	0.57	0.58	0.50	0.58	0.58

Âge - Moyenne des données de valence et de biométrie pour les groupes A et B (6 à 12 ans)

Intervieweur - **CHERCHEUR**

Groupe A et B

(termes polaires)

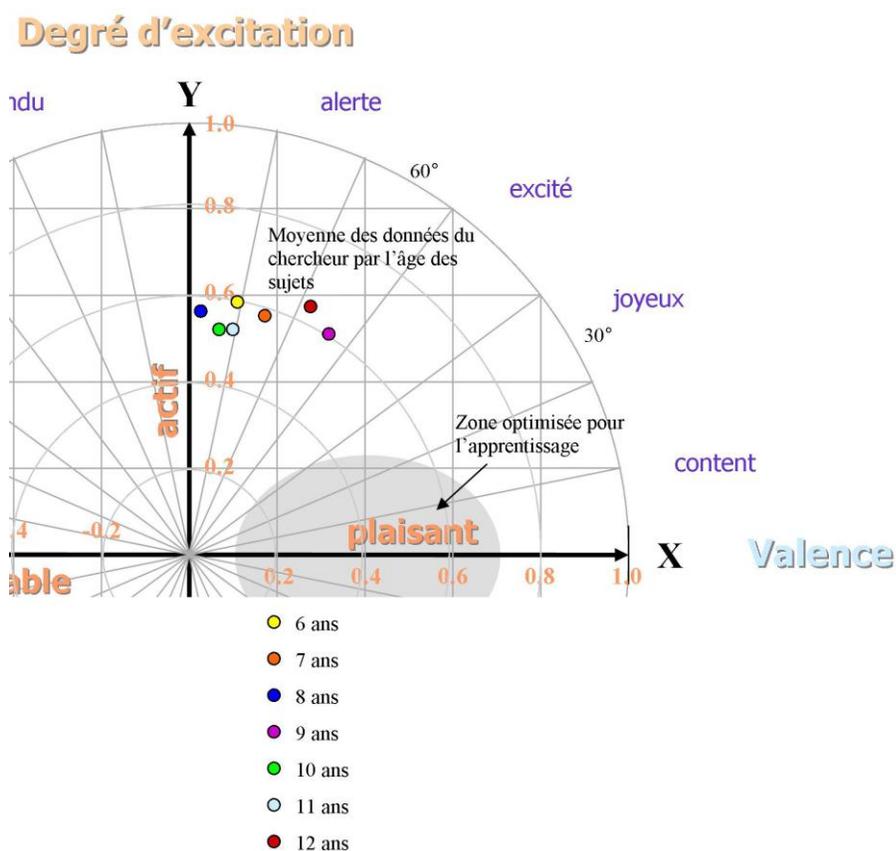


FIGURE 13

Âge - Moyenne des données de valence et de biométrie pour les groupes A et B (6 à 12 ans)

Intervieweur - *AVATAR*

Groupe A et B

(termes polaires)

Degré d'excitation

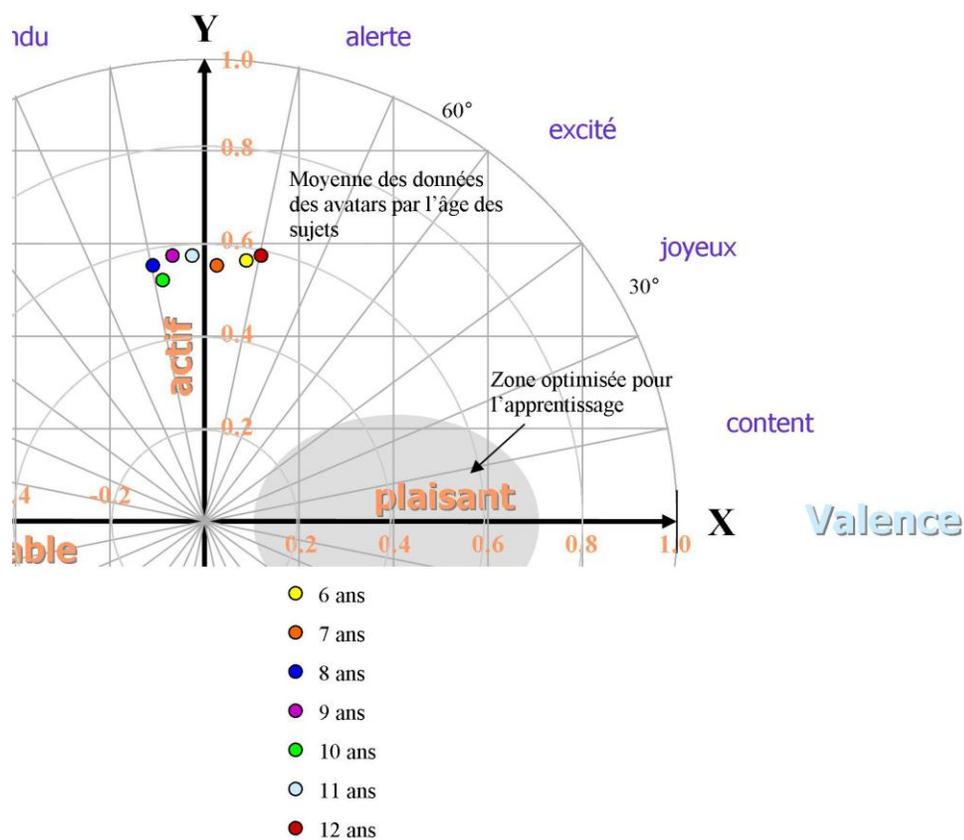


FIGURE 14

Tableau XIV (voir annexes 13 et 14)

Sexe - Moyenne des données de valence et de biométrie pour les groupes A et B (6 à 12 ans)		
Sexe des participants	mâle	femelle
Moyenne des données de valences du chercheur	0.15	0.19
Moyenne des données biométriques du chercheur	0.58	0.56
Moyenne des données de valences de l'avatar	-0.02	-0.02
Moyenne des données biométriques de l'avatar	0.57	0.56

Sexe - Moyenne des données de valence et de biométrie pour les groupes A et B (6 à 12 ans)

Intervieweur - **CHERCHEUR**

Groupe A et B

(termes polaires)

Degré d'excitation

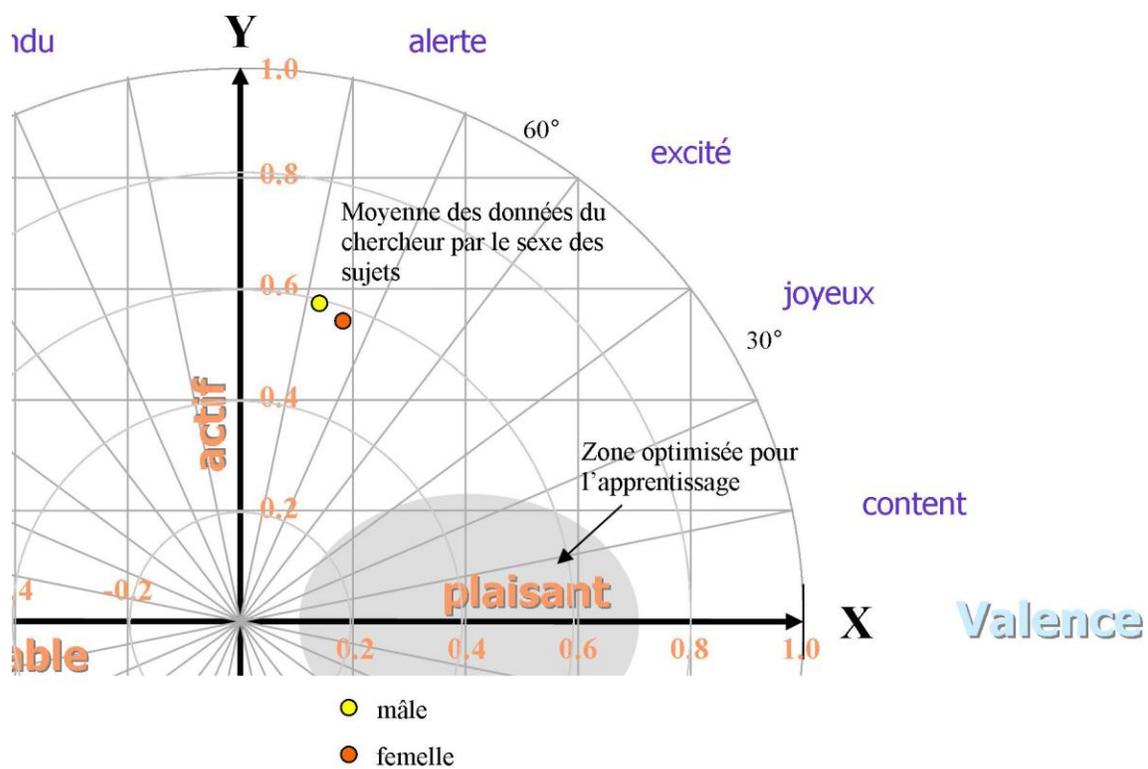


FIGURE 15

Sexe - Moyenne des données de valence et de biométrie pour les groupes A et B (6 à 12 ans)

Intervieweur - *AVATAR*

Groupe A et B
(termes polaires)

Degré d'excitation

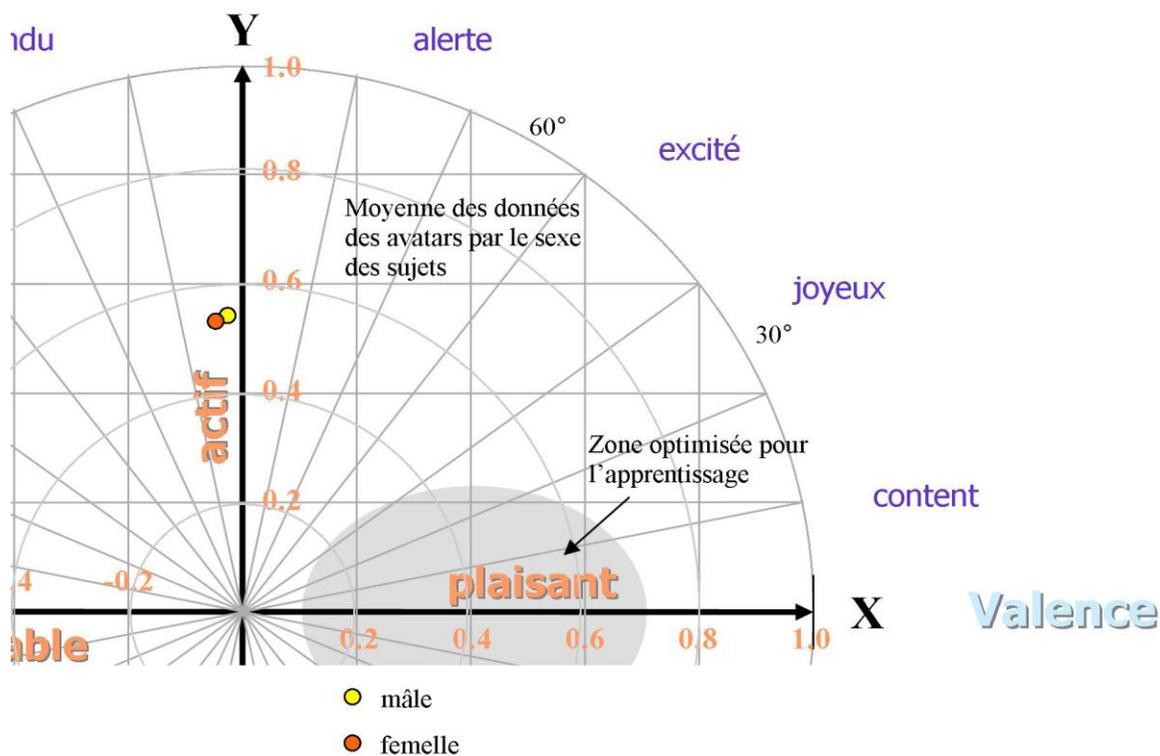


FIGURE 16

Tableau XV (voir annexes 15 et 16)

Langue - Moyenne des données de valence et de biométrie pour les groupes A et B (6 à 12 ans)		
Langue des participants	anglais	Immersion (anglais et français)
Moyenne des données de valences du chercheur	0.18	0.18
Moyenne des données biométriques du chercheur	0.58	0.56
Moyenne des données de valences de l'avatar	0.00	-0.03
Moyenne des données biométriques de l'avatar	0.56	0.57

Langue - Moyenne des données de valence et de biométrie pour les groupes A et B (6 à 12 ans)

Intervieweur - **CHERCHEUR**

Groupe A et B

(termes polaires)

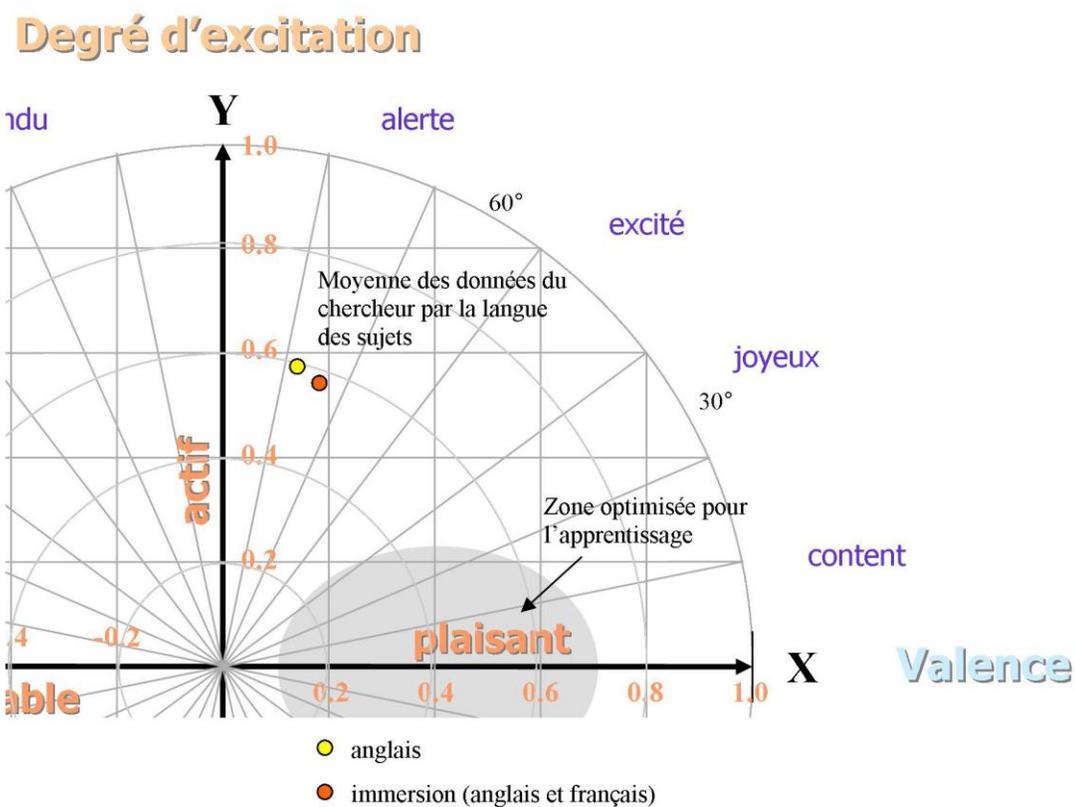


FIGURE 17

Langue - Moyenne des données de valence et de biométrie pour les groupes A et B (6 à 12 ans)

Intervieweur - **AVATAR**

Groupe A et B

(termes polaires)

Degré d'excitation

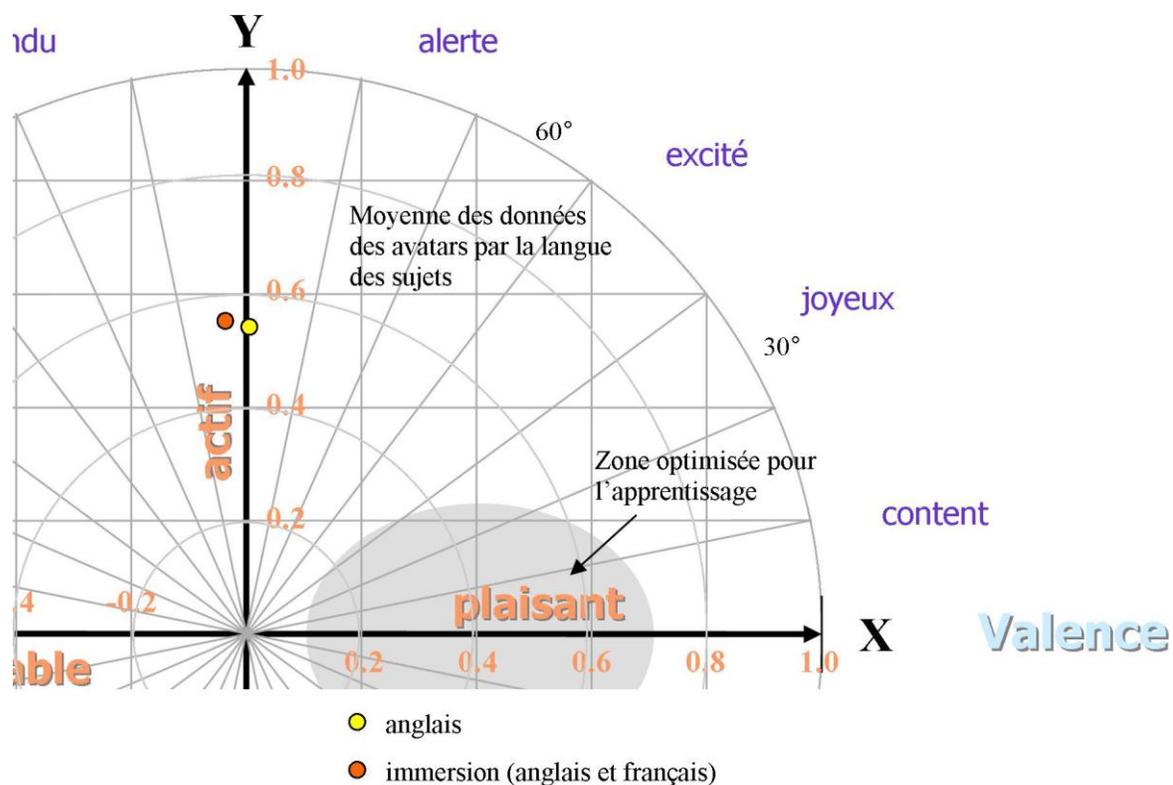


FIGURE 18

Tableau XVI (voir annexes 17 et 18)

Ethnie - Moyenne des données de valence et de biométrie pour les groupes A et B (6 à 12 ans)				
Ethnie des participants	anglo-saxonne	française	autochtone	autres
Moyenne des données de valences du chercheur	0.23	0.12	0.23	0.05
Moyenne des données biométriques du chercheur	0.56	0.57	0.53	0.56
Moyenne des données de valences de l'avatar	0.00	0.03	-0.03	-0.28
Moyenne des données biométriques de l'avatar	0.58	0.56	0.55	0.57

Ethnie - Moyenne des données de valence et de biométrie pour les groupes A et B (6 à 12 ans)

Intervieweur - **CHERCHEUR**

Groupe A et B

(termes polaires)

