

Traitement d'information mono-source pour la validation objective d'un modèle d'anxiété : application au signal de pression sanguine volumique

Wahida Handouzi

▶ **To cite this version:**

Wahida Handouzi. Traitement d'information mono-source pour la validation objective d'un modèle d'anxiété : application au signal de pression sanguine volumique. Autre. Université de Lorraine, 2014. Français. NNT : 2014LORR0237 . tel-01751247

HAL Id: tel-01751247
https://hal.univ-lorraine.fr/tel-01751247

Submitted on 29 Mar 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4
Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10
http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php
http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm

Université de Lorraine

École doctorale IAEM Lorraine
Mention Automatique, Traitement du Signal et des Images, Génie Informatique

---

Thèse

Pour obtenir le grade de

Docteur de l'université de Lorraine

Spécialité Automatique, traitement du signal et des images, génie informatique

Présentée par

Wahida HANDOUZI

« Traitement d'information mono-source pour la validation objective d'un modèle d'anxiété *: Application au signal de pression sanguine volumique* »

Soutenue en public le 28/10/2014 devant la commission d'examen :

M. Jaime Lopez Krahe (Pr, université Paris 8)	Rapporteur
M. Dominique Du haut (Pr, université de Bretagne-Sud)	Rapporteur
M. Philippe Gaussier (Pr, université de Cergy Pontoise)	Examinateur
M. Imed Kacem (Pr, université de Lorraine)	Examinateur
M. Alain Pruski (Pr, université de Lorraine)	Directeur de thèse
Mme. Choubeila Maaoui (Mcf, université de Lorraine)	Co-directrice de thèse

---

Laboratoire de Conception, Optimisation et Modélisation des Systèmes (LCOMS).

Dédicaces

« À mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, que dieu te garde dans son vaste paradis, à toi mon père. »

« À la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur ; ma mère que j'adore. »

« Aux personnes dont j'ai bien aimé la présence dans ce jour, à tous mes frères « Fethi, Zoheyr, Seyf Eddine», mes sœurs « Nadjah Salem, Fatima Zohra » et belles sœurs « Hassina et Soumia » je dédie ce travail dont le grand plaisir leur revient en premier lieu pour leurs conseils, aides, et encouragements. »

Remerciements

Tout d'abord, je remercie le bon dieu le tout puissant de m'avoir donné le courage et la santé pour finir ce travail de thèse.

Je tiens à remercier M. Alain Pruski, Professeur à l'université de Lorraine, qui m'a encadré avec beaucoup d'efficacité et a été la source de précieux conseils et encouragements.

Mes remerciements s'adressent aussi à Mme Choubeila Maaoui, maître de conférences à l'université de Lorraine pour sa précieuse aide apportée lors de l'encadrement de ma thèse et son encouragement.

Merci à Mouna BENDIOUIS, psychologue de la clinique de psychiatrie « BENDIOUIS », pour tous les échanges intéressants que l'on a eu, pour avoir utilisé mon système au cours de ses expériences cliniques.

Je remercie l'ensemble des membres du jury qui m'ont fait l'honneur d'accepter de lire et d'évaluer ce mémoire : M. Jaime Lopez Krahe (professeur des universités, rapporteur), M. Dominique Duahut (professeur des universités, rapporteur), M. Philippe Gaussier (professeur des universités, examinateur et président du jury) et enfin M. Imed Kacem (Professeur des universités, examinateur).

Effectuer une thèse de doctorat est un travail qui comporte de bons côtés comme l'apprentissage de nouveaux concepts, la découverte permanente, mais aussi des moments plus difficiles. Afin de surmonter ces derniers, le soutien des personnes qui vous entourent est indispensable. J'ai eu la chance d'avoir bénéficier de cet appui et c'est avec gratitude que je m'adresse à M. Abdelhak Moussaoui pour le remercier pour son encouragement et son aide précieuse sur le plan professionnel et personnel.