Degré d'excitation

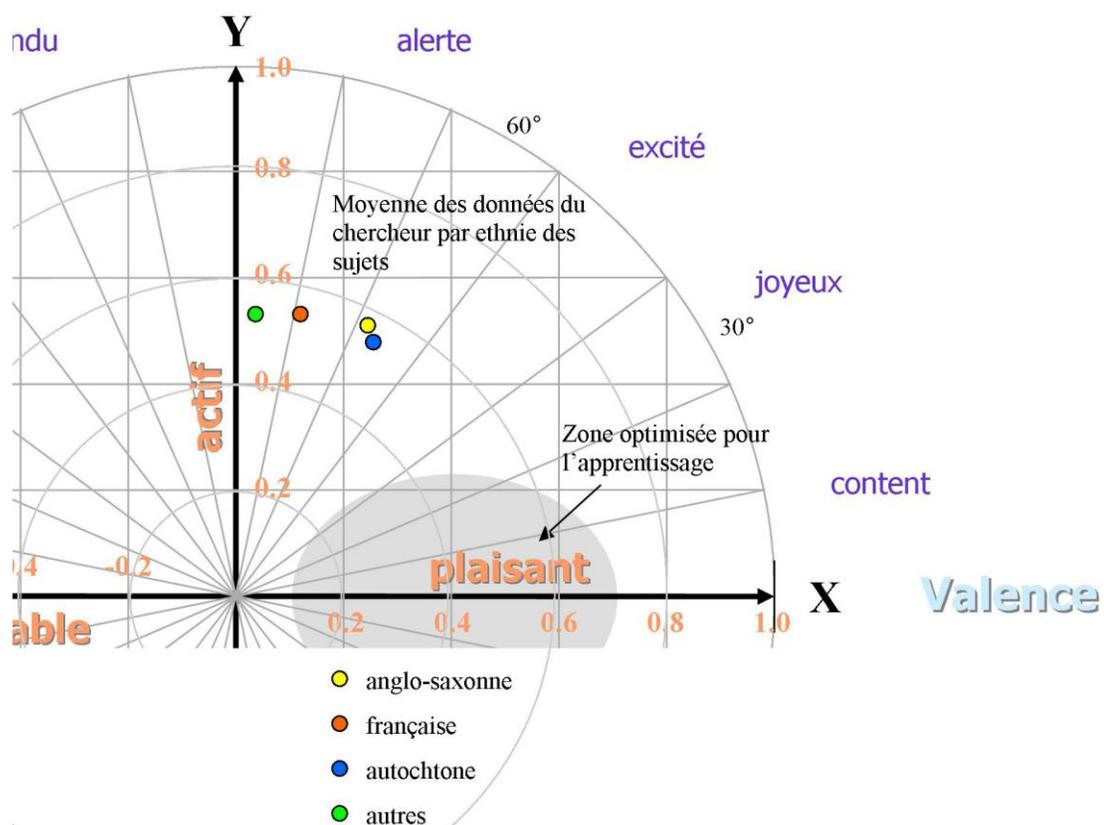


FIGURE 19

Ethnie - Moyenne des données de valence et de biométrie pour les groupes A et B (6 à 12 ans)

Intervieweur - **AVATAR**

Groupe A et B

(termes polaires)

Degré d'excitation

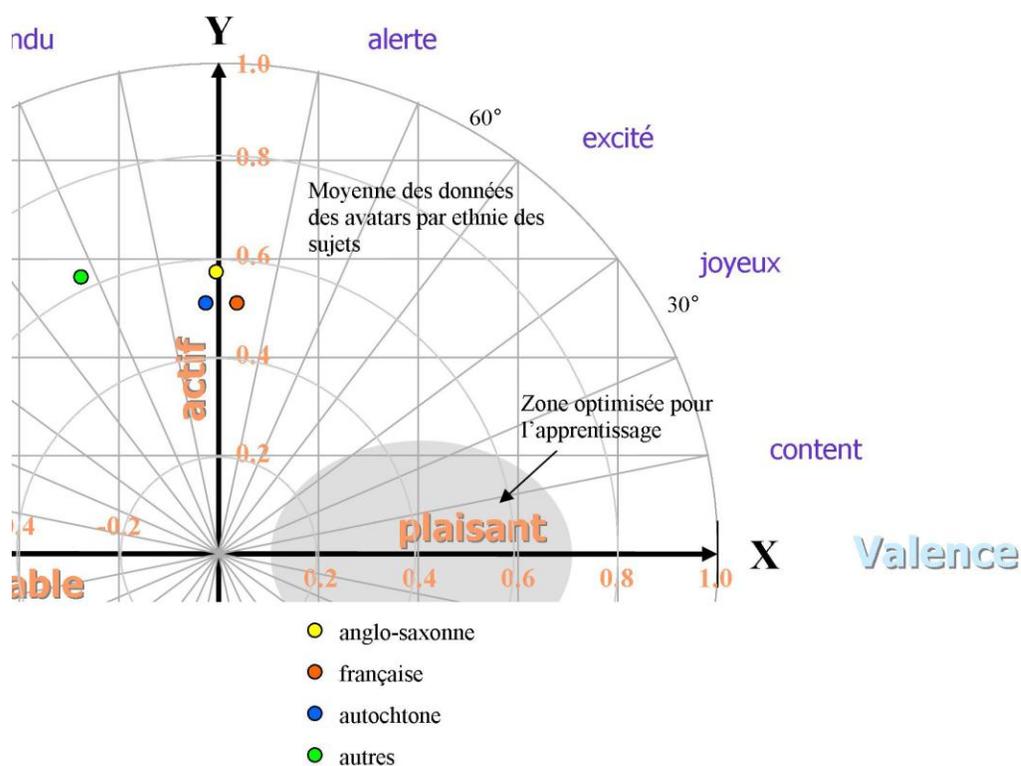


FIGURE 20

Tableau XVII (voir annexes 19 et 20)

Identification de l'élève - Moyenne des données de valence et de biométrie pour les groupes A et B (6 à 12 ans)		
Identification des participants (troubles comportementaux ou d'apprentissage)	Élève non-identifié	Élève identifié
Moyenne des données de valences du chercheur	0.22	0.17
Moyenne des données biométriques du chercheur	0.58	0.56
Moyenne des données de valences de l'avatar	0.10	0.11
Moyenne des données biométriques de l'avatar	0.58	0.56

Identification de l'élève - Moyenne des données de valence et de biométrie pour les groupes A et B (6 à 12 ans)

Intervieweur - **CHERCHEUR**

Groupe A et B

(termes polaires)

Degré d'excitation

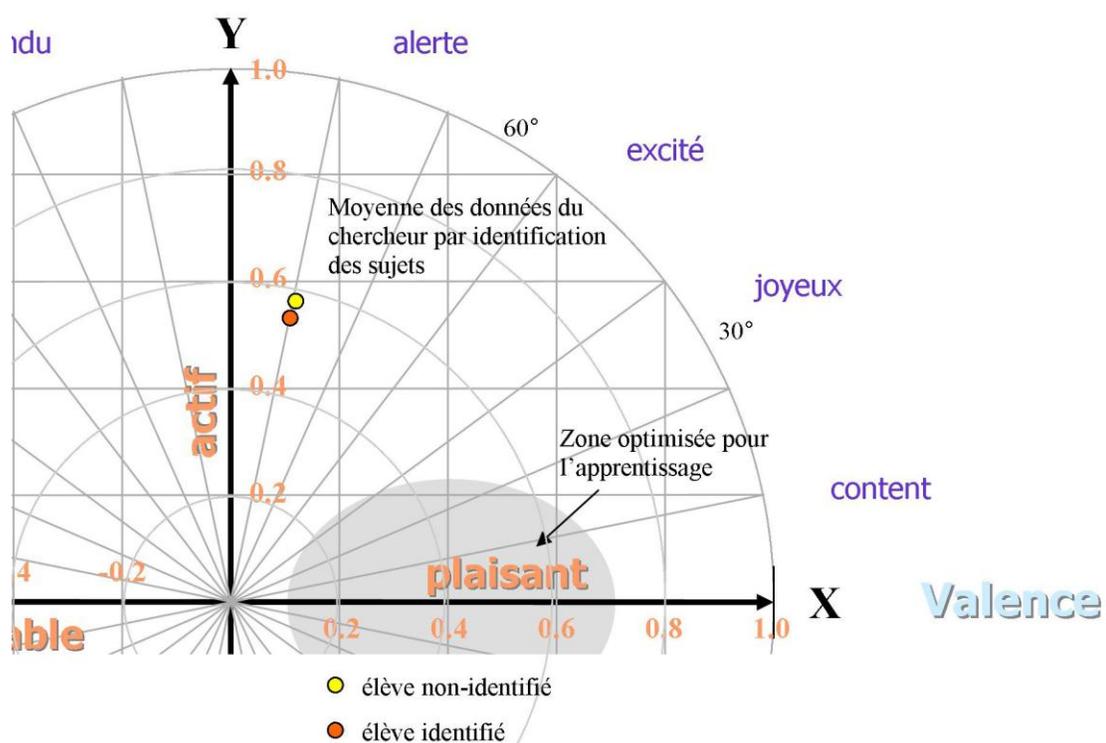


FIGURE 21

Identification de l'élève - Moyenne des données de valence et de biométrie pour les groupes A et B

(6 à 12 ans)

Intervieweur - *AVATAR*

Groupe A et B

(termes polaires)

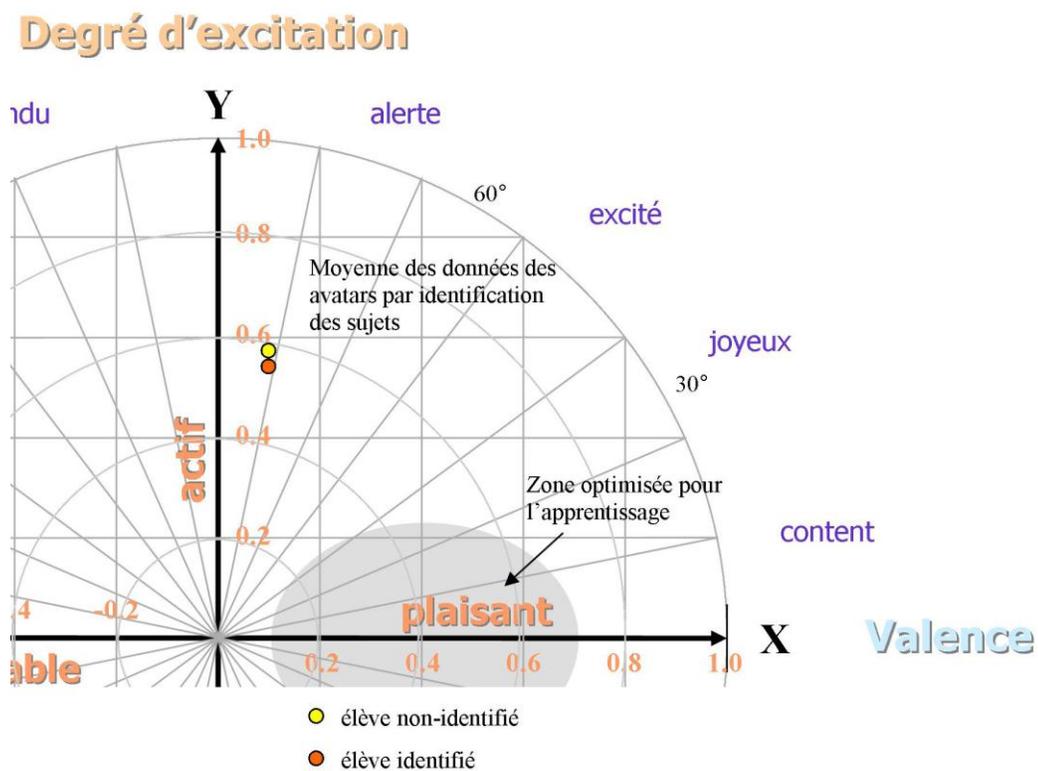


FIGURE 22

3.1.2 Discussion des résultats

Cette expérience a permis de vérifier certaines hypothèses qui avaient été formulées au début de ce mémoire, notamment l'implication de l'intelligence artificielle en éducation par le biais des interfaces intelligentes et des représentations graphiques. Ceci dit, on ne pouvait pas nier l'importance du support émotionnel à l'apprentissage en formation à distance. D'où découle cette recherche de représentations graphiques dans le cheminement pédagogique de l'élève.

Le modèle "circomplexe" de Posner, Russell et Peterson a été d'un grand secours dans la validité des données de cette expérience pour l'explication de processus émotionnels très complexes dans le résumé numérique. Après l'analyse de chaque avatar par l'entremise d'un barème d'émotions humaines, on pouvait cibler les caractéristiques morphologiques les plus aptes à amener une acceptation de l'apprenant à cet environnement médiatisé.

3.1.3 Choix initial

Il faut ajouter au préalable, que les apprenants devaient faire un choix initial de représentation graphique (avatar) avant même d'interagir avec celle-ci. Les avatars qui représentaient des animaux domestiques, les chats et les chiens, ont semblé développer une certaine affinité émotionnelle avec les apprenants et ont été choisis le plus souvent. En ce qui concernait le sexe du sujet, une grande majorité des filles ont opté pour les chats tandis que les garçons ont choisi plutôt des chiens comme animaux. Pour les quatre animaux représentés comme avatars dans les deux types d'interfaces basés selon l'âge (groupes A et B), ceux-ci ont été les plus populaires. Ce que les animaux domestiques semblent apporter aux enfants est une sécurité, celle-là même qu'ils entrevoyaient dans un ours en peluche. Fait inusité, les autochtones ne semblaient pas choisir les canidés; ils ont plutôt opté par les félins. Nous nous interrogeons à savoir si les chiens représentent une menace pour eux (cynophobie), puisque que ceux-ci ne semblent pas avoir été perçus de la même façon par ce groupe ethnique. Néanmoins, nous ne sommes

pas en mesure de déterminer chez ces autochtones s'il y avait une peur innée ou acquise, c'est à dire naturelle ou culturelle. Il ne faut pas oublier que l'inné est un caractère purement biologique tandis que l'acquis est un comportement appris. Aussi, les anglophones ont plutôt favorisés les animaux domestiques dans leurs choix tandis que ceux des classes d'immersion (où l'anglais est la langue première et le français langue seconde) semblaient plus aventureux tant qu'à leur sélection d'avatar. Les élèves identifiés (troubles comportementaux et d'apprentissages) semblent avoir suivi la moyenne des autres groupes. L'âge n'apparaît pas avoir influé sur le choix d'avatar des apprenants.

3.1.4 Expérience (valence et biométrie)

Les résultats encourus de cette expérience démontrent le niveau de stress que les apprenants avaient avant même de passer l'entrevue avec l'avatar puisqu'ils étaient branchés à la sonde biométrique en tout temps. On peut imaginer que pour un enfant, être un sujet dans une telle expérience, où il est relié à un ordinateur par voie de plusieurs capteurs biométriques et qu'il y a une caméra vidéo pointée sur lui en plus d'un écran blanc interactif, peut causer une incidence de stress assez élevé même si le chercheur/pédagogue n'est pas un inconnu. Aussi, la nature de l'entrevue n'était pas importante puisque les mêmes questions sont apparues lors des deux entrevues (l'entrevue conduite par le chercheur et celle par la représentation graphique).

La sobriété de cette expérience semble avoir instigué chez eux un sentiment de stress tel que reflété dans les données de valence et de biométrie. Les résultats obtenus semblent indiquer un meilleur résultat lors des entrevues conduites par le chercheur que les avatars. Mais les données sont très semblables et ce qui ressort de cette expérimentation, c'est que l'enfant semblait devenir de plus en plus à l'aise avec les représentations graphiques après le choc initial de voir une image virtuelle géante qui semblait converser avec eux lors des entrevues. Certains avatars comme celui de "Gaétane" (femme humaine) et "Mike" (homme virtuel) ont montré un taux d'acceptation assez élevé, mais à cause du peu de données vis-à-

vis de ces deux avatars, cela ne peut pas nous conduire à des conclusions valables. Les élèves ont réagi de façon différente selon leur âge. Ceux âgés de 12 ans étaient plus réceptifs aux avatars tandis que ceux de huit ans l'étaient moins. Au niveau du sexe de l'élève, on n'a pas vu beaucoup de différence entre les apprenantes et les apprenants. Les données de valence et de biométrie des deux groupes étaient très semblables lors des entrevues du chercheur et de l'avatar. Les résultats étaient très similaires au niveau de la langue parlée. C'est au niveau des différentes ethnies qu'on retrouve les plus grandes nuances par rapport à leurs réactions aux représentations graphiques. Les francophones ont semblé moins réagir par rapport à l'interface tandis que les autochtones et les autres ethnies ont démontré une réaction évidente lorsqu'ils ont interagi avec l'avatar. Les élèves d'origine anglo-saxonne ont aussi démontré une certaine réticence par rapport à l'avatar.

3.2 Conclusions importantes

Comme dans les recherches proposées au début de ce mémoire, notamment les théories et travaux de recherche en intelligence artificielle d'interface affective fait par Rosalind W. Picard du « Affective Computer Lab. » de l'institut de technologie du Massachusetts (MIT) et du « Rainbow Research Group » de l'université Cambridge, de Roger Nkambou de l'UQAM et des autres, on peut en arriver à une certaine validité externe. Cette exploration, relative aux émotions dégagées de la part de l'apprenant durant la phase d'apprentissage, est, a priori, une nouvelle tangente dans la démarche de la création d'interfaces intelligentes. Ce qui est excitant et prometteur c'est que ce mémoire explore la possibilité d'extension vis-à-vis d'autres recherches déjà en cours comme celle de Picard et de Nkambou.

Comme mentionné plus haut dans la discussion des résultats, il est donc concevable, après une période initiale de consolidation émotive, de voir l'apprenant accepter cette représentation graphique et donc on pourrait se rapprocher de la zone dite optimisée pour l'apprentissage proposée par Posner, Russell et Peterson. Cette recherche semble avoir aussi démontrée que l'utilisation de voix

synthétiques n'encourt aucun désavantage par rapport aux voix humaines (même si la prononciation n'était pas toujours parfaite). Il est à noter que les voix synthétiques utilisées dans la phase méthodique de ce mémoire étaient de Microsoft SAPI 5 (*Speech Application Programming Interface*, 5^e génération).

Il est très probable qu'on pourrait passer à l'étape de conception d'interface intelligente comme le démontre les recherches de Nkambou, pour apporter un support à l'apprentissage, non seulement au niveau cognitif, mais aussi au niveau émotionnel. Pour que l'interaction entre la représentation graphique et l'apprenant soit complète, il faudrait établir un système de feedback de valence et de biométrie programmé afin de réagir en temps réel.

Au niveau de la programmation, l'utilisation des algorithmes génétiques, évolutionnaires et de la logique floue semble apporter un espoir que dans un avenir proche, on pourra entrevoir des entités virtuelles intelligentes. La démystification du cerveau par la traduction de celui-ci en circuits logiques et reproductifs en laboratoire, pourrait amener une ère nouvelle de cybernétique en éducation. Ce qui est aussi intéressant de voir, sont que les cellules nerveuses biologiques ont une réaction très similaire à ceux créés de façon synthétique comme démontrer par plusieurs chercheurs en intelligence artificielle. Évidemment, on ne peut penser présentement à reproduire notre cerveau dans toutes ses phases, surtout au niveau des émotions sans encore plusieurs découvertes au niveau neurophysiologique et au niveau des algorithmes en intelligence artificielle.

Un autre point intéressant, c'est la quantification qui s'opère au niveau des émotions par l'utilisation des systèmes de biofeedback et de la logique floue. La décortication des émotions en systèmes logiques et reproductibles peut nous amener à des perceptions synthétiques quasi humaines. On est encore loin d'un être cybernétique qui est conscient de lui-même. Mais, avec l'apport de nouveaux concepts cybernétiques en intelligence artificielle, on est à espérer que nous ne sommes pas très distants d'une entité artificielle intelligente indépendante.

3.3 Limites de la recherche

La recherche dans ce mémoire était basée sur les données de valence et de biométrie conjuguées à partir des entrevues conduites par le chercheur et les représentations graphiques afin de quantifier les émotions des apprenants de façon mathématique. Les dangers de contamination des données étaient minimes puisque c'était la représentation graphique (avatar) qui conduisait la 2^e entrevue, et que les sujets et les conditions de l'expérience étaient représentatifs au contexte exprimé. À posteriori, les facteurs parasites ont pu être contrôlés dans les tableaux de statistiques et les diagrammes.

Ce mémoire ne se voulait pas une expertise au niveau de la psychologie morphologique des visages et des expressions humaines. La sélection des traits et des caractéristiques (émotions - données de valence) exprimés par les apprenants ont été quantifiés de façon subjective par rapport au barème postulé par Posner, Russell et Peterson. Par contre, il n'y a eu aucun apprentissage (*Van Der Maren, 1996*) puisque durant les entrevues, les apprenants ont été subjugués par deux types d'intervieweurs (le chercheur et l'avatar). Simultanément, à cause de ce que Van Der Maren appelle la stimulation expérimentale, les données biométriques ont été quelque peu faussées à cause de l'excitation engendrée par le type de méthodologie pour recueillir les données tel qu'énoncé durant la discussion des résultats (expérience - valence et biométrie, p. 51).

L'évaluation empirique découlait, au préalable, de la formulation conjecturale de l'hypothèse représentée par les données suscitées. L'effet du hasard a été respecté dans la collection des données de valence et de biométrie afin de contenir au possible, les interférences inconscientes du chercheur durant les entrevues. La conscientisation de la quantification des données risquait de former une déformation de la vérité si on s'en référait seulement aux chiffres, qui ne sont en fait, que des résumés arithmétiques. Par ailleurs, le facteur temps, ne constituait en aucun cas, un critère important durant les entrevues puisque les apprenants pouvaient répondre aux questions, à priori, sans période délimitée.

BIBLIOGRAPHIE

1. Ahern G, Brown S, Schwartz G : *Facial muscle partening and subjective experience during affective imagery: Sex differences. Psychophysiology.* 1980
2. Arbib Michael A.¹, Fellous Jean-Marc : *Emotions: from brain to robot*, Computer Science, Neuroscience and USC Brain Project, University of Southern California, Los Angeles, CA, Biomedical Engineering Department and Center for Cognitive Neuroscience¹, Duke University, Durham, NC², *TRENDS in Cognitive Sciences* Vol.8 No.12, Décembre 2004
3. Ascia Giuseppe, Catania Vincenzo, Palesi Maurizio : *A Multi-objective Genetic Approach to Mapping Problem on Network-on-Chip*, université di Catania, *Journal of Universal Computer Science*, vol. 12, no. 4, 2006
4. Bach Joscha : *Seven Principles of Synthetic Intelligence*, Institut de science cognitive, université d'Osnabrück, Allemagne, 2008
5. Baron-Cohen Simon, Hill Jacqueline, Ofer Golan, The Cambridge Mindreading (CAM) Face-Voice Battery : *Testing Complex Emotion Recognition in Adults with and without Asperger Syndrome.* *Journal of Autism and Developmental Disorders* 36(2):169-183, 2006
6. Baron-Cohen, S., Golan O., Wheelwright S., and Hill J.: *A New Taxonomy of Human Emotions* (under review), 2004
5. Barteneva Daria, Lau Nuno Reis Luís Paulo: *A Computational Study on Emotions and Temperament in Multi-Agent Systems*, université Havard, 2008
7. Bentley Peter J., Gordon Timothy G.W.: *Development Brings Scalability to Hardware Evolution*, Department of Computer Science, University College London, pages 272-279, 2005
8. Becker Joachim, Falling Simon, Langhorne Jorge, Meier Karl Heinz, Scheme Johannes : *A CMOS FPTA Chip for intrinsic Hardware Evolution of analog electronic Circuits*, Institut Kirchhoff pour la physique, université d' Heidelberg, Heidelberg, Allemagne, 2001
9. Brangier Éric, Hammes Sonia : *Comment mesurer la relation humain-technologie-organisation, Élaboration d'un questionnaire de mesure de la relation humain-technologie-organisation basée sur le modèle de la symbiose*, Pistes, vol 9, 2, UQAM, octobre 2007
10. Brooks, R. A.: *A robust layered control system for a mobile robot. IEEE Journal of Robotics and Automation*, 2(1):14-23, 1986
11. Brooks Rodney A. : *Intelligence without representation*, MIT Artificial Intelligence Laboratory, pages 139–159, 1987
12. Buck R, Caul WF, Miller RE, Caul WF, Savin VJ : *Communication of affect through facial expressions in humans. Journal of Personality and Social Psychology.* 1972
13. Carroll James M., Russell James A. : *The Phoenix of Bipolarity: Reply to Watson and Tillage*, *Psychological Bulletin*, Vol. 125, No. 5,611-617, 1999
14. Chen Jong-Chen, Chen Ruey-Dong : *Toward an evolvable neuromolecular hardware: a hardware design for a multilevel artificial brain with digital circuits*, Department of Management Information Systems, National YunLin University of Science and Technology, Touliu, Taiwan, R.O.C., 2001

15. Costa, Jr Paul T., Hagemann Dirk, McCrae Robert R., Terracciano Antonio : *Individual Difference Variables, Affective Differentiation, and the Structures of Affect*, National Institute on Aging, NIH, Department of Health and Human Services, Baltimore, 2003
16. Cytowic, Richard E., Eagleman, David M. : *Wednesday Is Indigo Blue Discovering the Brain of Synesthesia*, The MIT Press, avril 2009
17. de Garis Hugo : *The Artilect War, Cosmists vs. Terrans*, ETC Publications, Palm Springs, California, 2005
18. du Boulay B., Luckin R.: *Modelling Human Teaching Tactics and Strategies for Tutoring Systems*, International Journal of Artificial Intelligence in Education, 2001, 12, 235-256
19. Damasio Antonio : *Descartes' Error, Emotion, Reason, and the Human Brain*, G. P. Putman's Sons, New York, 1994
20. Dastani Mehdi, Meyer John-Jules Ch. : *Programming Agents with Emotions*, université de Trier, 2006
21. Dennett Daniel C., Lane Alan.: *Consciousness Explained*, The Penguin Press, 1991
22. Diener E, Emmons RA : The independence of positive and negative affect. *Journal of Personality and Social Psychology*. 1984
23. Ebner Martin, Holzinger Andreas, Christian Stickel, Searle Gig, Steinbach-Nordmann, Silke : *Emotion Detection: Application of the Valence Arousal Space for Rapid Biological Usability Testing to enhance Universal Access*, Springer Lecture Notes in Computer Science, Berlin Heidelberg New York, en presse, 2009
24. Esbjörnsson Jimmy : *EMO – A Computational State Module. Emotions and their influence on the behaviour of autonomous agents*, Department of Science and Technology, Linköpings University, Sweden, 2007
25. Fellous Jean-Marc : *The Neuromodulatory Basis of Emotion*, Computational Neurobiology Laboratory, The Salk Institute for Biological Studies, La Jolla, California, 1999
26. Fellous Jean-Marc, Armony Jorge L., LeDoux Joseph E. : *Emotional Circuits and Computational Neuroscience*, Computational Neurobiology Laboratory, The Salk Institute for Biological Studies, La Jolla, CA, 2002
27. Gaha Mohamed, Dubois Daniel, Nkambou Roger : Proposition d'un traitement émotionnel pour un STI "conscient", Revue Sticef, Volume 14, 2007
28. Goldsmith H. Hill, Pollak Seth D., Davidson Richard J. : *Developmental Neuroscience Perspectives on Emotion Regulation*, CHILD DEVELOPMENT PERSPECTIVES, volume 2, Université du Wisconsin – Madison, 2008
29. Hofman, M. A. : *The Fractal Geometry of Convolutated Brains*, *Journal fur Hirnforschung*, 32, 103-111., 1991
30. Kalganova, T., J. Miller and T. Fogarty : *Some Aspects of an Evolvable Hardware Approach for Multiple-Valued Combinational Circuit Design*. Proc. of Second International Conference on Evolvable System: From Biology to Hardware (ICES'98). Lausanne, Switzerland. pp. 78-89., 1998

31. Kiselev, Valerij G., Hahn, Klaus R. Hauer, Dorothea P. : *Is the brain cortex a fractal?*, NeuroImage, Volume 20, Issue 3, Novembre 2003
32. Mandelbrot, Benoît : *Les objets fractals: forme, hasard, et dimension*, 1e édition, Flammarion, Paris, 1975
33. MatLab, est un langage de haut niveau évoluant dans un environnement interactif et qui permet d'exécuter de nombreux calculs avec les langues de programmation traditionnelle tels que C, C++ et Fortran, version 2008b - MatLab 7.7.0, 2008
34. Meyer, J.-A., and Wilson, S. W. (Eds.), *From Animals to Animats: Proceedings of the First International Conference on Simulation of Adaptive Behavior*, Cambridge, Massachusetts: MIT Press/Bradford Books, 1991
35. Minsky M L and Papert S A : *Perceptrons*, Cambridge, MA: MIT Press, 1969
36. Minsky M L : *The Emotion Machine: Commonsense Thinking, Artificial Intelligence, and the Future of the Human Mind*, Simon and Shuster, 2006
37. Minsky Marvin : *The society of Mind*, Simon and Shuster, New York, 1986
38. Mohammad Bagher, Latifeh pour : *Intelligent Agent System Simulation Using Fear Emotion*, PROCEEDINGS OF WORLD ACADEMY OF SCIENCE, ENGINEERING AND TECHNOLOGY VOLUME 36, DECEMBER 2008
39. Mouret Jean-Baptiste : *Concepts fondamentaux des algorithmes évolutionnistes*, magazine, Linux, pages 34-41, 2005
40. Nkambou R., Gauthier G. et Frasson C. : *Un modèle représentation des connaissances relatives au contenu dans un système tutoriel intelligent*, Sciences et Techniques Éducatives, International Journal, Vol. 4, No. 3, pp. 299-330, HERMES, Paris, 2003
41. Picard, Rosalind : *Affect-aware tutors: recognizing and responding to student affect*, Int. J. Learning Technology, Vol. 4, Nos. 3/4, 2009
42. Ošmera Pavel : *Evolvable Fuzzy Controllers using Parallel Evolutionary Algorithms*, Université Brno de technologie, Brno, République tchèque, 2007
43. Posner, Jonathan, Russell James A., Peterson, Bradley S : *The circumplex model of affect: An integrative approach to affective neuroscience, cognitive development, and psychopathology*, Development and Psychopathology, 17 : 715-734, Cambridge University Press, 2005
44. Revel, Arnaud : *Les Animats peuvent-ils aider à comprendre le développement épigénétique de l'enfant ?* Presses Universitaires de France, *Enfance* 2003/4
45. Russell, J. A. : *A circumplex model of affect*, Journal of Personality and Social Psychology, 1980
46. Schlosberg, H.: *3-Dimensions of Emotions*, Psychological Review, 61(2), 1954
47. Sibiri Thaoré : *Conception d'une AR-Neuronique de grande taille inspirée de l'anatomie et de la physiologie du cerveau humain pour la commande des robots*, thèse présentée à la Faculté des études supérieures de l'université Laval, Québec, 1998

48. Tardif Jacques : *L'idéologie cognitive et l'éducation*, Éditions Logiques Québec, 1992

LIENS INTERNET*

1. Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales (CNRTL), 2009,
En ligne. < <http://www.cnrtl.fr/portail/> >, Consulté le 29 avril 2009.
2. Pulse: MedlinePlus Medical Encyclopedia, 1997-2010, *Medline Plus*,
En ligne. < <http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/ency/article/003399.htm> > Consulté le 27
mars 2010.
3. Rodet, Jacques, 2010, *FAD – FOAD – E – FORMATION*,
En ligne. < <http://jacques.rodet.free.fr/xformati.htm> >, Consulté le 6 octobre 2009.

TABLE DES ANNEXES

Annexe 1. Feuille de l'intervieweur par le groupe A (6 à 9 ans)

Groupe 6 – 9 ans

Entrevue dirigée par l'intervieweur

- a) Nom de l'étudiant : _____
- b) Sexe : M F
- c) Ethnie : _____
- d) Langue parlée : Français Anglais
- e) Année scolaire : 1 2 3 4
- f) Élève identifié : Oui Non

Si oui, est-ce des troubles comportementaux d'apprentissage ou les deux

Questions posées par l'intervieweur en français :

1. Quel est ton nom?
2. Est-ce que tu aimes l'école?
3. Est-ce que tu aimes ton enseignant.e?
4. Trouves-tu l'école difficile?
5. Quelle est ta matière favorite à l'école?
6. Est-ce que tu aimes les devoirs?
7. Est-ce que tu t'es senti.e à l'aise dans cette entrevue?

Questions posées par l'intervieweur en anglais :

1. What is your name?
2. Do you like school?
3. Do you like your teacher?
4. Do you find school difficult?
5. What is your favourite subject at school?
6. Do you like homework?
7. Were you uneasy with this interview?

Annexe 2. Feuille de l'intervieweur par le groupe B (10 à 12 ans)

Groupe 10 – 12 ans

Entrevue dirigée par l'intervieweur

- a) Nom de l'étudiant : _____
- b) Sexe : M F
- c) Ethnie : _____
- d) Langue parlée : Français Anglais
- e) Année scolaire : 4 5 6 7 8
- f) Élève identifié : Oui Non

Si oui, est-ce des troubles comportementaux d'apprentissage ou les deux

Questions posées par l'intervieweur en français :

1. Quel est ton nom?
2. Est-ce que tu aimes l'école
3. Est-ce que tu aimes ton enseignant.e? /
4. Trouves-tu l'école difficile?
5. Quelle est ta matière favorite à l'école?
6. Est-ce que tu aimes les devoirs?
7. Est-ce que tu t'es senti à l'aise dans cette entrevue?

Questions posées par l'intervieweur en anglais :

1. What is your name?
2. Do you like school?
3. Do you like your teacher?
4. Do you find school difficult?
5. What is your favourite subject at school?
6. Do you like homework?
7. Were you uneasy with this interview?

Annexe 3. Questions posées et réponses par les avatars en français et en anglais (exemple Caliméro)

Français:

Quel est ton nom?

Mon nom est Caliméro. Je suis un dessin animé.

Est-ce que tu aimes l'école?

Moi j'aimerais y aller, mais cependant je suis un dessin animé et c'est impossible.

Est-ce que tu aimes ton enseignante?

Moi, ma mère est mon enseignante.

Trouves-tu l'école difficile?

OK! C'est difficile de faire des choses qui en valent la peine.

Quelle est ta matière favorite à l'école?

Moi, j'aime m'amuser à l'ordinateur.

Est-ce que tu aimes les devoirs?

Moi, je préfère jouer.

Tu t'es senti.e à l'aise dans cette expérience?

Tu devrais parce que je suis pas mal cool.

Anglais:

What is your name?

My name is Calimero. I am a cartoon figure.

Do you like school?

I would like to go, but I cannot since I am only a cartoon.

Do you like your teacher?

I do not have one, I do not exist.

Do you find school difficult?

Things that are worth it are sometimes hard to do my mom says.

What is your favourite subject at school?

For me, it is to play on the computer.

Do you like homework?

I prefer to play.

Were you uneasy with this experiment?

You should have been at ease because I am very cool.

Annexe 4.

Données de valence et de biométrie pour chaque élève (termes polaires)

Groupe 6 – 9 ans

Numéro	Âge	Sexe	Langue	Ethnie	Identifié	Choix d'avatar	Type de données			
							biométriques (y)		valences (x)	
							entrevue (chercheur)	entrevue (avatar)	entrevue (chercheur)	entrevue (avatar)
1	6	F	I	AS	NID	Pirate (chiot)	0,60	0,56	0,4	- 0,1
2	6	G	I	F	NID	Pirate (chiot)	0,60	0,55	- 0,1	0,5
3	6	G	I	F	NID	Mia (chatte)	0,60	0,56	0,2	0,1
4	6	G	A	AS	NID	Mia (chatte)	0,54	0,60	0,0	0,2
5	7	F	I	AUT	NID	Mia (chatte)	0,56	0,60	- 0,3	- 0,6
6	7	F	I	F	NID	Mia (chatte)	0,54	0,48	0,4	- 0,1
7	7	G	I	AS	NID	Buddy (chien)	0,48	0,6	- 0,1	- 0,1
8	7	F	I	AS	NID	Mia (chatte)	0,56	0,58	0,4	0,6
9	7	F	I	AS	NID	Mia (chatte)	0,54	0,56	0,1	0,2
10	7	F	I	F	NID	Buddy (chien)	0,59	0,6	0,6	0,1
11	8	F	I	AUT	NID	Mia (chatte)	0,58	0,54	0,0	- 0,5
12	8	G	I	F	NID	Buddy (chien)	0,6	0,6	0,1	0,0
13	8	F	I	F	NID	Caliméro (Dessin animé)	0,54	0,6	- 0,2	0,2
14	8	G	I	AS	NID	Mia (chatte)	0,54	0,5	0,5	- 0,1
15	8	F	I	F	ID	Pirate (chiot)	0,52	0,6	- 0,2	0,0
16	8	G	I	AS/AU	NID	Pirate (chiot)	0,58	0,6	0,0	- 0,3
17	8	G	I	F	NID	Buddy (chien)	0,6	0,54	0,0	- 0,3
18	9	F	I	AS	NID	Mia (chatte)	0,6	0,62	0,2	- 0,1
19	9	F	I	AS	NID	Pirate (chiot)	0,54	0,52	0,3	- 0,1
20	9	F	I	AS	NID	Mia (chatte)	0,6	0,59	0,5	0,1
21	9	F	I	AS/AU	NID	Gaétane (femme)	0,42	0,6	0,4	0,3
22	9	G	A	AS	NID	Pirate (chiot)	0,59	0,6	0,3	- 0,5

23	9	G	I	AS	ID	Mike (homme virtuel)	0,6	0,6	0,4	- 0,2
24	9	F	I	AUT	NID	Gaétane (femme)	0,48	0,52	0,4	- 0,1

Annexe 5.