Toute mon attention se porte vers les membres du laboratoire LCOMS avec qui j'ai collaboré ces dernières années. Merci à Frédéric Boussefsaf, Mohamed Badèche, Alexandre Humbert, David de Souza Camelo, Damien Lupo et Hugo. Merci Siavash Atarodi pour son soutien ainsi que pour son amitié, à Lucas Cicero pour les nombreuses pauses café intellectuelles, pour son aide, nos discussions et son amitié. J'ai également eu beaucoup de plaisir à travailler avec M. Nouredine Zejli, merci pour son accueil.

Spécial merci à Pascal Bellier et Maria-Rita Papotto pour leur bonne humeur et encouragements. Je remercie aussi toute personne qui a accepté d'effectuer des expériences lors de ce travail de thèse.

Merci à mes amis Amina, Djawida, Dahbia, Gabiriela, Hayet, Sarah, Wafa, Alaa eddine, Boumediene, Bilal, Mouhamed, Hicham, Hakim, et Marco Antonio.

Merci à tous les membres de ma famille pour leur soutien sans limite et leurs encouragements.

Résumé

La détection et l'évaluation des émotions sont des domaines qui suscitent un grand intérêt par de nombreuses communautés tant au niveau des sciences humaines que des sciences exactes. Dans cette thèse nous nous intéressons à la reconnaissance de l'anxiété sociale qui est une peur irrationnelle ressentie par une personne lors de toute forme de relation sociale. L'anxiété peut être révélée par un ensemble de traits physiques et physiologiques tels que l'intonation de la voix, les mimiques faciales, l'augmentation du rythme cardiaque, le rougissement… etc. L'avantage de l'utilisation des mesures physiologiques est que les individus ne peuvent pas les manipuler, c'est une source continue de données et chaque émotion est caractérisée par une variation physiologique particulière.

Dans ce travail, nous proposons un système de mesure d'anxiété basé sur l'utilisation d'un seul signal physiologique « signal de pression sanguine volumique (Blood volume pulse BVP) ». Le choix d'un seul capteur limite la gêne des sujets due au nombre de capteurs. De ce signal nous avons sélectionné des paramètres pertinents représentant au mieux les relations étroites du signal BVP avec le processus émotionnel de l'anxiété. Cet ensemble de paramètres est classé en utilisant les séparateurs à vastes marges SVM.

Les travaux engagés dans le domaine de la reconnaissance des émotions utilisent fréquemment, pour support d'information, des données peu fiables ne correspondant pas toujours aux situations envisagées. Ce manque de fiabilité peut être dû à plusieurs paramètres parmi eux la subjectivité de la méthode d'évaluation utilisée (questionnaire, autoévaluation des sujets, …etc.). Nous avons développé une approche d'évaluation objective des données basée sur les dynamiques des paramètres sélectionnés. La base de données utilisée a été enregistrée dans notre laboratoire dans des conditions réelles acquises sur des sujets présentant un niveau d'anxiété face aux situations sociales et qui ne sont pas sous traitement psychologique. L'inducteur utilisé est l'exposition à des environnements virtuels représentant quelques situations sociales redoutées.

L'étape d'évaluation, nous a permis d'obtenir un modèle de données fiable pour la reconnaissance de deux niveaux d'anxiété. Ce modèle a été testé dans une clinique

spécialisée dans les thérapies cognitives comportementales (TCC) sur des sujets phobiques. Les résultats obtenus mettent en lumière la fiabilité du modèle construit notamment pour la reconnaissance des niveaux d'anxiété sur des sujets sains ou sur des sujets phobiques ce qui constitue une solution au manque de données dont souffrent les différents domaines de reconnaissances.

Mots-clés

Reconnaissance de l'anxiété, traitement du signal, évaluation des données, signal de pression sanguine volumique, Sélection des paramètres, Réalité virtuelle.

Abstract

Detection and evaluation of emotions are areas of great interest in many communities both in terms of human and exact sciences. In this thesis we focus on social anxiety recognition, which is an irrational fear felt by a person during any form of social relationship. Anxiety can be revealed by a set of physical and physiological traits such as tone of voice, facial expressions, increased heart rate, flushing ... etc. The interest to the physiological measures is motivated by them robustness to avoid the artifacts created by human social masking, they are a continuous source of data and each emotion is characterized by a particular physiological variation.