Données de valence et de biométrie pour chaque élève (termes polaires)

Groupe 10 – 12 ans

Numéro	Âge	Sexe	Langue	Ethnie	Identifié	Choix d'avatar	Type de données			
							biométriques (y)		valences (x)	
							entrevue (chercheur)	entrevue (avatar)	entrevue (chercheur)	entrevue (avatar)
25	10	F	I	F	NID	Pirate (chien)	0,54	0,56	0,1	- 0,2
26	10	F	I	F	NID	Buddy (chien)	0,48	0,43	0,3	0,0
27	10	F	I	AS	NID	Kitty (chatte)	0,6	0,6	0,0	- 0,1
28	10	F	A	AU	NID	Kitty (chatte)	0,6	0,4	0,2	0,0
29	11	F	A	AU	NID	Kitty (chatte)	0,53	0,6	0,3	- 0,1
30	11	F	A	AS	NID	Buddy (chien)	0,59	0,6	0,1	- 0,1
31	11	F	A	AS	NID	Kitty (chatte)	0,5	0,54	0,0	0,0
32	11	F	A	AS	NID	Pirate (chien)	0,6	0,6	0,1	0,0
33	11	F	A	F	NID	Gaétane (femme)	0,6	0,54	0,1	0,2
34	11	F	I	F	NID	Kitty (chatte)	0,59	0,6	0,1	- 0,2
35	12	G	A	AS	ID	Pirate (chien)	0,6	0,56	0,4	0,2
36	12	G	A	AS	ID	Buddy (chien)	0,6	0,54	0,3	0,1
37	12	F	I	AS	NID	Buddy (chien)	0,52	0,6	0,4	0,0
38	12	G	I	AUT	NID	Buddy (chien)	0,6	0,6	0,1	0,1
39	12	F	I	AS	ID	Kitty (chatte)	0,6	0,6	0,2	0,0

Annexe 6. Données de valence pour chaque avatar (Groupe A - 6 à 9 ans)

Données de valence Moyenne des données pour chaque avatar Groupe A (6 à 9 ans) <i>Entrevue conduite par le chercheur</i> <i>(groupe contrôle)</i>	Pirate (chiot)	Buddy (chien)	Mia (chatte)	Caliméro (dessin animé)	Gaétane (femme)	Mike (homme virtuel)
	0.40	-0.10	0.20	-0.20	0.40	0.40
	-0.10	0.60	0.00		0.40	
	-0.20	0.10	-0.30			
	0.00	0.00	0.40			
	0.30		0.40			
	0.30		0.10			
			0.00			
			0.50			
			0.20			
			0.50			
Moyenne	0.12	0.15	0.13	-0.20	0.40	0.40
<i>Entrevue conduite par l'avatar</i>	Pirate (chiot)	Buddy (chien)	Mia (chatte)	Caliméro (dessin animé)	Gaétane (femme)	Mike (homme virtuel)
	-0.10	-0.10	0.1	0.20	0.30	-0.20
	0.50	0.10	0.2		-0.10	
	0.00	0.00	-0.6			
	-0.30	-0.30	-0.1			
	-0.10		0.6			
	-0.50		0.2			
			-0.50			
			-0.10			
			-0.10			
			0.10			
Moyenne	-0.08	-0.08	-0.02	0.20	0.10	-0.20
Déviations (moyenne des données des entrevues conduites par le chercheur moins la moyenne des données des entrevues conduites par l'avatar)	0.20	0.23	0.15	0.40	0.30	0.60

Annexe 7. Données de valence pour chaque avatar (Groupe B - 10 à 12 ans)

Données de valence Moyenne des données pour chaque avatar Groupe B (10 à 12 ans) <i>Entrevue conduite par le chercheur (groupe contrôle)</i>	Pirate (chien)	Buddy (chien)	Kitty (chatte)	Cartoon Figure (dessin animé)	Gaétane (femme)	Mike (homme virtuel)
	0.10	0.30	0.00		0.10	
	0.10	0.10	0.20			
	0.40	0.30	0.30			
		0.40	0.00			
		0.10	0.10			
			0.20			
Moyenne	0.20	0.24	0.13		0.10	
<i>Entrevue conduite par l'avatar</i>	Pirate (chien)	Buddy (chien)	Kitty (chatte)	Cartoon Figure (dessin animé)	Gaétane (femme)	Mike (homme virtuel)
	-0.20	0.00	-0.10		0.20	
	0.00	-0.10	0.00			
	0.20	0.10	-0.10			
		0.00	0.00			
		0.10	-0.20			
			0.00			
Moyenne	0.00	0.02	-0.07		0.20	
Déviation (moyenne des données des entrevues conduites par le chercheur moins la moyenne des données des entrevues conduites par l'avatar)	0.20	0.22	0.20		0.10	

Annexe 8. Données de biométrie pour chaque avatar (Groupe A - 6 à 9 ans)

Données biométriques Moyenne des données pour chaque avatar Groupe A (6 à 9 ans) <i>Entrevue conduite par le chercheur</i> <i>(groupe contrôle)</i>	Pirate (chiot)	Buddy (chien)	Mia (chatte)	Caliméro (dessin animé)	Gaétane (femme)	Mike (homme virtuel)
	0,6	0,48	0,6	0,54	0,42	0,6
	0,54	0,59	0,54		0,48	
	0,52	0,6	0,56			
	0,6	0,56	0,54			
	0,54	0,60	0,56			
	0,59		0,54			
			0,58			
			0,54			
			0,6			
			0,6			
Moyenne	0,56	0,54	0,56	0,54	0,45	0,6
<i>Entrevue conduite par l'avatar</i>	Pirate (chiot)	Buddy (chien)	Mia (chatte)	Caliméro (dessin animé)	Gaétane (femme)	Mike (homme virtuel)
	0,56	0,60	0,56	0,6	0,6	0,6
	0,60	0,6	0,6		0,52	
	0,60	0,6	0,6			
	0,54	0,6	0,48			
	0,52	0,54	0,58			
	0,6		0,56			
			0,54			
			0,5			
			0,62			
			0,59			
Moyenne	0,57	0,59	0,56	0,6	0,56	0,6
Déviation (moyenne des données des entrevues conduites par le chercheur moins la moyenne des données des entrevues conduites par l'avatar)	0,01	0,05	0,0	0,06	0,11	0,0

**Annexe 10. Données de valence et de biométrie pour voix humaines et synthétiques
(Groupe A et B - 6 à 12 ans)**

Moyenne des données de valence et de biométrie pour les groupes A et B (6 à 12 ans) - avatars <i>voix humaines</i>	Valence	Biométrie
	- 0,1	0.56
	-0.6	0.6
	0.3	0.6
	-0.1	0.52
	0	0.56
	0	0.43
	-0.1	0.6
	0	0.54
	0	0.6
	0.2	0.54
	0	0.6
	0.1	0.6
	0	0.6
Moyenne	-0.017	0.565
<i>voix synthétiques</i>	Valence	Biométrie
	0.5	0.55
	0.1	0.56
	0.2	0.6
	-0.1	0.48
	-0.1	0.6
	0.6	0.58
	0.2	0.56
	0.1	0.6
	-0.5	0.54
	0	0.6
	0.2	0.6
	-0.1	0.5
	0	0.6
	-0.3	0.6
	-0.3	0.54
	-0.1	0.62
	-0.1	0.52
	0.1	0.59
	-0.1	0.6
	0	0.4
	-0.1	0.6
	-0.2	0.6
	0.2	0.56
	0.1	0.54
Moyenne	0.013	0.564
Déviation (moyenne des données des entrevues conduitent par le chercheur moins la moyenne des données des entrevues conduitent par l'avatar)	0.19	0.04

Annexe 11. Données de valence selon l'âge (Groupe A et B – 6 à 12 ans)

Moyenne des données selon l'âge Groupe A <i>Entrevue conduite par le chercheur</i>	6 ans	7 ans	8 ans	9 ans	10 ans	11 ans	12 ans
	0.40	-0.30	0.00	0.20	0.10	0.30	0.40
	-0.10	0.40	0.10	0.30	0.30	0.10	0.30
	0.20	-0.10	-0.20	0.50	0.00	0.00	0.40
	0.00	0.40	0.50	0.40	0.20	0.10	0.10
		0.10	-0.20	0.30		0.10	0.20
		0.60	0.00	0.40		0.10	
			0.00	0.40			
Moyenne	0.13	0.18	0.03	0.36	0.15	0.12	0.28
<i>Entrevue conduite par l'avatar</i>	6 ans	7 ans	8 ans	9 ans	10 ans	11 ans	12 ans
	-0.10	-0.60	-0.50	-0.10	-0.20	-0.10	0.20
	0.50	-0.10	0.00	-0.10	0.00	-0.10	0.10
	0.10	-0.10	0.20	0.10	-0.10	0.00	0.00
	0.20	0.60	-0.10	0.30	0.00	0.00	0.10
		0.20	0.00	-0.50		0.20	0.00
		0.10	-0.30	-0.20		-0.20	
			-0.30	-0.10			
Moyenne	0.18	0.02	-0.14	-0.09	-0.08	-0.03	0.08
Déviation (moyenne des données des entrevues conduitent par le chercheur moins la moyenne des données des entrevues conduitent par l'avatar)	-0.05	0.17	0.17	0.40	0.23	0.15	0.20

Annexe 12. Données de biométrie selon l'âge (Groupe A et B – 6 à 12 ans)

Moyenne des données Groupe A et B (âge)							
<i>Entrevue conduite par le chercheur</i>	6 ans	7 ans	8 ans	9 ans	10 ans	11 ans	12 ans
	0.60	0.56	0.58	0.60	0.54	0.53	0.60
	0.60	0.54	0.60	0.54	0.48	0.59	0.60
	0.60	0.48	0.54	0.60	0.60	0.50	0.52
	0.54	0.56	0.54	0.42	0.60	0.60	0.60
		0.54	0.52	0.59		0.60	0.60
		0.59	0.58	0.60		0.59	
			0.60	0.48			
Moyenne	0.59	0.55	0.57	0.55	0.56	0.57	0.58
<i>Entrevue conduite par l'avatar</i>	6 ans	7 ans	8 ans	9 ans	10 ans	11 ans	12 ans
	0.56	0.60	0.54	0.62	0.56	0.60	0.56
	0.55	0.48	0.60	0.52	0.43	0.60	0.54
	0.56	0.60	0.60	0.59	0.60	0.54	0.60
	0.60	0.58	0.50	0.60	0.40	0.60	0.60
		0.56	0.60	0.60		0.54	0.60
		0.60	0.60	0.60		0.60	
			0.54	0.52			
Moyenne	0.57	0.57	0.57	0.58	0.50	0.58	0.58
Déviation (moyenne des données des entrevues conduitent par le chercheur moins la moyenne des données des entrevues conduitent par l'avatar)	0.02	-0.03	0.00	0.40	0.06	-0.01	0.00

Annexe 14. Données de biométrie selon le sexe (Groupe A et B – 6 à 12 ans)

Moyenne des données Groupe A et B (sexe)						
<i>Entrevue conduite par le chercheur</i>	mâle	femelle		<i>Entrevue conduite par l'avatar</i>	mâle	femelle
	0.60	0.60			0.55	0.56
	0.60	0.56			0.56	0.60
	0.54	0.54			0.60	0.48
	0.48	0.56			0.60	0.58
	0.60	0.54			0.60	0.56
	0.54	0.59			0.50	0.60
	0.58	0.58			0.60	0.54
	0.60	0.54			0.54	0.60
	0.59	0.52			0.60	0.60
	0.60	0.60			0.60	0.62
	0.60	0.54			0.56	0.52
	0.60	0.60			0.54	0.59
	0.60	0.42			0.60	0.60
		0.48				0.52
		0.54				0.56
		0.48				0.43
		0.60				0.60
		0.60				0.40
		0.53				0.60
		0.59				0.60
		0.50				0.54
		0.60				0.60
		0.60				0.54
		0.59				0.60
		0.52				0.60
		0.60				0.60
Moyenne	0.579	0.555			0.573	0.563
	mâle	femelle				
Déviation (moyenne des données des entrevues conduitent par le chercheur moins la moyenne des données des entrevues conduitent par l'avatar)	0.01	-0.01				

Annexe 16. Données de biométrie selon la langue (Groupe A et B – 6 à 12 ans)

Moyenne des données Groupe A et B (langue)						
<i>Entrevue conduite par le chercheur</i>	anglais	immersion		<i>Entrevue conduite par l'avatar</i>	anglais	immersion
	0.54	0.60			0.60	0.56
	0.59	0.60			0.60	0.55
	0.60	0.60			0.40	0.56
	0.53	0.56			0.60	0.60
	0.59	0.54			0.60	0.48
	0.50	0.48			0.54	0.58
	0.60	0.56			0.60	0.56
	0.60	0.54			0.54	0.60
	0.60	0.59			0.56	0.54
	0.60	0.58			0.54	0.60
		0.60				0.60
		0.54				0.50
		0.54				0.60
		0.52				0.60
		0.58				0.54
		0.60				0.62
		0.60				0.52
		0.54				0.59
		0.60				0.60
		0.60				0.60
		0.54				0.52
		0.48				0.56
		0.54				0.43
		0.48				0.60
		0.60				0.60
		0.59				0.60
		0.52				0.60
		0.60				0.60
		0.60				0.60
Moyenne	0.575	0.563			0.558	0.569
	anglais	immersion				
Déviation (moyenne des données des entrevues conduitent par le chercheur moins la moyenne des données des entrevues conduitent par l'avatar)	0.02	-0.01				

**Annexe 19. Données de valence selon l'identification de l'élève
(Groupe A et B – 6 à 12 ans)**

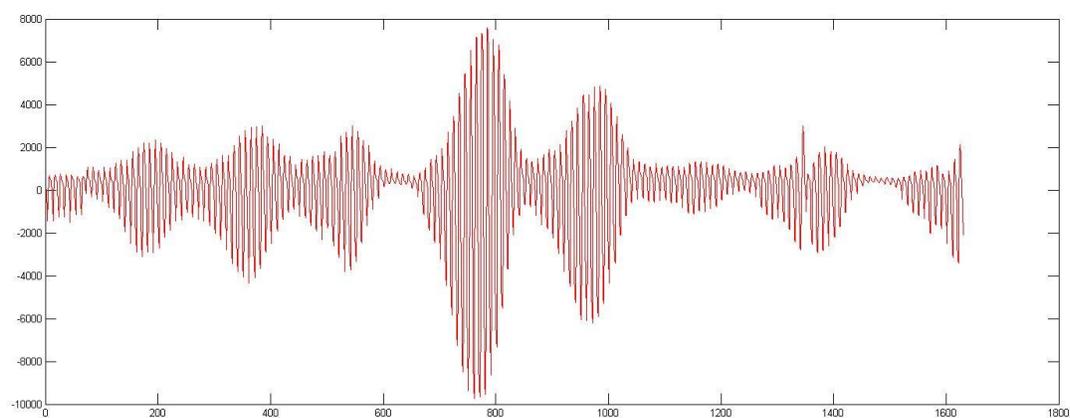
Moyenne des données Groupe A et B (identification de l'élève) <i>Entrevue conduite par le chercheur</i>	élève identifié	élève non- identifié		<i>Entrevue conduite par l'avatar</i>	élève identifié	élève non- identifié
	-0.20	0.40			-0.20	0.40
	0.40	-0.10			0.40	-0.10
	0.40	0.20			0.20	0.20
	0.30	0.00			0.10	0.00
	0.20	-0.30			0.00	-0.30
		0.40				0.40
		-0.10				-0.10
		0.40				0.40
		0.10				0.10
		0.60				0.60
		0.00				0.00
		0.10				0.10
		-0.20				-0.20
		0.50				0.50
		0.00				0.00
		0.00				0.00
		0.20				0.20
		0.30				0.30
		0.50				0.50
		0.40				0.40
		0.30				0.30
		0.40				0.40
		0.10				-0.20
		0.30				0.00
		0.00				-0.10
		0.20				0.00
		0.30				-0.10
		0.10				-0.10
		0.00				0.00
		0.10				0.00
		0.10				0.20
		0.10				-0.20
		0.40				0.00
		0.10				0.10
Moyenne	0.220	0.174			0.100	0.109
	élève identifié	élève non- identifié				
Déviatiion (moyenne des données des entrevues conduites par le chercheur moins la moyenne des données des entrevues conduites par l'avatar)	0.120	0.065				

**Annexe 20. Données de biométrie selon l'identification de l'élève
(Groupe A et B – 6 à 12 ans)**

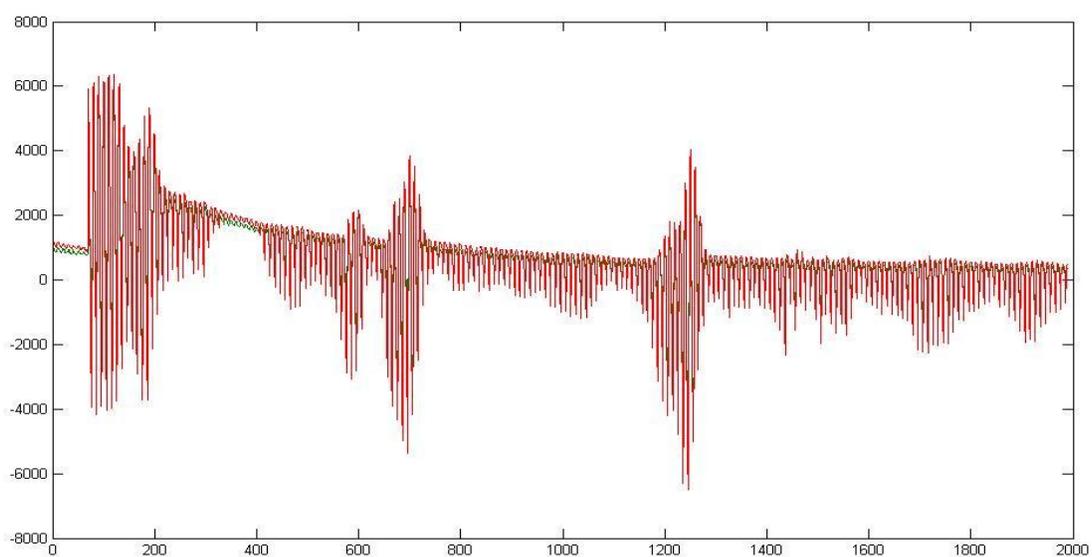
Moyenne des données Groupe A et B (identification de l'élève) <i>Entrevue conduite par le chercheur</i>	élève identifié	élève non- identifié		<i>Entrevue conduite par l'avatar</i>	élève identifié	élève non- identifié
	0.52	0.60			0.60	0.56
	0.60	0.60			0.60	0.55
	0.60	0.60			0.56	0.56
	0.60	0.54			0.54	0.60
	0.60	0.56			0.60	0.60
		0.54				0.48
		0.48				0.60
		0.56				0.58
		0.54				0.56
		0.59				0.60
		0.58				0.54
		0.60				0.60
		0.54				0.60
		0.54				0.50
		0.58				0.60
		0.60				0.54
		0.60				0.62
		0.54				0.52
		0.60				0.59
		0.42				0.60
		0.59				0.60
		0.48				0.52
		0.54				0.56
		0.48				0.43
		0.60				0.60
		0.60				0.40
		0.53				0.60
		0.59				0.60
		0.50				0.54
		0.60				0.60
		0.60				0.54
		0.59				0.60
		0.52				0.60
		0.60				0.60
Moyenne	0.584	0.560			0.580	0.564
	élève identifié	élève non- identifié				
Déviaton (moyenne des données des entrevues conduitent par le chercheur moins la moyenne des données des entrevues conduitent par l'avatar)	0.004	-0.005				

Annexe 21. Exemples de diagrammes de biométrie dans MatLab

I) Entrevue conduite par le chercheur (1_BIO1_6FI_AS_NID_AH)



II) Entrevue conduite par l'avatar (1_BIO2_6FI_AS_NID_Pirate_chiot_AH)

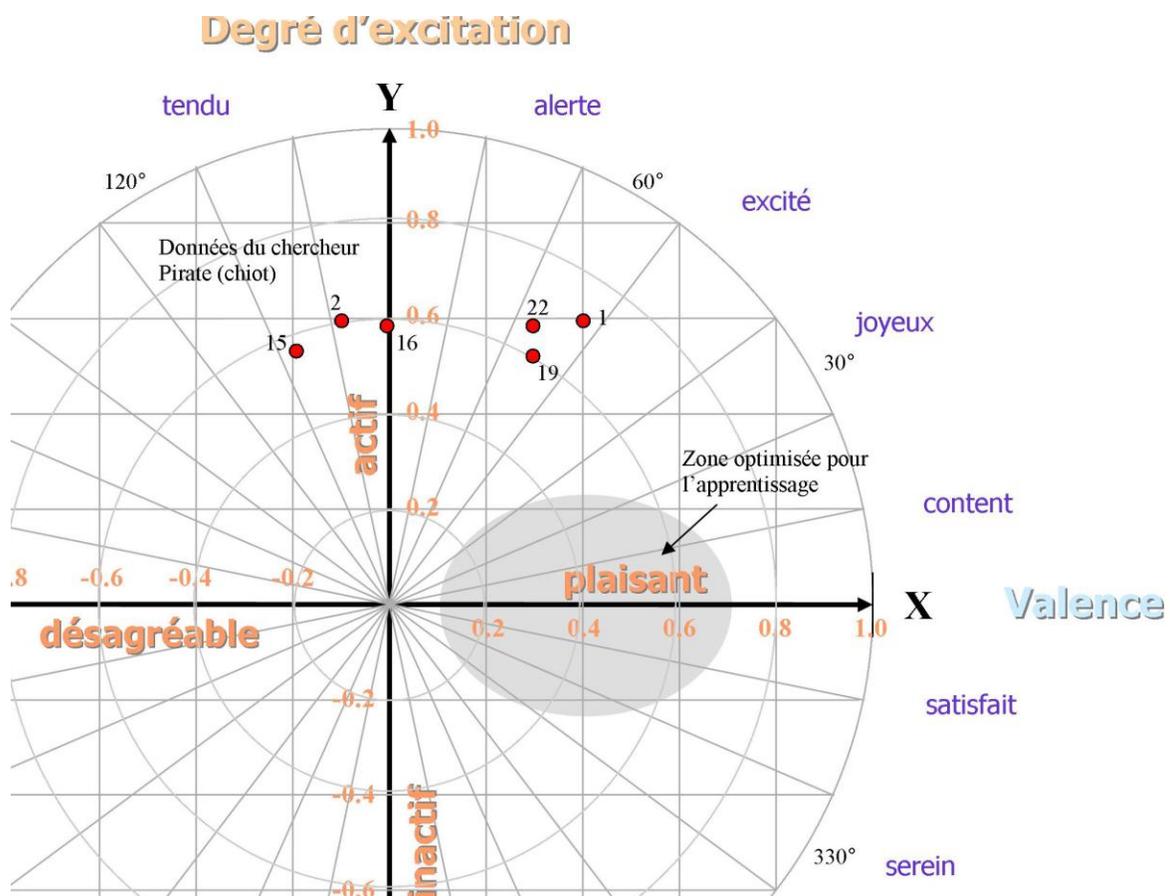


Annexe 22. Données de biométrie des apprenants lorsque interviewés par le chercheur avant d'être exposé à l'avatar Pirate (chiot)

Intervieweur - **CHERCHEUR**

Groupe 6 – 9 ans

(termes polaires)



● **Données du chercheur**

(le nombre correspond à l'élève interviewé - voir annexes 4 et 5)

Annexe 23. Données de biométrie des apprenants lorsque interviewés par la représentation graphique (avatar) Pirate (chiot)

Pirate (chiot)

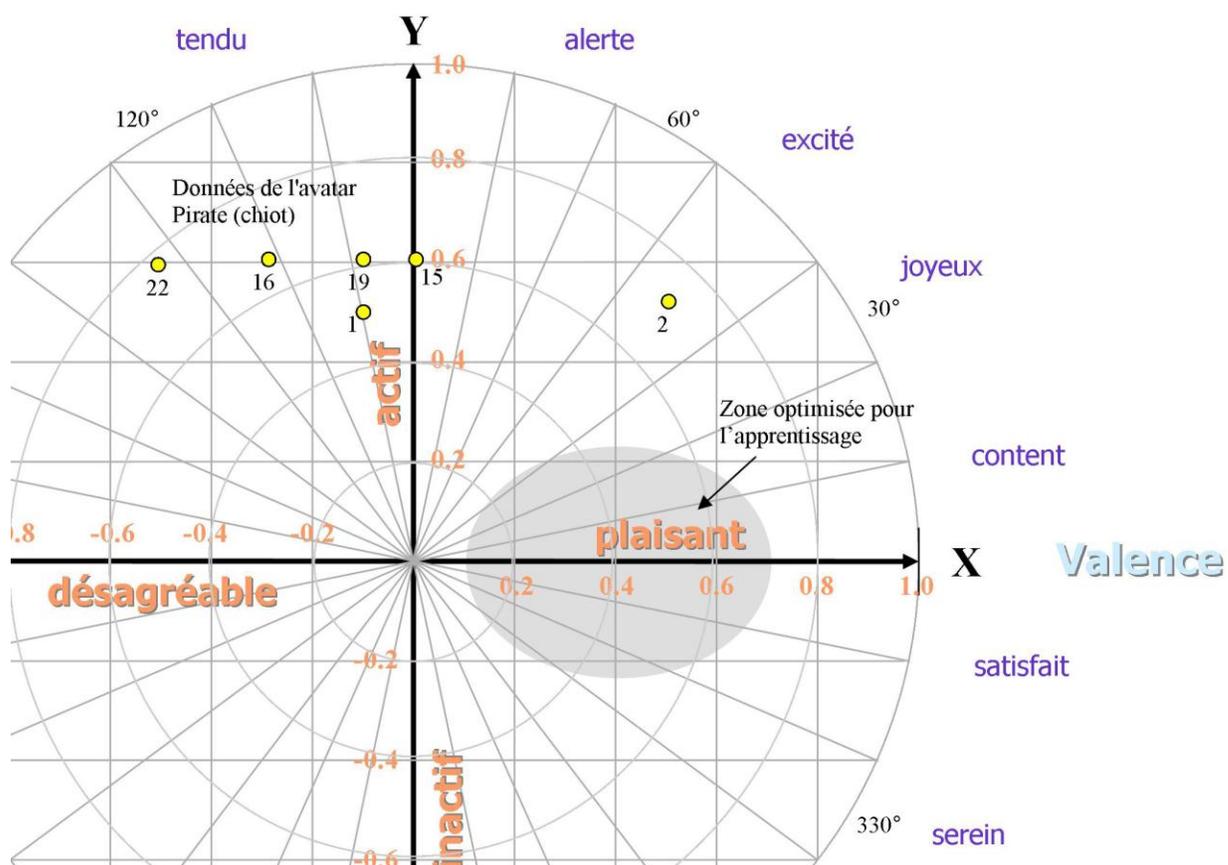


Intervieweur - **AVATAR**

Groupe 6 – 9 ans

(termes polaires)

Degré d'excitation



● **Données de l'avatar**

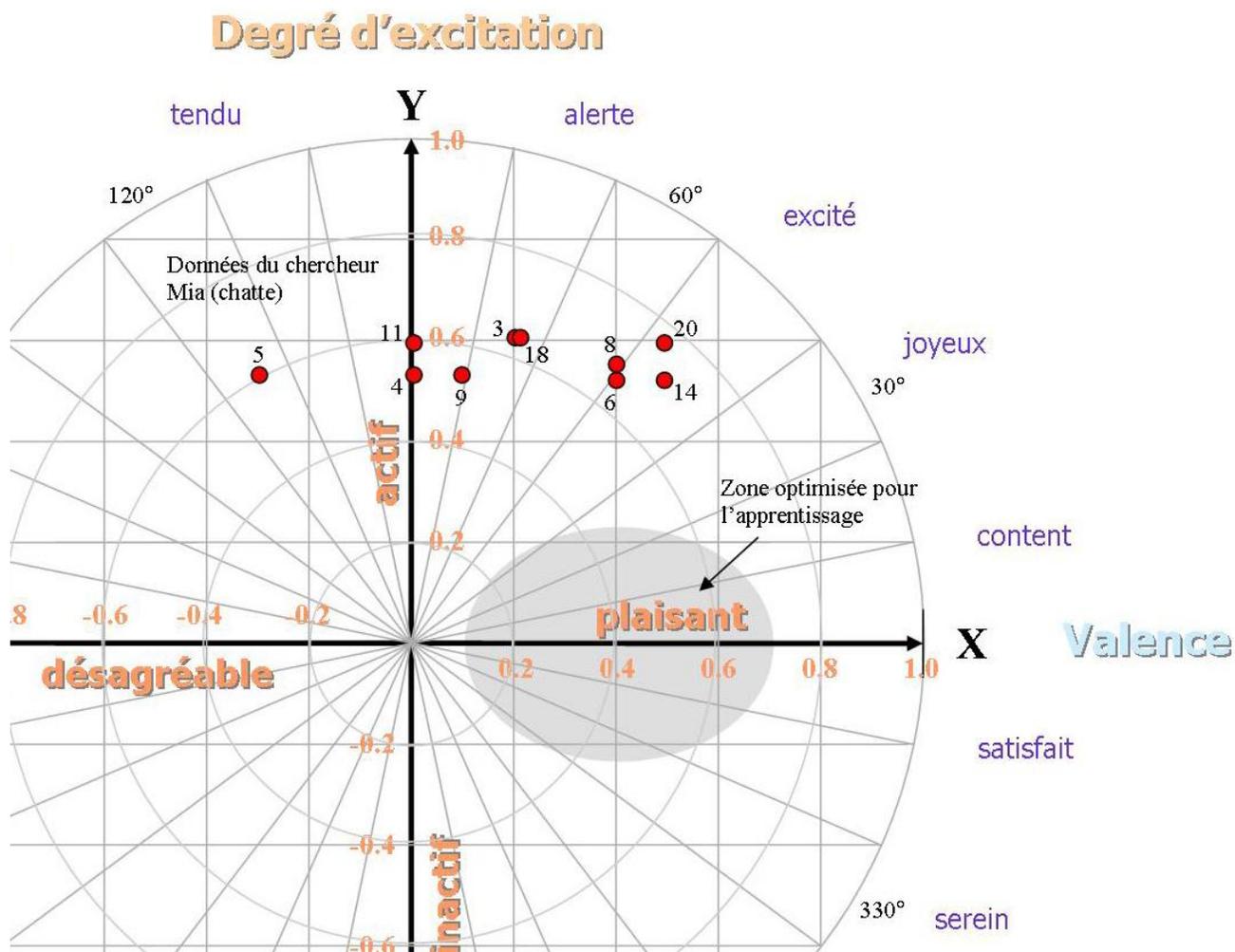
(le nombre correspond à l'élève interviewé - voir annexes 4 et 5)

Annexe 24. Données de biométrie des apprenants lorsque interviewés par le chercheur avant d'être exposé à l'avatar Mia (chatte)

Intervieweur - **CHERCHEUR**

Groupe 6 – 9 ans

(termes polaires)



● Données du chercheur

(le nombre correspond à l'élève interviewé - voir annexes 4 et 5)

Annexe 25. Données de biométrie des apprenants lorsque interviewés par la représentation graphique (avatar) Mia (chatte)

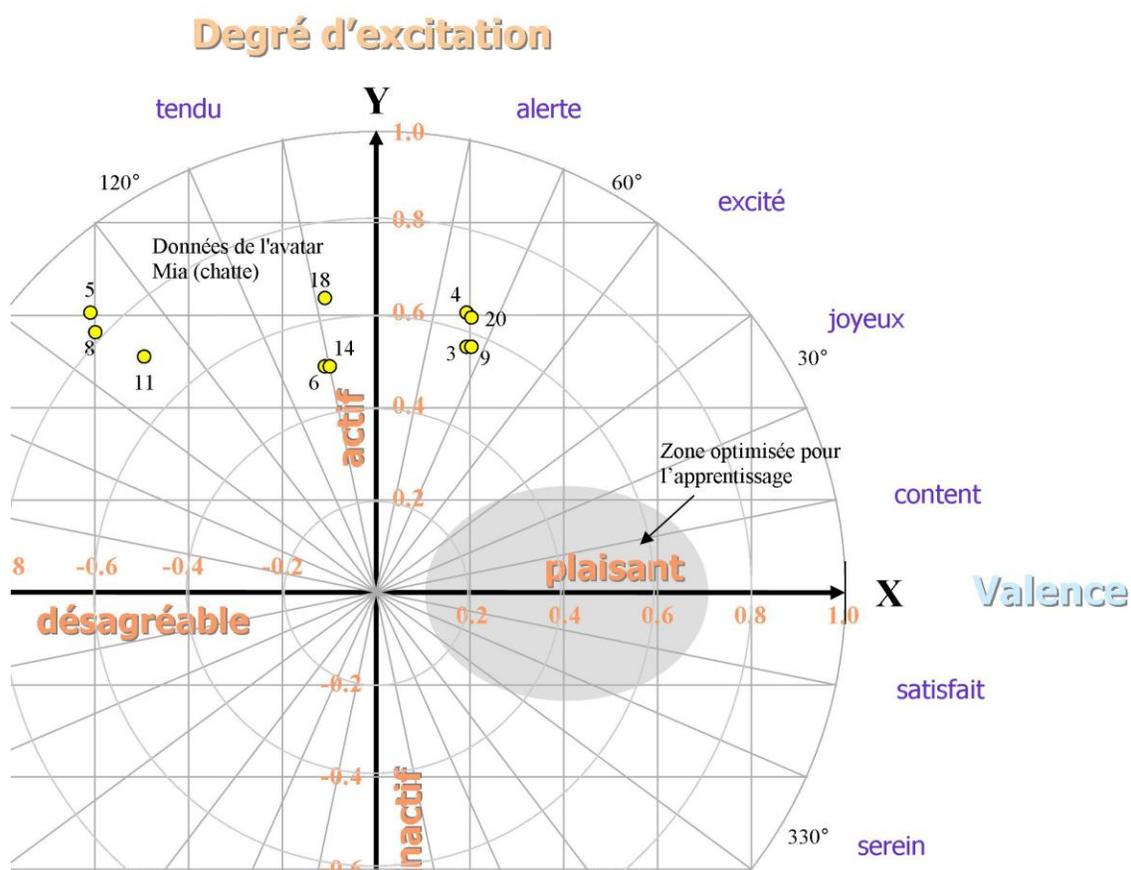
Avatar Mia (chatte)



Intervieweur - **AVATAR**

Groupe 6 – 9 ans

(termes polaires)



● Données de l'avatar

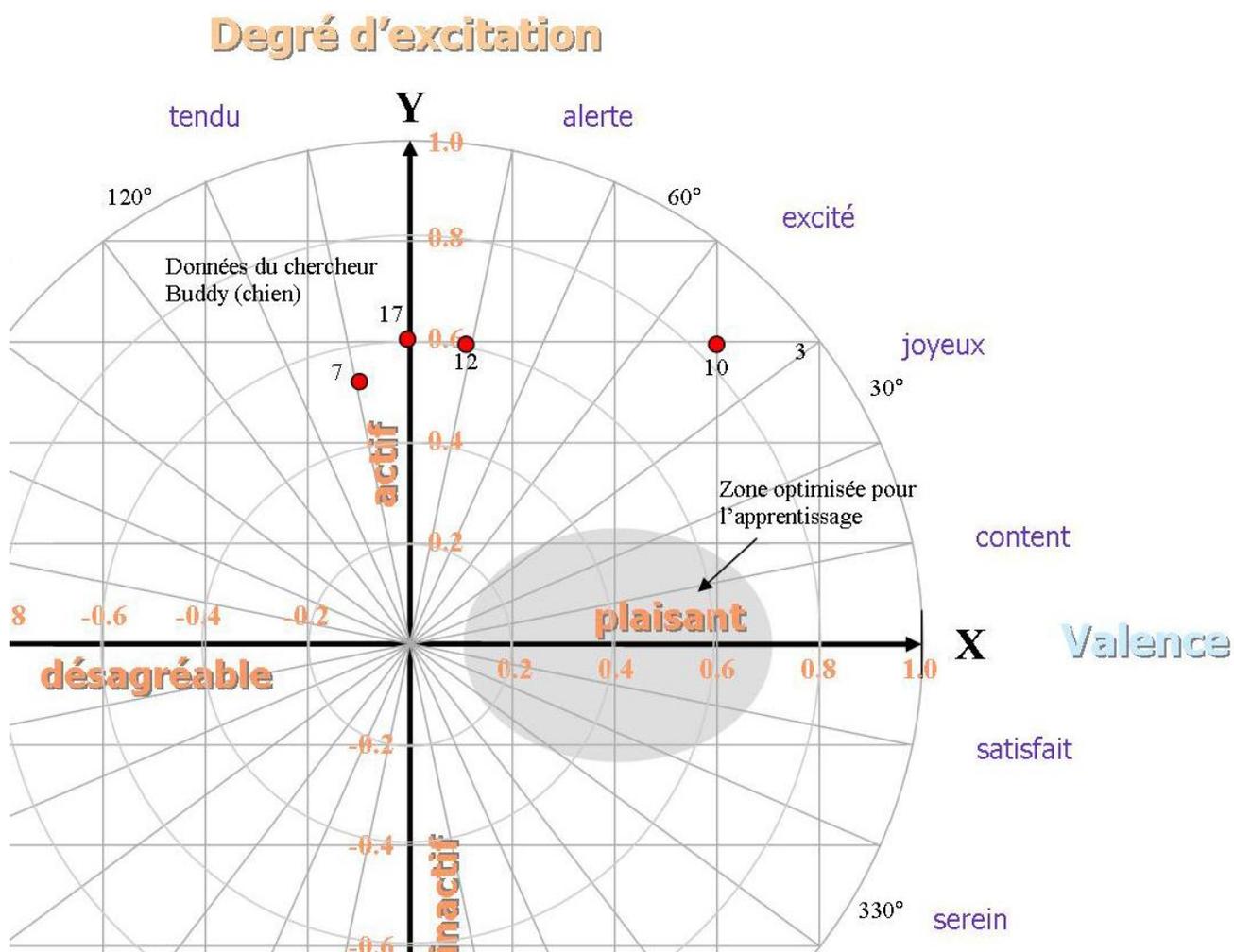
(le nombre correspond à l'élève interviewé - voir annexes 4 et 5)

Annexe 26. Données de biométrie des apprenants lorsque interviewés par le chercheur avant d'être exposé à l'avatar Buddy (chien)

Intervieweur - **CHERCHEUR**

Groupe 6 – 9 ans

(termes polaires)



● Données du chercheur

(le nombre correspond à l'élève interviewé - voir annexes 4 et 5)

Annexe 27. Données de biométrie des apprenants lorsque interviewés par la représentation graphique (avatar) Buddy (chien)

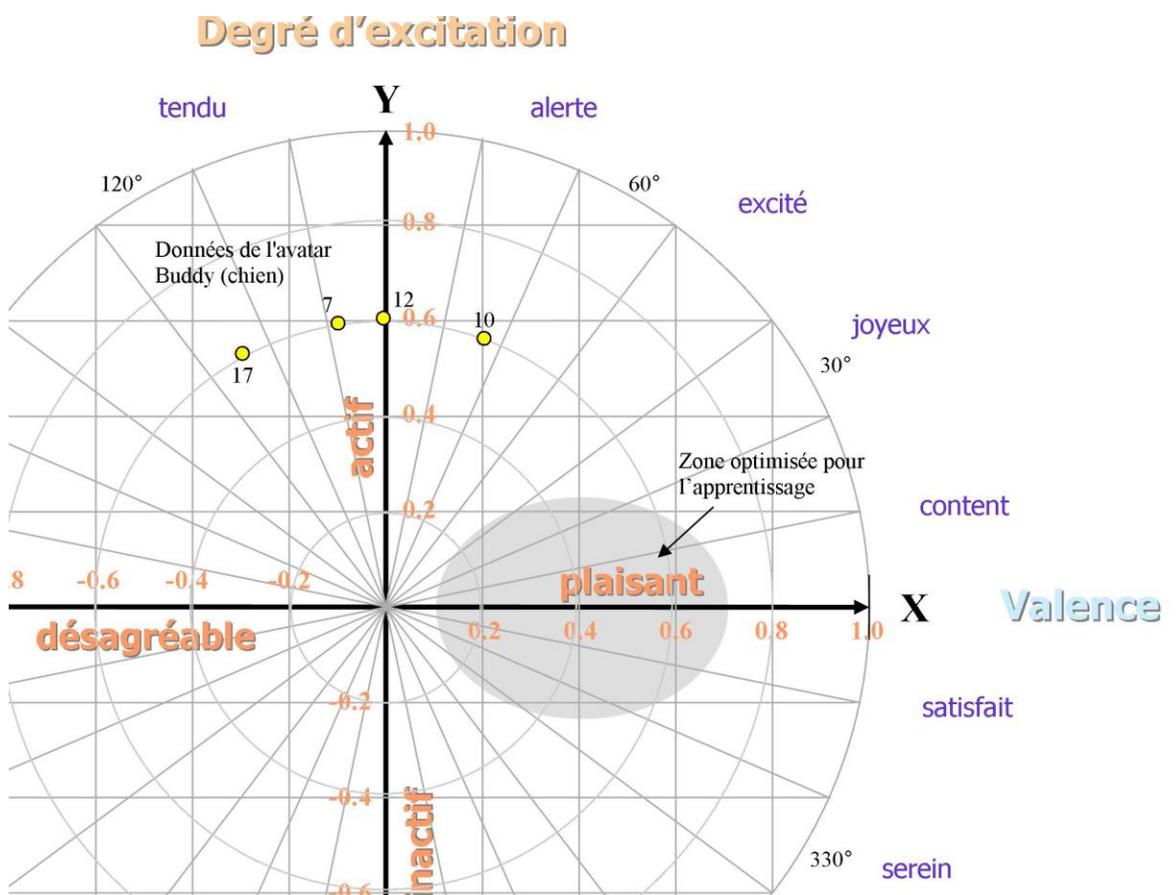
Avatar Buddy (chien)