In this work, we propose a measurement system based on the use of a single physiological signal "Blood volume pulse BVP". The use of a single sensor limits the subjects' discomfort. From the BVP signal we selected three relevant features which best represents the close relationship between this signal and anxiety status. This features set is classified using support vector machine SVM.

The work undertaken in the field of emotion recognition frequently use, for information support, unreliable data do not always correspond to the situations envisaged. This lack of reliability may be due to several parameters among them the subjectivity of the evaluation method used (self-evaluation questionnaire, subjects…etc.). We have developed an approach to objective assessment of data based on the dynamics of selected features. The used database was recorded in our laboratory under real conditions acquired in subjects with a level of anxiety during social situations and who are not under psychological treatment. The used stimulus is the exposition to virtual environments representing some feared social situations.

After the evaluation stage, we obtained a reliable model for the recognition of two levels of anxiety. The latter was tested in a clinic specializing in cognitive behavioral therapy (CBT) on phobic subjects. The results highlight the reliability of the built model specifically

for the recognition of anxiety levels in healthy subjects or of phobic subjects, what constitutes a solution to the lack of data affecting different areas of recognition.

Keywords

Anxiety recognition, signal processing, data evaluation, blood volume pulse signal, features selection, virtual reality.

Productions scientifiques

- Articles de revues
  - W. Handouzi, C. Maaoui, A. Pruski and A. Moussaoui 2014. “Objective Model Assessment for Short-Term Anxiety Recognition from Blood Volume Pulse Signal.” *Biomedical Signal Processing and Control, volume* 14 (November): 217–27. doi:10.1016/j.bspc.2014.07.008.
  - W. Handouzi, C. Maaoui, A. Pruski and A. Moussaoui 2014, “Anxiety recognition using relevant features from BVP signal: Application on phobic individuals”. *AMSE (association for modelling and simulation in enterprise)*. Accepté.
  - W. Handouzi, C. Maaoui, A. Pruski, A. Moussaoui, Y. Bendiouis, 2013. « Contribution à la mesure de l'anxiété chez les personnes phobiques induite par environnements virtuels anxiogènes ». *Sciences et Technologies pour le Handicap (STH).* VOL 5/1 – 2013, pp.65-79, http://sth.revuesonline.com/article.jsp?articleId=18171.
- Conférences et congrès
  - Wahida Handouzi, Choubeila Maaoui, Alain Pruski and Abdelhak Moussaoui, 2014. « Validation objective d’un modèle d’anxiété par le traitement du signal de pression sanguine volumique. » *Handicap 2014 : 8ème congrès sur les aides techniques pour les personnes handicapées*. Paris 11-13 juin 2014, pp. 100-104. ISBN 978-2-9536899-4-5.
  - W. Handouzi, C. Maaoui, A. Pruski and A. Moussaoui. 2014. “Short-Term Anxiety Recognition from Blood Volume Pulse Signal.” In *Multi-Conference on Systems, Signals Devices (SSD), 2014 11th International*, 1–6. doi:10.1109/SSD.2014.6808747.
  - W. Handouzi, C. Maaoui, A. Pruski, A. Moussaoui and Y. Bendiouis. 2013. “Short-Term Anxiety Recognition Induced by Virtual Reality Exposure for Phobic People.” In 2013 *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)*, 3145–50. doi:10.1109/SMC.2013.536.
  - W. Handouzi, C. Maaoui, A. Pruski, A. Moussaoui 2013. « Construction d’une base de données fiable pour la reconnaissance à court terme de l’anxiété à partir du signal de pression sanguine volumique». *Colloque Jeunes Chercheuses Jeunes Chercheurs (JCJC) : Handicap, Vieillissement, Indépendance, Technologies,* Juin 2013, pp. 27-36. ISBN 978-2-9536899-3-8.
  - W. Handouzi, C. Maaoui, A. Pruski, A. Moussaoui, Y. Bendiouis. « Mesure de l'anxiété chez les personnes phobiques induite par environnements virtuels anxiogènes ». *7ème congrès sur les aides techniques pour les personnes handicapées, Handicap 2012*, Paris, 13-15 Juin 2012, pp. 184-189. ISBN 978-2-9536899-2-1.