Intervieweur - **AVATAR**

Groupe 6 – 9 ans

(termes polaires)



● Données de l'avatar

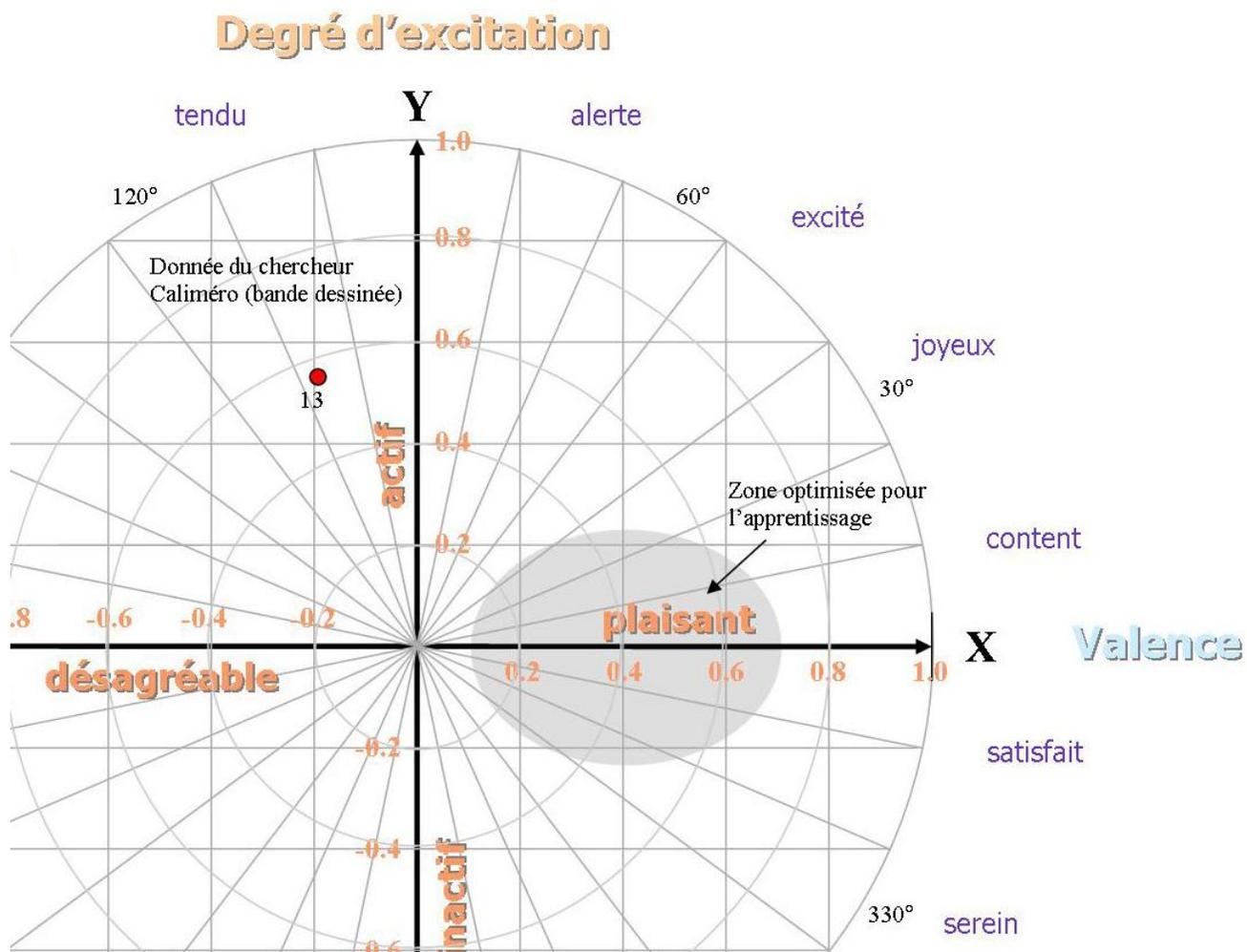
(le nombre correspond à l'élève interviewé - voir annexes 4 et 5)

Annexe 28. Données de biométrie de l'apprenant lorsque interviewé par le chercheur avant d'être exposé à l'avatar Caliméro (dessin animé)

Intervieweur - **CHERCHEUR**

Groupe 6 – 9 ans

(termes polaires)



● Donnée du chercheur

(le nombre correspond à l'élève interviewé - voir annexes 4 et 5)

Annexe 29. Données de biométrie de l'apprenant lorsque interviewé par la représentation graphique (avatar) Caliméro (dessin animé)

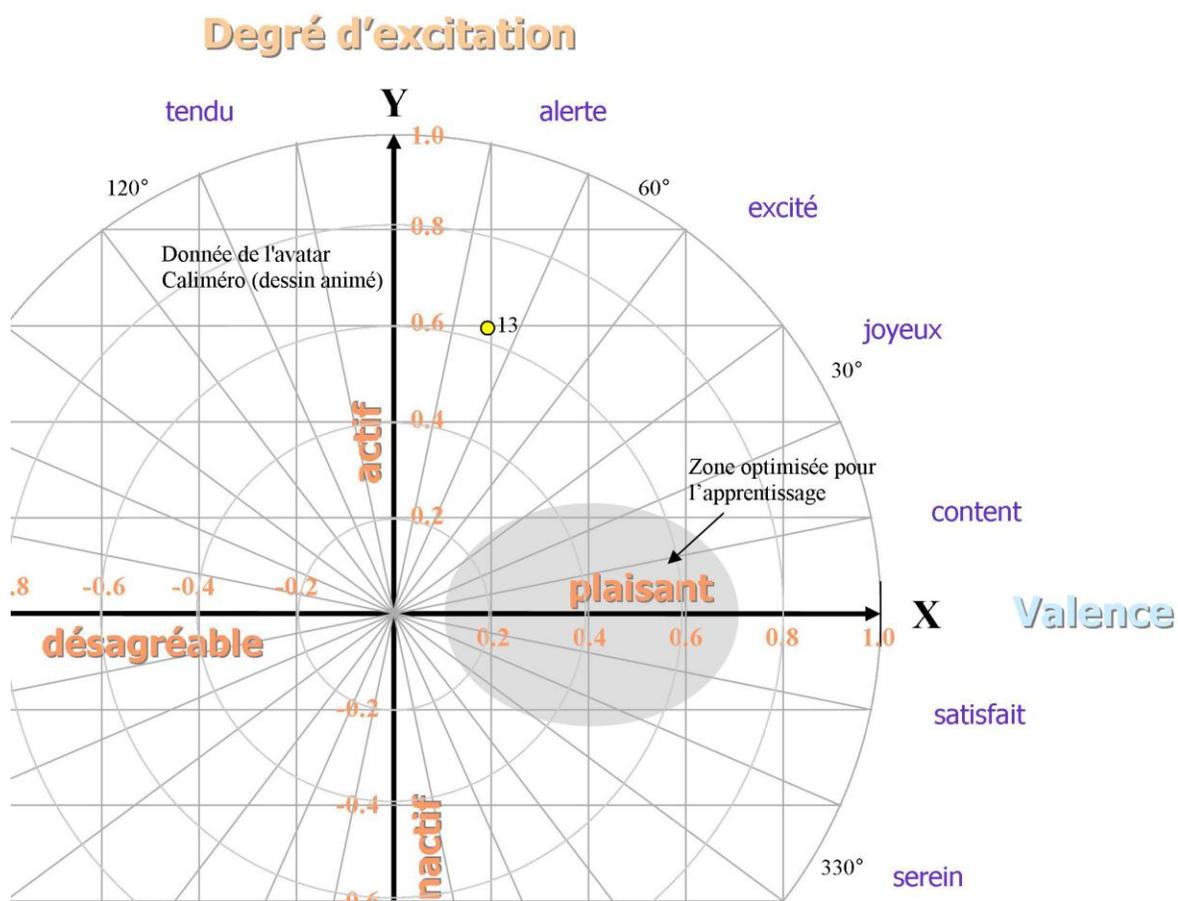
Avatar Caliméro (dessin animé)



Intervieweur - **AVATAR**

Groupe 6 – 9 ans

(termes polaires)



● Donnée de l'avatar

(le nombre correspond à l'élève interviewé - voir annexes 4 et 5)

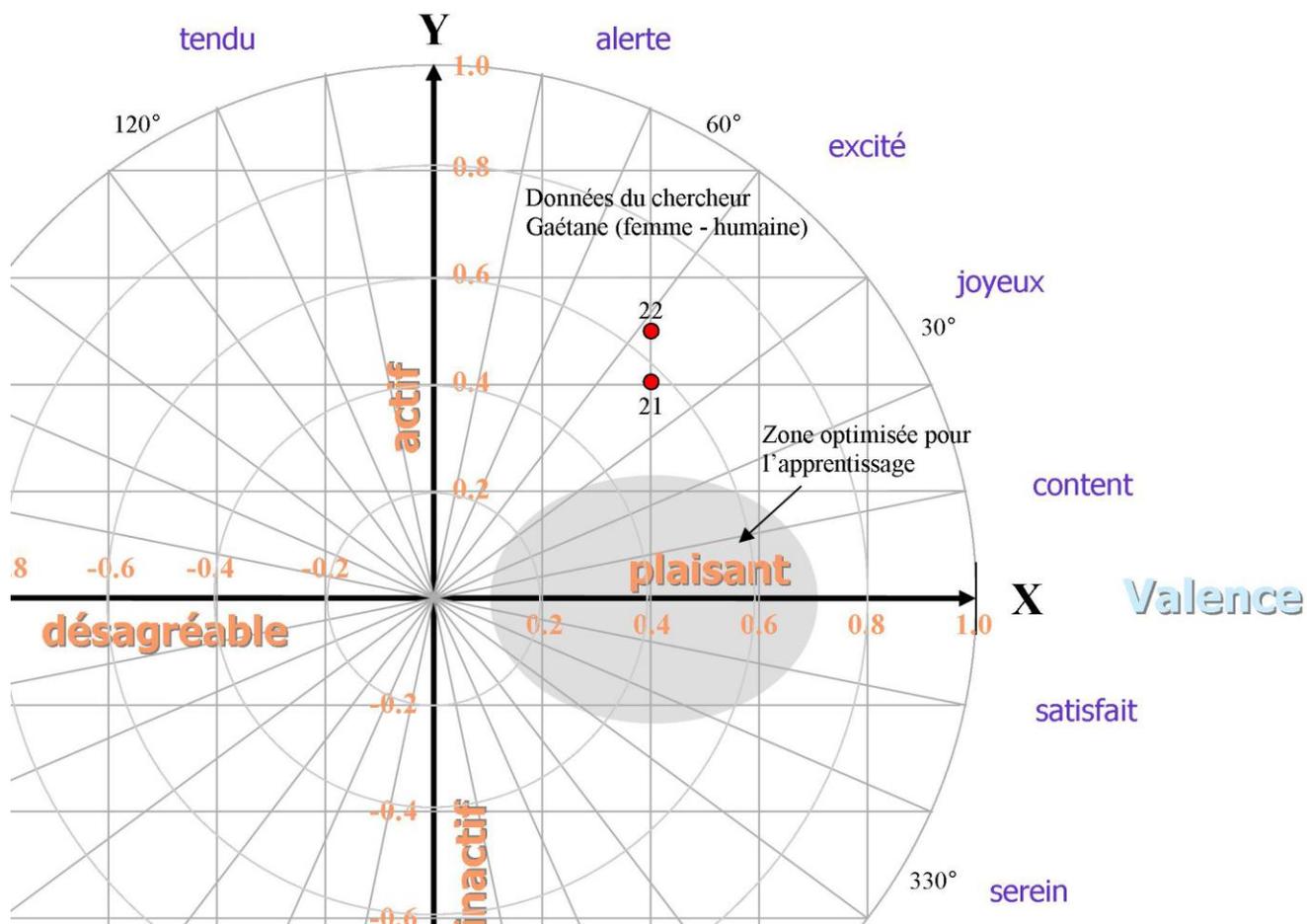
Annexe 30. Données de biométrie des apprenants lorsque interviewés par le chercheur avant d'être exposé à l'avatar Gaétane (femme humaine)

Intervieweur - **CHERCHEUR**

Groupe 6 – 9 ans

(termes polaires)

Degré d'excitation



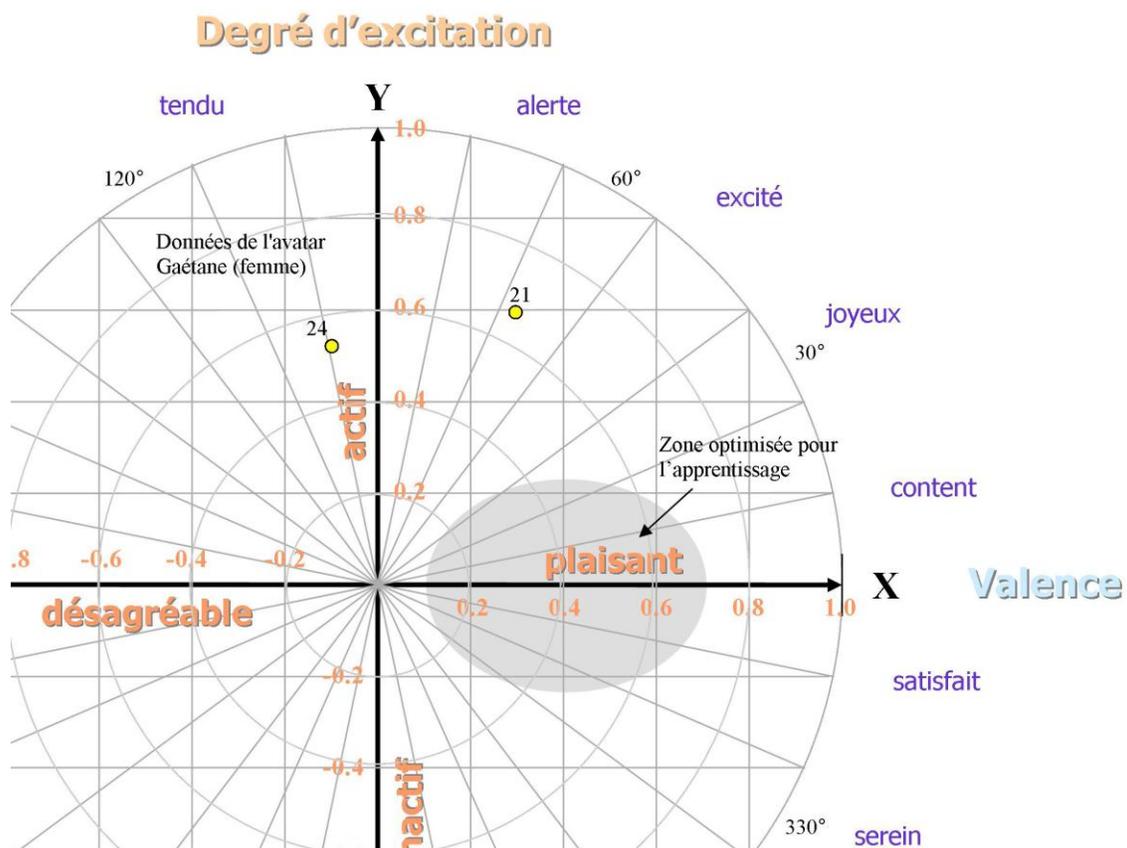
- Données du chercheur
(le nombre correspond à l'élève interviewé - voir annexes 4 et 5)

Annexe 31. Données de biométrie des apprenants lorsque interviewés par la représentation graphique (avatar) Gaétane (femme humaine)

Avatar Gaétane (femme humaine)



Intervieweur - **AVATAR**
Groupe 6 – 9 ans
(termes polaires)



- Données de l'avatar
(le nombre correspond à l'élève interviewé - voir annexes 4 et 5)

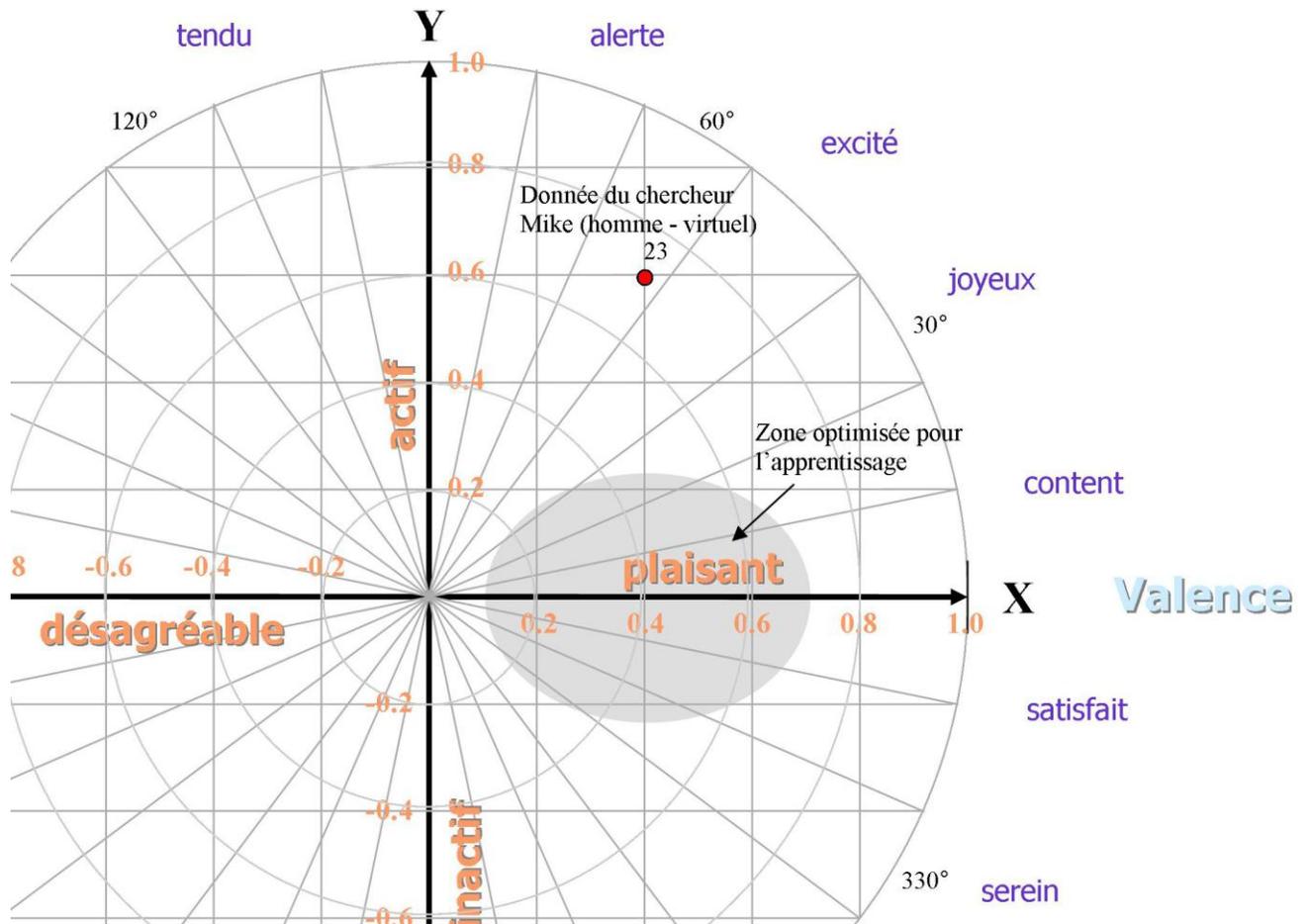
Annexe 32. Données de biométrie de l'apprenant lorsque interviewé par le chercheur avant d'être exposé à l'avatar Mike (homme virtuel)