Table des matières

Dédicaces ---- **iii**

Remerciements ---- **iv**

Résumé ---- **vi**

Mots-clés ---- **vii**

Abstract ---- **iv**

Keywords ---- **v**

Productions scientifiques ---- **vi**

Table des matières ---- **vii**

Liste des figures ---- **ix**

Liste des tableaux ---- **xi**

Acronymes et Notations ---- **xii**

Chapitre I: Introduction générale ---- **1**

I. 1. MOTIVATIONS ET OBJECTIVES ---- 2
I. 2. STRUCTURE DU DOCUMENT ---- 3

Chapitre II: Revue de la littérature ---- **4**

II. 1. INTRODUCTION ---- 4
II. 2. L'ANXIETE SOCIALE ---- 5
II. 2. 1 Traitements ---- *5*
II. 3. REALITE VIRTUELLE EN PSYCHOTHERAPIE ---- 7
II. 3.1 Réalité virtuelle ---- *7*
II. 3.2 Thérapie cognitive comportementale in virtuo ---- *8*
II. 3.3 Thérapie cognitive comportementale in virtuo pour la phobie sociale ---- *10*
II. 4. NOTIONS SUR LES EMOTIONS ---- 15
II. 4.1 . Modèles des émotions ---- *15*
II. 4.2 Composantes des émotions ---- *17*
II. 4.3 Définition de l'anxiété : ---- *23*
II. 5. INDUCTION DES EMOTIONS ---- 23
II. 6. MESURE ET RECONNAISSANCE DE L'ANXIETE ---- 25
II. 6. 1. Expressions faciales ---- *25*
II. 6. 2. Expressions vocales ---- *26*
II. 6. 3. Les expressions corporelles ---- *26*
II. 6. 4. Signaux physiologiques ---- *26*
II. 6. 5. Synthèse et discussions ---- *34*

Chapitre III: Méthodologie de travail ---- **38**

III. 1. INTRODUCTION ---- 38
III. 2. METHODOLOGIE ---- 39

III. 2.1 SELECTION DES SUJETS ---- 39
III. 2.2 . INDUCTION DES EMOTIONS ---- 41
III. 2.3 MESURE DE L'EMOTION ---- 45
III. 2.4 TRAITEMENT DES DONNEES ---- 47
III. 2. 4. 1. Sous échantillonnage ---- *48*
III. 2. 4. 2. Filtrage ---- *48*
III. 2. 4. 3. Normalisation ---- *49*
III. 2. 4. 4. Extraction des paramètres ---- *50*
III. 2. 4. 5. Classification ---- *50*
- *Séparateur à vaste marge (SVM)* ---- *51*

III. 2.5 PROTOCOLE GLOBAL DE L'EXPERIMENTATION ---- 52
III. 2.6 SYNTHESE ---- 54

Chapitre IV: Résultats et discussions ---- 56

IV. 1. INTRODUCTION ---- 56
IV. 2. RESULTATS DE L'ETUDE PRELIMINAIRE ---- 57
IV. 2.1 . Sélection des paramètres ---- *57*
IV. 2.2 Validation du modèle ---- *60*
IV. 2.3 . Discussions ---- *70*
IV. 3. RESULTATS DE LA VALIDATION EN MILIEU CLINIQUE ---- 72
IV. 3.1 . Modèle des sujets phobiques ---- *72*
IV. 3.2 . Validation du modèle ---- *73*
IV. 3.3 . Discussions ---- *77*