Intervieweur - **CHERCHEUR**

Groupe 6 – 9 ans

(termes polaires)

Degré d'excitation



● Donnée du chercheur

(le nombre correspond à l'élève interviewé - voir annexes 4 et 5)

Annexe 33. Données de biométrie de l'apprenant lorsque interviewé par la représentation graphique (avatar) Mike (homme virtuel)

Avatar Mike (homme virtuel)

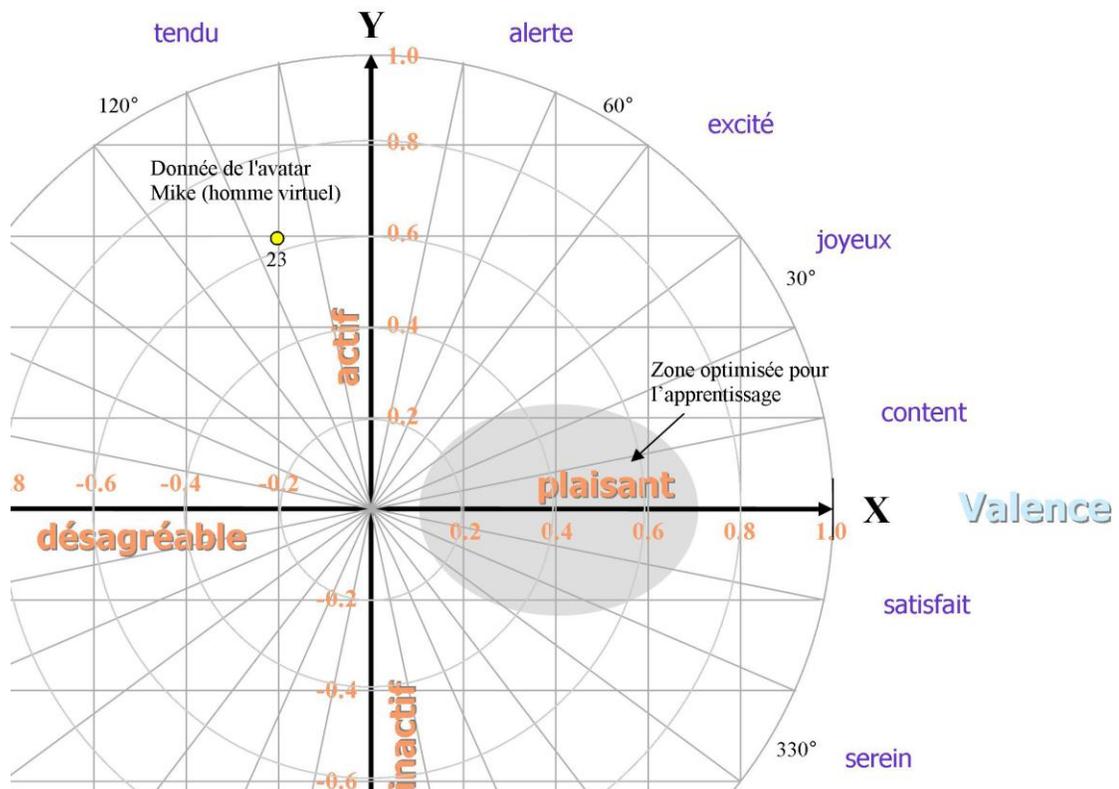


Intervieweur - **AVATAR**

Groupe 6 – 9 ans

(termes polaires)

Degré d'excitation



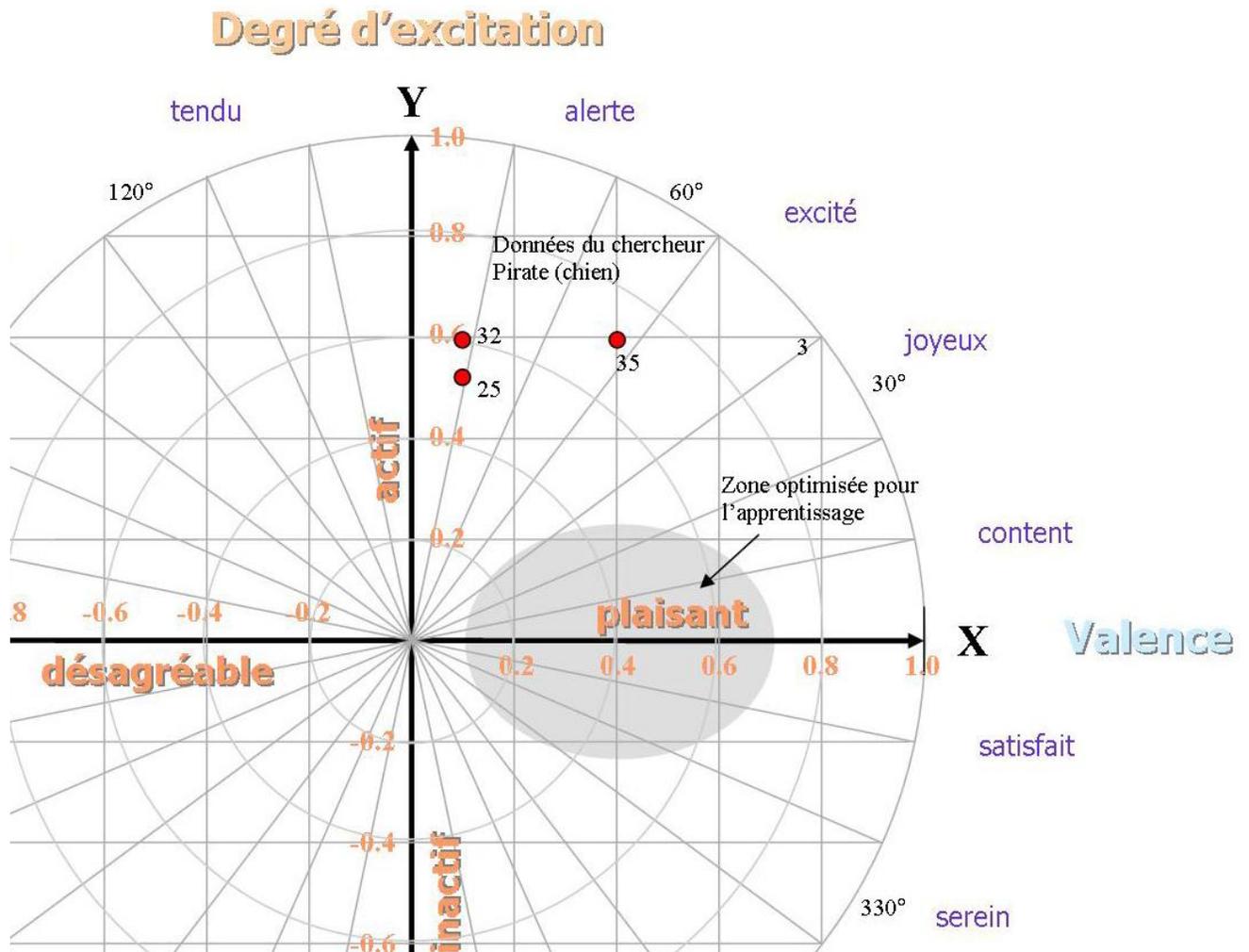
- Donnée de l'avatar
(le nombre correspond à l'élève interviewé - voir annexes 4 et 5)

Annexe 34. Données de biométrie des apprenants lorsque interviewés par le chercheur avant d'être exposé à l'avatar Pirate (chien)

Intervieweur - **CHERCHEUR**

Groupe 10 – 12 ans

(termes polaires)



● Données du chercheur

(le nombre correspond à l'élève interviewé - voir annexes 4 et 5)

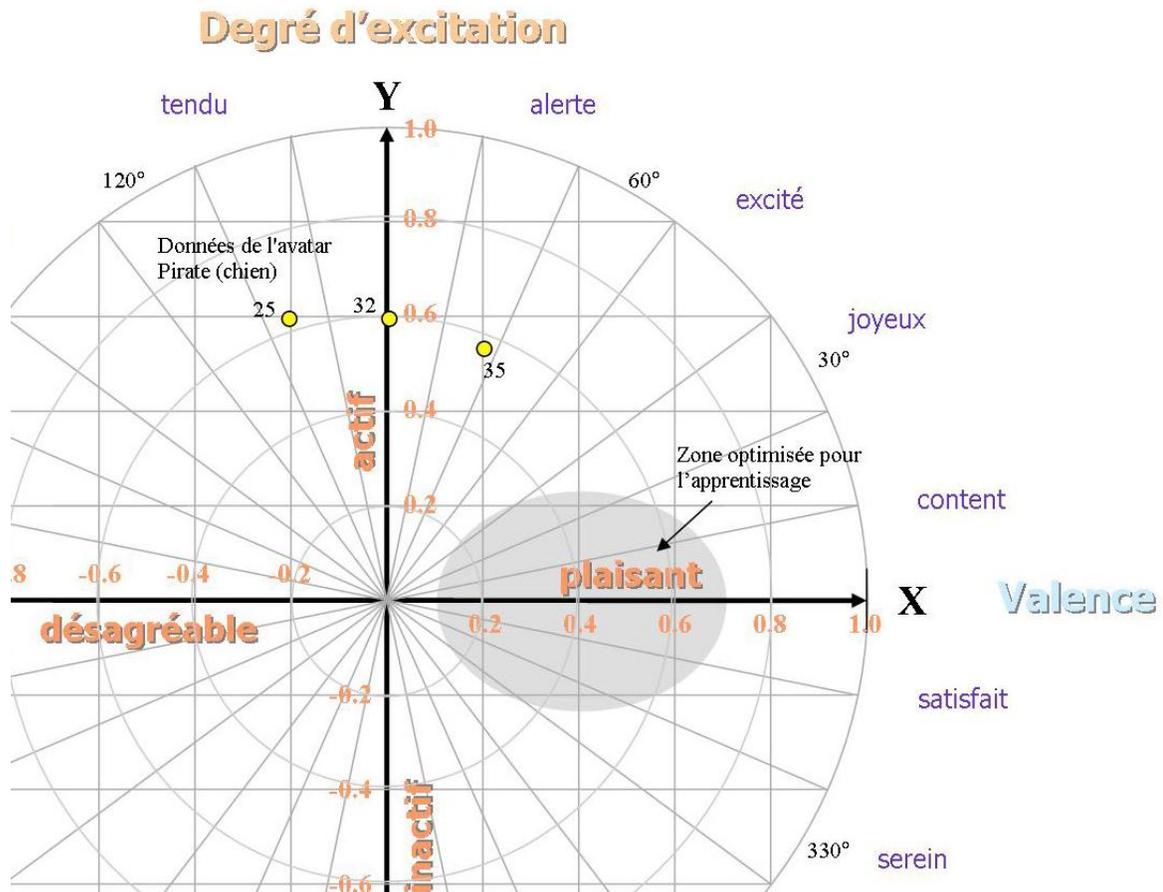
Annexe 35. Données de biométrie des apprenants lorsque interviewés par la représentation graphique (avatar) Pirate (chien)

Avatar Pirate (chien)



Intervieweur - **AVATAR**

Groupe 10 – 12 ans
(termes polaires)



● Données de l'avatar

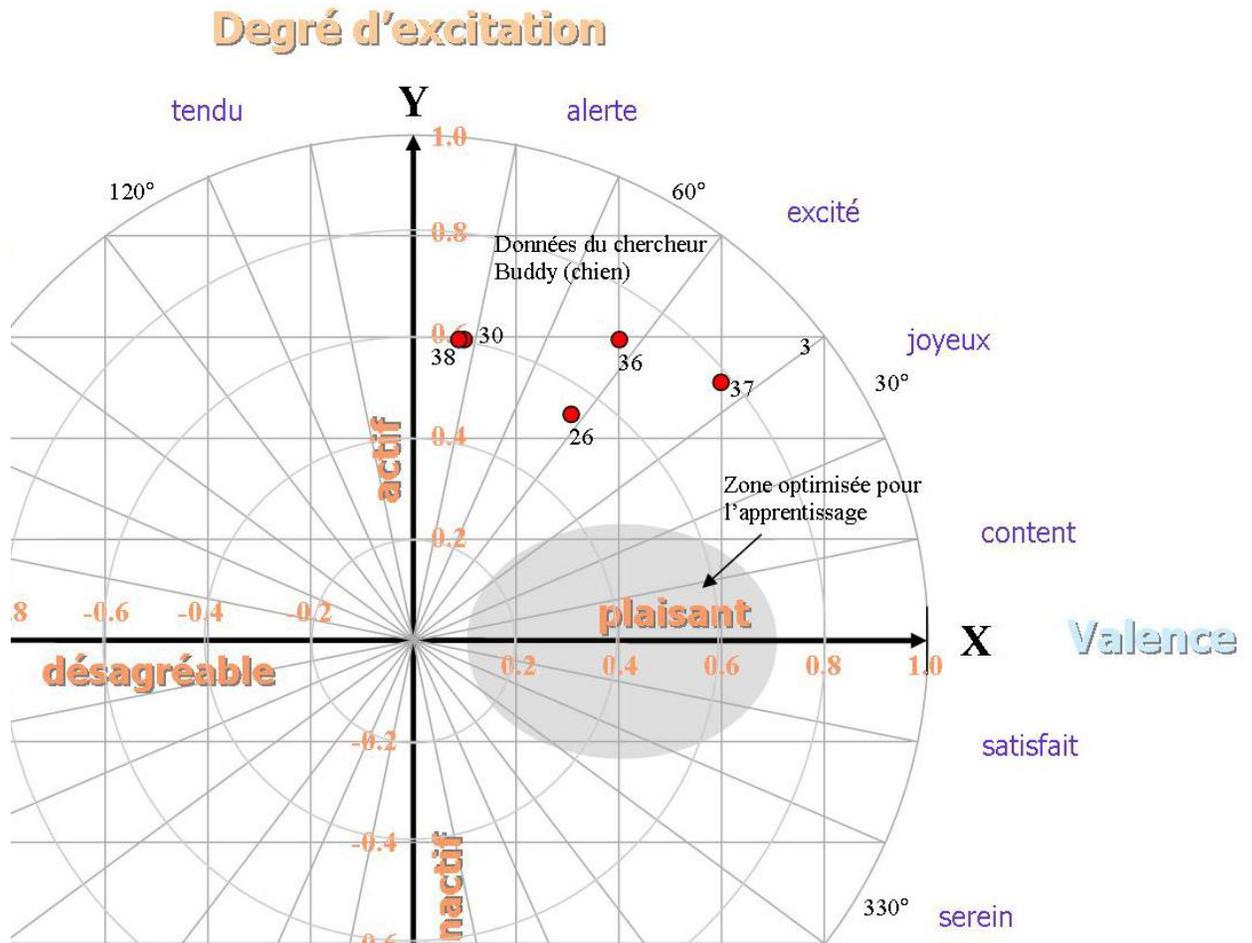
(le nombre correspond à l'élève interviewé - voir annexes 4 et 5)

Annexe 36. Données de biométrie des apprenants lorsque interviewés par le chercheur avant d'être exposé à l'avatar Buddy (chien)

Intervieweur - **CHERCHEUR**

Groupe 10 – 12 ans

(termes polaires)



● **Données du chercheur**

(le nombre correspond à l'élève interviewé - voir annexes 4 et 5)

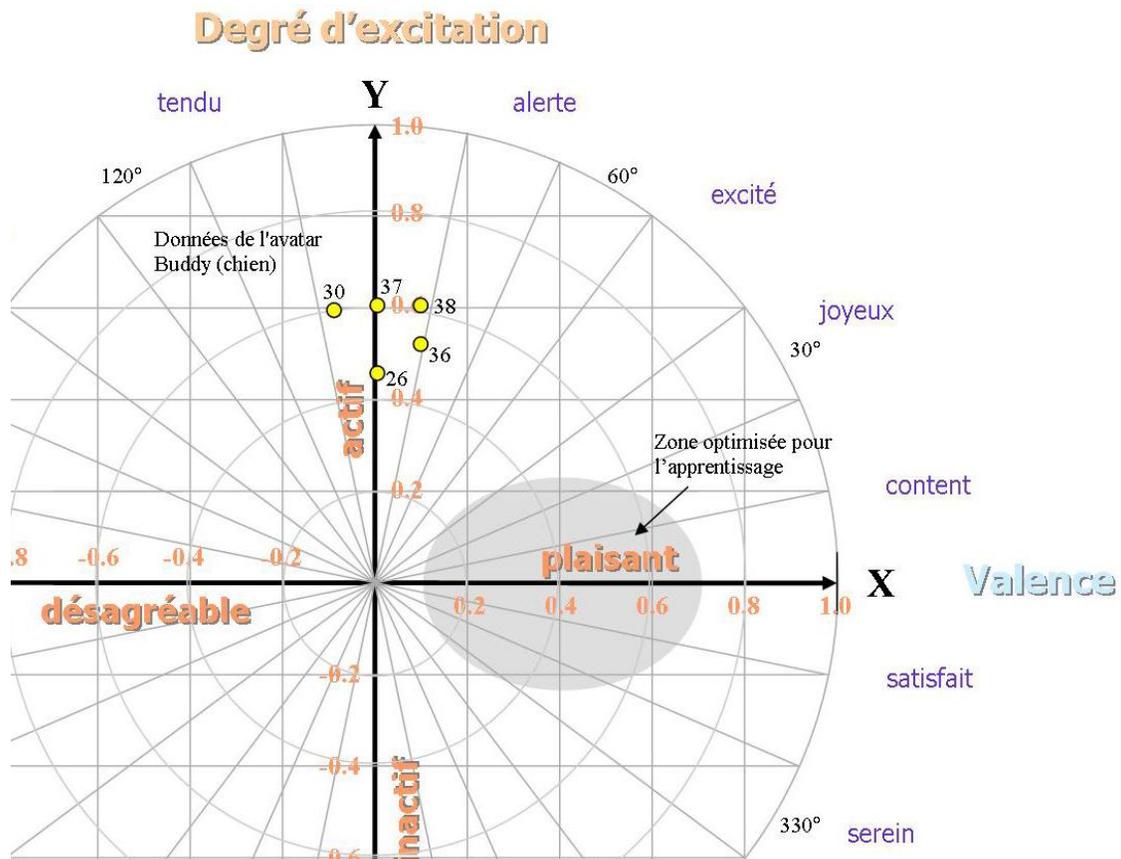
Annexe 37. Données de biométrie des apprenants lorsque interviewés par la représentation graphique (avatar) Buddy (chien)