Chapitre V: Conclusions et perspectives ---- 80

V. 1. CONCLUSIONS ---- 80
V. 2. PERSPECTIVES ---- 82

Annexes ---- 84

Annexe 1. Questionnaires ---- 84

A. Échelle d'anxiété sociale de Liebowitz ---- *84*
B. Questionnaire de présence de Igroup (IPQ) ---- *86*
C. Questionnaire des peurs ---- *88*

Annexe 2. Signaux des sujets sains contenu dans la base d'apprentissage avant et après l'évaluation ---- 90

Annexe 3. Signaux des sujets phobiques ---- 98

A. Base à deux classes ---- *98*
B. Base à trois classes ---- *100*
C. Comparaison de l'autoévaluation et la reconnaissance automatique ---- *103*

Bibliographie ---- 106

Liste des figures

FIGURE 1 : LES TROIS MEDIATIONS DU REEL [18] 8
FIGURE 2- VISIOCASQUE 3D DE SONY. 10
FIGURE 3- CAVE. 10
FIGURE 4- AUDIENCES CONSTITUEES DE HUIT AGENTS NEGATIFS, NEUTRES ET POSITIFS RESPECTIVEMENT. 11
FIGURE 5- L'ENVIRONNEMENT VIRTUEL UTILISE ET LA REPARTITION D'YEUX DEDANS. 12
FIGURE 6- CAPTURE DES DEUX ENVIRONNEMENTS VIRTUELS UTILISES DANS L'ETUDE DE JAMES ET AL. 13
FIGURE 7- SUIVI DU REGARD DANS L'ETUDE DE GRILLON AVANT ET APRES TRAITEMENT (DE GAUCHE A DROITE) 14
FIGURE 8. MODELE 3D DE LA BANQUE. 14
FIGURE 9- REPRESENTATION DES EMOTIONS SELON DEUX AXES : L'AROUSAL ET LA VALENCE**.** 16
FIGURE 10- LE CIRCUMPLEX DE PLUTCHIK. 17
FIGURE 11- QUELQUES COMPOSANTES DES EMOTIONS. 17
FIGURE 12- LES EXPRESSIONS FACIALES DES SIX EMOTIONS DE BASE SELON EKMAN. 18
FIGURE 13- FACIAL ACTION CODING SYSTEM (FACS). 19
FIGURE 14- DIFFERENCES ENTRE SYSTEMES SYMPATHIQUE ET PARASYMPATHIQUE. 20
FIGURE 15- EXPRESSION FACIALE DE LA PEUR. 23
FIGURE 16. DIFFERENTES METHODES D'INDUCTION D'EMOTIONS UTILISEES. 24
FIGURE 17. QUELQUES CHANGEMENTS PHYSIOLOGIQUES LORS DU STRESS. 29
FIGURE 18. LE POSITIONNEMENT DE L'ANXIETE PAR RAPPORT A LA VALENCE ET AROUSAL. 30
FIGURE 19. SIGNAL DE RESPIRATION TIRE DU SIGNAL BVP. 34
FIGURE 20. VUE DE PERSPECTIVE ET D'EN HAUT DE L'AMPHITHEATRE. 41
FIGURE 21. L'AMPHITHEATRE VIRTUEL UTILISE. 42
FIGURE 22. IMAGE DE FLEUR UTILISEE POUR LA SCENE DE RELAXATION 42
FIGURE 23. ILLUSTRATION DES DIFFERENTES ETAPES DE L'EXPERIMENTATION PRELIMINAIRE. 42
FIGURE 24. L'ENVIRONNEMENT DE TRAVAIL. 43
FIGURE 25. L'ENVIRONNEMENT DE TRAVAIL. 45
FIGURE 26. ILLUSTRATION DES DIFFERENTES ETAPES DE L'EXPERIMENTATION EN CLINIQUE. 45
FIGURE 27. SYSTEME MULTIMODAL POUR LA RECONNAISSANCE DE L'ANXIETE. 46
FIGURE 28. INFORMATIONS CONTENUS DANS LE SIGNAL BVP. 46
FIGURE 29. PROCOMP INFINITI. 47
FIGURE 30. EXEMPLE DU SIGNAL BVP BRUT. 48
FIGURE 31. LE GAIN ET LA PHASE DU FILTRE DE BUTTERWORTH D'ORDRE 3 49
FIGURE 32. EXEMPLE DU SIGNAL BVP TRAITE. 50
FIGURE 33. ILLUSTRATION DE LA RECHERCHE DE L'HYPERPLAN OPTIMAL. 51
FIGURE 34. PRINCIPE DE BASE DES SEPARATEURS A VASTE MARGE. 52
FIGURE 35. LE PROTOCOLE GLOBAL DE L'EXPERIMENTATION. 53
FIGURE 36. LES ETATS EMOTIONNELS DES UTILISATEURS DURANT L'EXPERIENCE (BASE A DEUX NIVEAUX D'ANXIETE, 1 : REPOS, 2 : ANXIETE). 59
FIGURE 37. INTERVALLES POUR CHAQUE CLASSE 60
FIGURE 38. TENDANCE DE L'INTERVALLE DE CHAQUE PARAMETRE. 61
FIGURE 39. L'ALGORITHME D'EVALUATION SUIVI POUR DEUX CLASSES. 62
FIGURE 40. LES ETATS EMOTIONNELS DES UTILISATEURS DURANT L'EXPERIENCE APRES FILTRAGE DES DONNEES 63
FIGURE 41. LE SIGNAL D'ENTREE IDEAL ET LE SIGNAL DE SORTIE DE L'ETAT DOMINANT SUR TOUS LES SUJETS. 64
FIGURE 42. LA FIABILITE DU SIGNAL DE SORTIE APRES FILTRAGE. 64
FIGURE 43. LA TENDANCE DES PARAMETRES DE LA BASE D'APPRENTISSAGE POUR CHAQUE CLASSE. 66
FIGURE 44. NIVEAUX D'ANXIETE DES SUJETS PENDANT L'EXPERIMENTATION (BASE DE TROIS NIVEAUX D'ANXIETE). 67
FIGURE 45. LE SIGNAL D'ENTREE IDEAL ET LE SIGNAL DE SORTIE DE L'ETAT DOMINANT SUR TOUS LES SUJETS. 68
FIGURE 46. LA FIABILITE DU SIGNAL DE SORTIE REGROUPANT TOUS LES SUJETS. 68