Avatar Buddy (chien)



Intervieweur - **AVATAR**

Groupe 10 – 12 ans
(termes polaires)



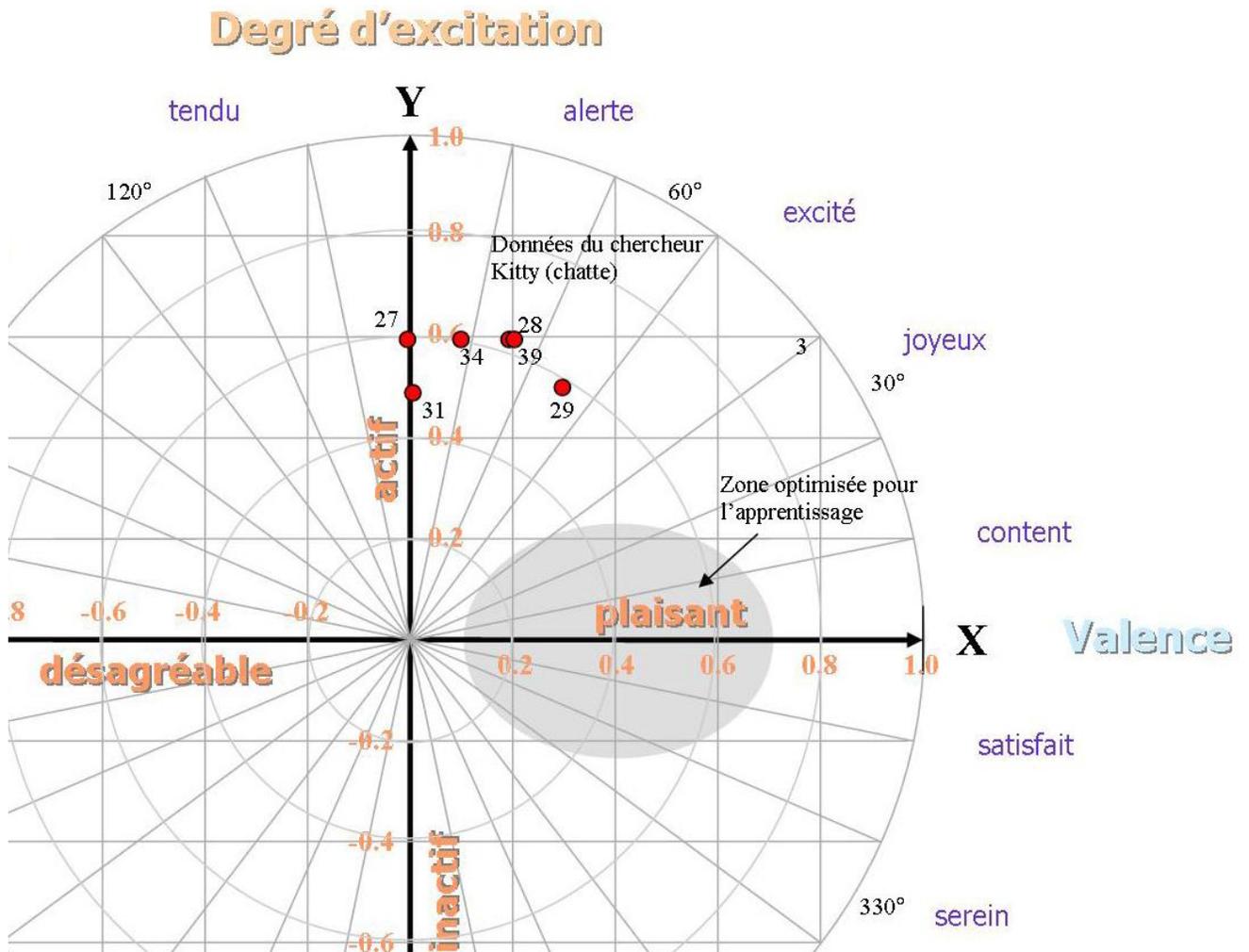
● Données de l'avatar
(le nombre correspond à l'élève interviewé - voir annexes 4 et 5)

Annexe 38. Données de biométrie des apprenants lorsque interviewés par le chercheur avant d'être exposé à l'avatar Kitty (chatte)

Intervieweur - **CHERCHEUR**

Groupe 10 – 12 ans

(termes polaires)



- **Données du chercheur**
(le nombre correspond à l'élève interviewé - voir annexes 4 et 5)

Annexe 39. Données de biométrie des apprenants lorsque interviewés par la représentation graphique (avatar) Kitty (chatte)

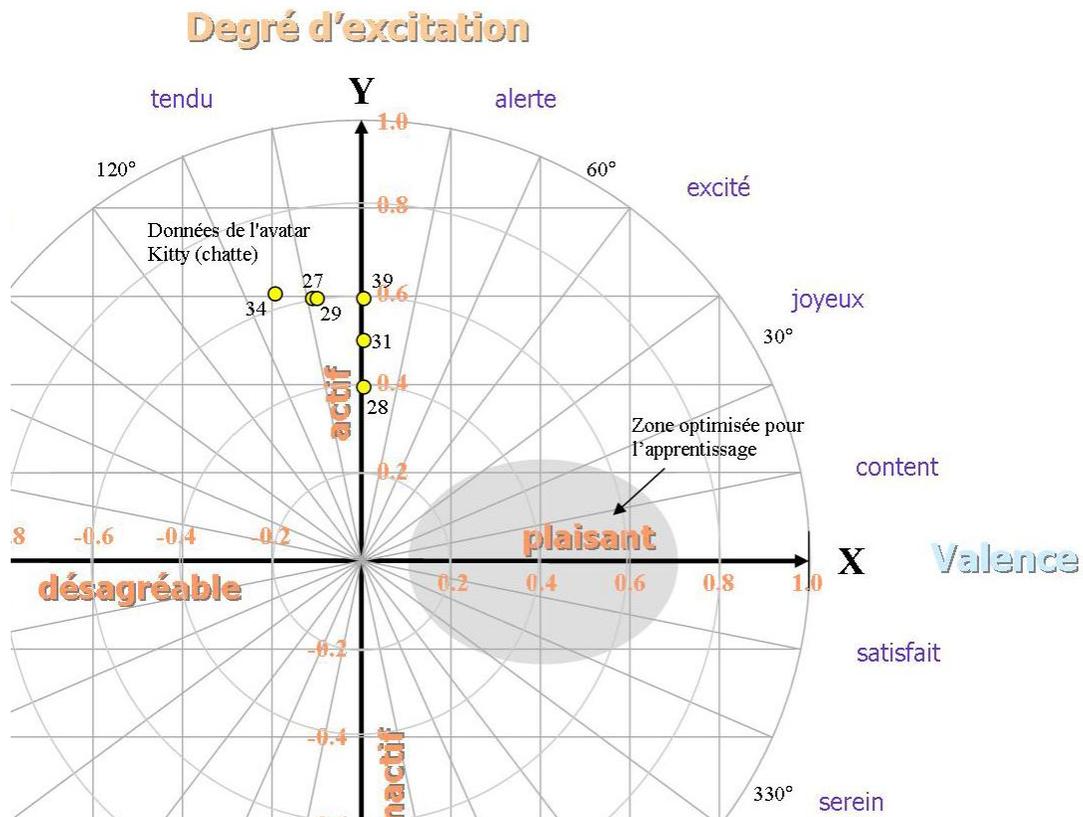
Avatar Kitty (chatte)



Intervieweur - **AVATAR**

Groupe 10 – 12 ans

(termes polaires)



● **Données de l'avatar**

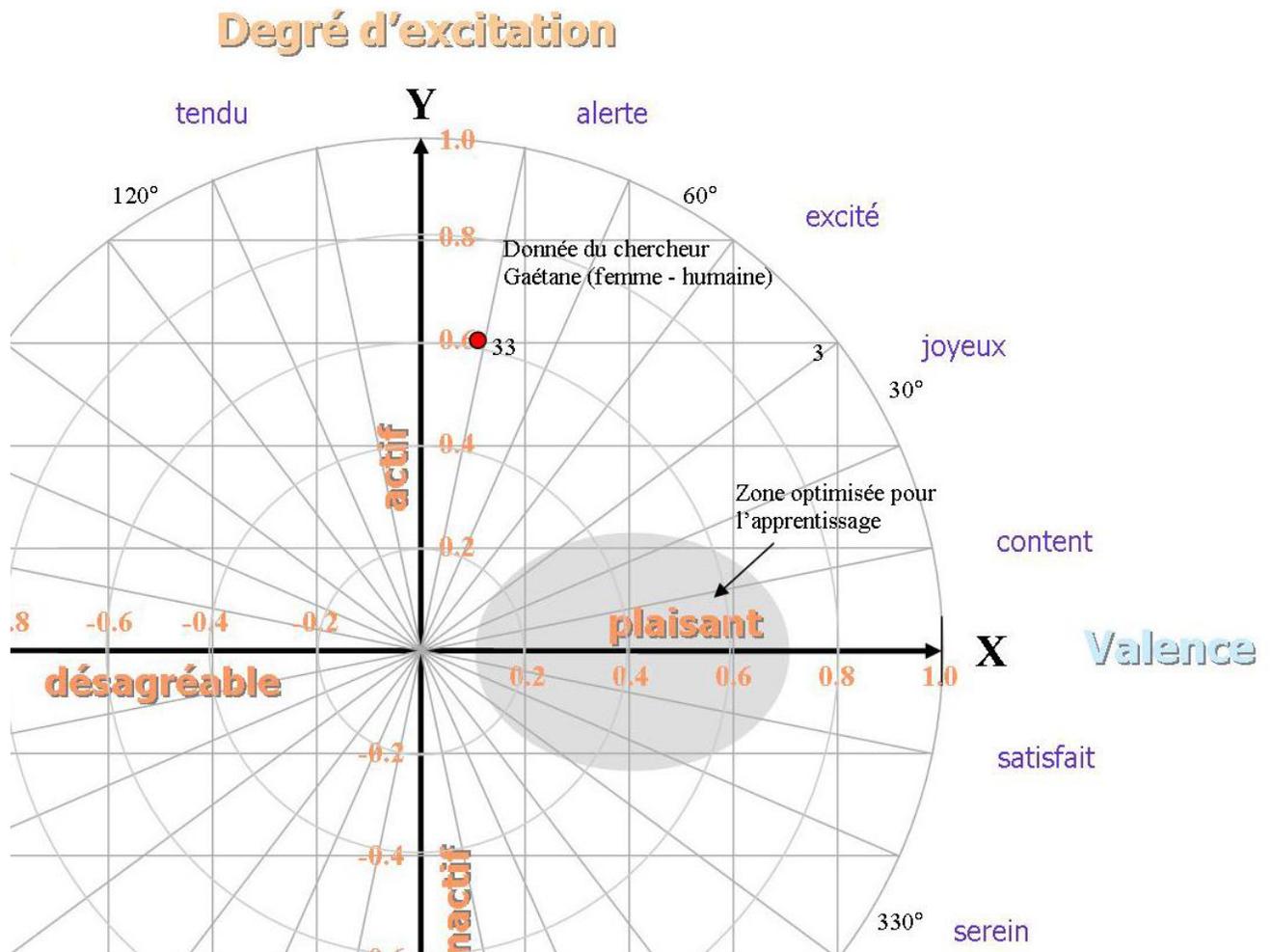
(le nombre correspond à l'élève interviewé - voir annexes 4 et 5)

Annexe 40. Données de biométrie de l'apprenant lorsque interviewé par le chercheur avant d'être exposé à l'avatar Gaétane (femme humaine)

*Intervieweur - **CHERCHEUR***

Groupe 10 – 12 ans

(termes polaires)



● Donnée du chercheur

(le nombre correspond à l'élève interviewé - voir annexes 4 et 5)

Annexe 41. Données de biométrie de l'apprenant lorsque interviewé par la représentation graphique (avatar) Gaétane (femme humaine)

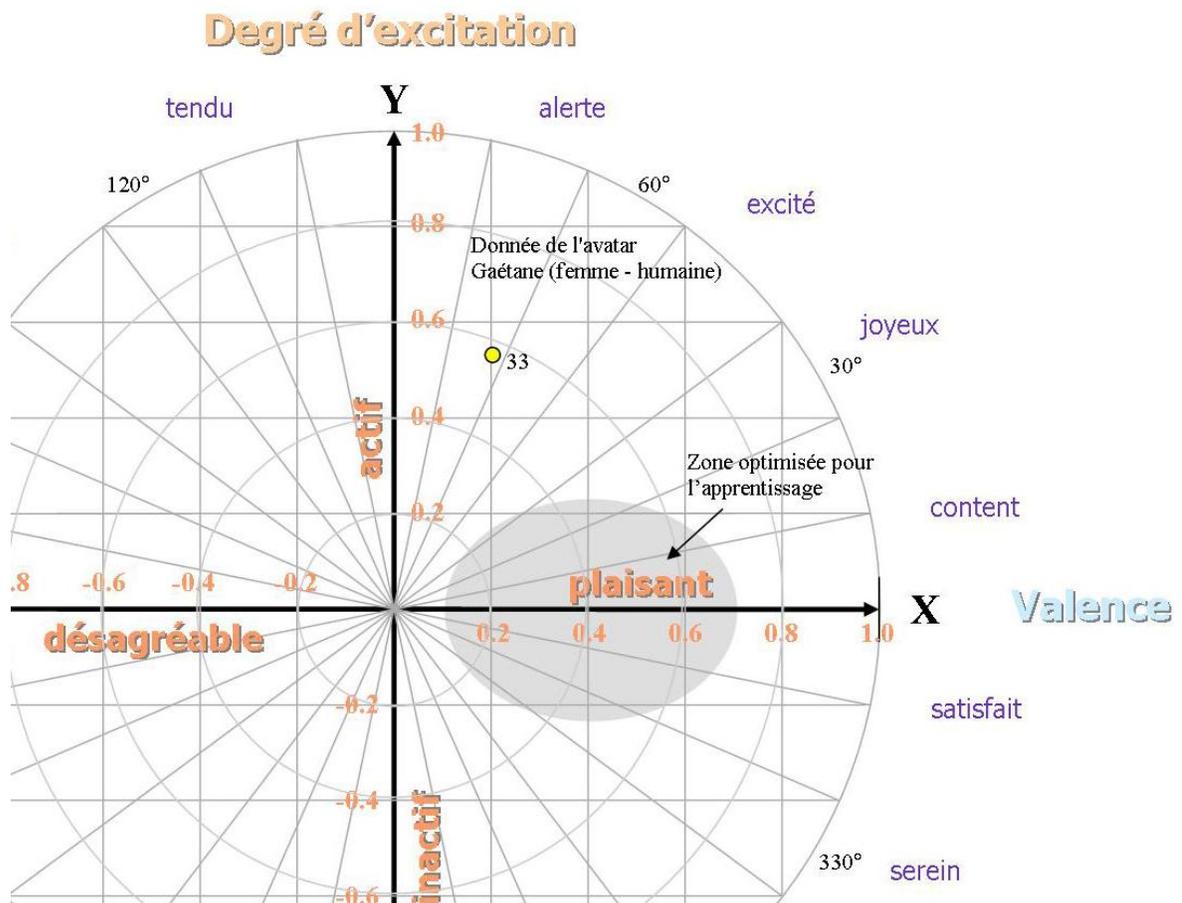
Avatar Gaétane (femme - humaine)



Intervieweur - **AVATAR**

Groupe 10 – 12 ans

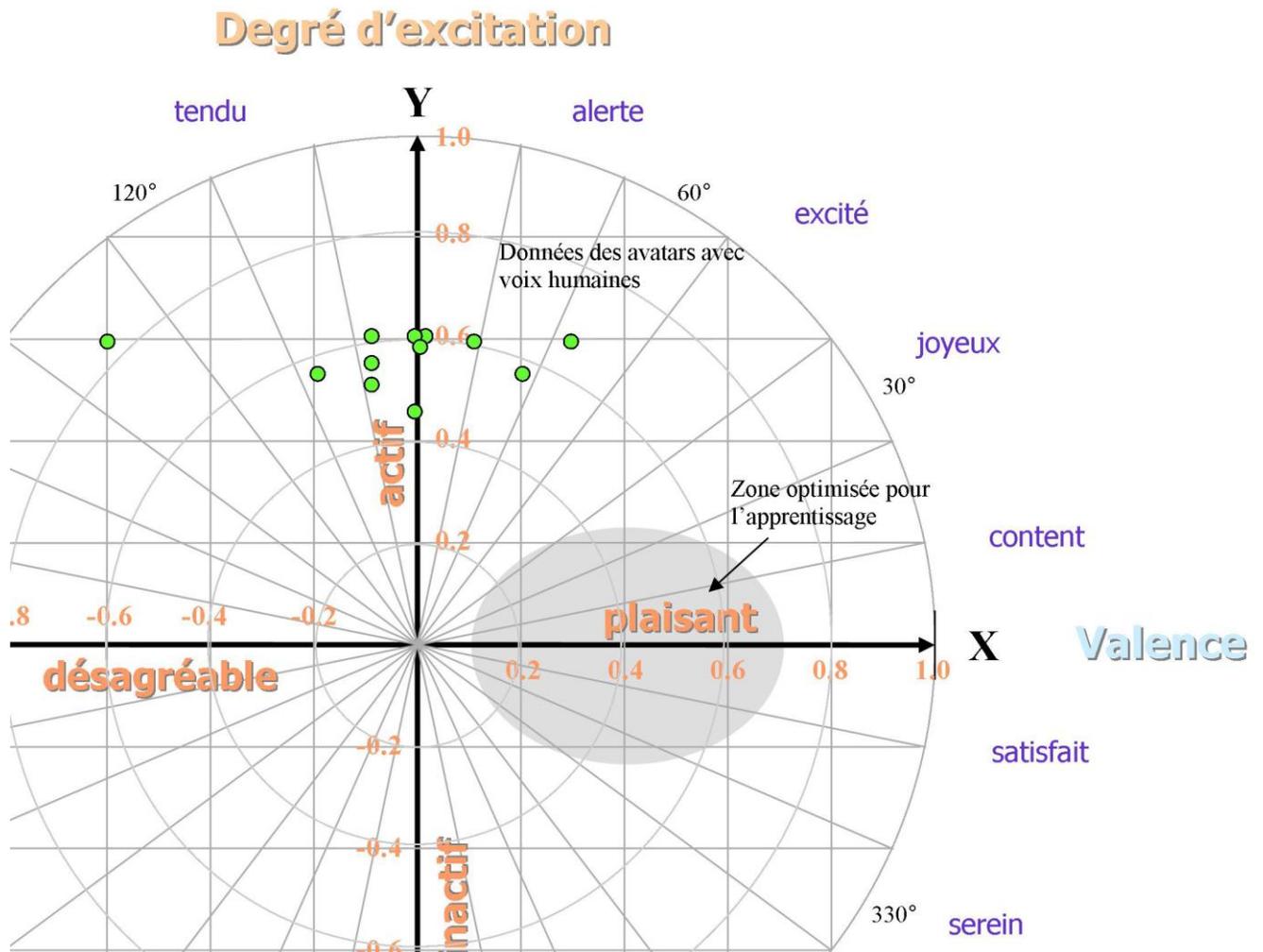
(termes polaires)



● Donnée de l'avatar

(le nombre correspond à l'élève interviewé - voir annexes 4 et 5)

Annexe 41. Données de biométrie des apprenants lorsque interviewés par les représentations graphiques (avatars) avec des voix humaines



Annexe 41. Données de biométrie des apprenants lorsque interviewés par les représentations graphiques (avatars) avec des voix synthétiques