FIGURE 47. RESULTAT DU QUESTIONNAIRE IPQ. 70
FIGURE 48. ETAT DU SUJET 1 DURANT L'EXPERIENCE AVANT ET APRES L'EVALUATION. 90
FIGURE 49. ETAT DU SUJET 2 DURANT L'EXPERIENCE AVANT ET APRES L'EVALUATION. 90
FIGURE 50. ETAT DU SUJET 3 DURANT L'EXPERIENCE AVANT ET APRES L'EVALUATION. 91
FIGURE 51. ETAT DU SUJET 4 DURANT L'EXPERIENCE AVANT ET APRES L'EVALUATION. 91
FIGURE 52. ETAT DU SUJET 5 DURANT L'EXPERIENCE AVANT ET APRES L'EVALUATION. 92
FIGURE 53. ETAT DU SUJET 6 DURANT L'EXPERIENCE AVANT ET APRES L'EVALUATION. 92
FIGURE 54. ETAT DU SUJET 7 DURANT L'EXPERIENCE AVANT ET APRES L'EVALUATION. 93
FIGURE 55. ETAT DU SUJET 8 DURANT L'EXPERIENCE AVANT ET APRES L'EVALUATION. 93
FIGURE 56. ETAT DU SUJET 9 DURANT L'EXPERIENCE AVANT ET APRES L'EVALUATION. 94
FIGURE 57. ETAT DU SUJET 10 DURANT L'EXPERIENCE AVANT ET APRES L'EVALUATION. 94
FIGURE 58. ETAT DU SUJET 11 DURANT L'EXPERIENCE AVANT ET APRES L'EVALUATION. 95
FIGURE 59. ETAT DU SUJET 12 DURANT L'EXPERIENCE AVANT ET APRES L'EVALUATION. 95
FIGURE 60. ETAT DU SUJET 13 DURANT L'EXPERIENCE AVANT ET APRES L'EVALUATION. 96
FIGURE 61. ETAT DU SUJET 14 DURANT L'EXPERIENCE AVANT ET APRES L'EVALUATION. 96
FIGURE 62. ETAT DU SUJET 15 DURANT L'EXPERIENCE AVANT ET APRES L'EVALUATION. 97
FIGURE 63. ETAT DU SUJET 16 DURANT L'EXPERIENCE AVANT ET APRES L'EVALUATION. 97
FIGURE 64. ETAT DU SUJET 1 DURANT L'EXPERIENCE. 98
FIGURE 65. ETAT DU SUJET 2 DURANT L'EXPERIENCE 98
FIGURE 66. ETAT DU SUJET 3 DURANT L'EXPERIENCE 99
FIGURE 67. ETAT DU SUJET 4 DURANT L'EXPERIENCE. 99
FIGURE 68. ETAT DU SUJET 5 DURANT L'EXPERIENCE 99
FIGURE 69. ETAT DU SUJET 6 DURANT L'EXPERIENCE 100
FIGURE 70. ETAT DU SUJET 7 DURANT L'EXPERIENCE 100
FIGURE 71. ETAT DU SUJET 1 DURANT L'EXPERIENCE 100
FIGURE 72. ETAT DU SUJET 2 DURANT L'EXPERIENCE. 101
FIGURE 73. ETAT DU SUJET 3 DURANT L'EXPERIENCE. 101
FIGURE 74. ETAT DU SUJET 4 DURANT L'EXPERIENCE. 101
FIGURE 75. ETAT DU SUJET 5 DURANT L'EXPERIENCE. 102
FIGURE 76. ETAT DU SUJET 6 DURANT L'EXPERIENCE. 102
FIGURE 77. ETAT DU SUJET 7 DURANT L'EXPERIENCE. 102
FIGURE 78. COMPARAISON ENTRE L'AUTOEVALUATION ET LA RECONNAISSANCE AUTOMATIQUE POUR LE SUJET 1. 103
FIGURE 79. COMPARAISON ENTRE L'AUTOEVALUATION ET LA RECONNAISSANCE AUTOMATIQUE POUR LE SUJET 2 103
FIGURE 80. COMPARAISON ENTRE L'AUTOEVALUATION ET LA RECONNAISSANCE AUTOMATIQUE POUR LE SUJET 3. 103
FIGURE 81. COMPARAISON ENTRE L'AUTOEVALUATION ET LA RECONNAISSANCE AUTOMATIQUE POUR LE SUJET 4 104
FIGURE 82. COMPARAISON ENTRE L'AUTOEVALUATION ET LA RECONNAISSANCE AUTOMATIQUE POUR LE SUJET 5 104
FIGURE 83. COMPARAISON ENTRE L'AUTOEVALUATION ET LA RECONNAISSANCE AUTOMATIQUE POUR LE SUJET 6 105
FIGURE 84. COMPARAISON ENTRE L'AUTOEVALUATION ET LA RECONNAISSANCE AUTOMATIQUE POUR LE SUJET 7 105

Liste des tableaux

TABLEAU 1. ÉMOTIONS BASIQUES SELON DIFFERENTS AUTEURS. 15
TABLEAU 2. RECAPITULATIF DE QUELQUES MODALITES UTILISABLES POUR LA RECONNAISSANCE DE L'EMOTION. 22
TABLEAU 3. TABLEAU RECAPITULATIF DE QUELQUES TRAVAUX SUR LA THERV DE LA PHOBIE SOCIALE. 24
TABLEAU 4. POTENTIELS POUR LA RECONNAISSANCE DE L'ETAT EMOTIONNEL DE QUATRE SIGNAUX PHYSIOLOGIQUES. 29
TABLEAU 5. QUELQUES CARACTERISTIQUES PERTINENTES POUR LA RECONNAISSANCE DES EMOTIONS A PARTIR DE QUELQUES SIGNAUX PHYSIOLOGIQUES. 31
TABLEAU 6. TABLEAU RECAPITULATIF DE LA REVUE DE LITTERATURE CONCERNANT LA MESURE DE L'EMOTION 35
TABLEAU 7. RESULTATS DE L'ECHELLE D'ANXIETE SOCIALE DE LIEBOWITZ (LSAS). 40
TABLEAU 8. NOMBRE DE SUJET AYANT UN CERTAIN NIVEAU D'ANXIETE. 41
TABLEAU 9. CORRESPONDANCE DES ENVIRONNEMENTS VIRTUELS UTILISES ET LES ITEMS DE LSAS. 43
TABLEAU 10. TAUX DE RECONNAISSANCE DE CHAQUE PARAMETRE EN UTILISANT LES SVM. 57
TABLEAU 11. MATRICE DE CONFUSION DE LA BASE D'APPRENTISSAGE. 58
TABLEAU 12. COMPORTEMENT DES PARAMETRES CHOISIS. 61
TABLEAU 13. LA MATRICE DE CONFUSION DE LA NOUVELLE BASE D'APPRENTISSAGE 65
TABLEAU 14. LES MOYENNES ET ECARTS TYPE DES RESULTATS DU QUESTIONNAIRE DE L'IPQ. 69
TABLEAU 15. REVUE DES PERFORMANCES DE PLUSIEURS TRAVAUX SUR LA RECONNAISSANCE DES EMOTIONS A PARTIR DES SIGNAUX PHYSIOLOGIQUES. 71
TABLEAU 16. MATRICE DE CONFUSION. 72
TABLEAU 17. MATRICE DE CONFUSION DE LA BASE DE TEST. 73
TABLEAU 18. DIFFERENTS ETATS DES SUJETS DURANT LES DIFFERENTES PHASES DE L'EXPERIENCE (BASE A DEUX NIVEAUX) 75
TABLEAU 19. DIFFERENTS ETATS DES SUJETS DURANT LES DIFFERENTES PHASES DE L'EXPERIENCE (BASE A TROIS NIVEAUX). 76

Acronymes et Notations

Psychologie

TCC Thérapie Cognitive Comportementale

AFTCC Association Française de Thérapie Comportementale et Cognitive

AFFORTHECC Association Francophone de Formation et de Recherche en Thérapie Comportementale et Cognitive.

DSM Manuel de Diagnostic et Statistique des troubles Mentaux (Diagnostic and Statistical Manual of MentalDisorders).

DAS Désordre d'anxiété sociale.

LSAS Leibowitz sociale anxiety scale

FQ Fear questionnaire

IPQ Questionnaire de présence de Igroup

Réalité virtuelle

EVs Environnements virtuels

ERV Exposition à la réalité virtuelle

Exposition In vivoExposition au monde réel

Exposition In virtuo Exposition au monde virtuel

Biomédicales

ECG ElectroCardioGramme

EEG ElectroEncéphaloGramme

EMG ElectroMyoGramme

SKT Skin temprerature

SKC Skin Conductance

RESP Respiration

BVP Blood Volume Pulse

SNA Système Nerveux Autonome

VFC Variabilité de la Fréquence Cardiaque

RSA Respiration Sinusale Arithmétique.

Chapitre I: Introduction générale

L'émotion est un terme large comprenant plusieurs modalités qui font qu'une définition précise unique est impossible. Les émotions influencent nos décisions et nos actions. Elles touchent différents aspects de la cognition tels que : génération d'objectifs, la prise de décisions et l'établissement des priorités, la concentration et l'attention, la perception et la compréhension, la catégorisation et la préférence, la motivation et la performance, l'intention et l'apprentissage. L'interaction croissante des machines et des hommes a créé une forte motivation pour les systèmes capables de reconnaître, d'interpréter et de traiter les émotions humaines [1].

L'état émotionnel des humains peut être obtenu à partir d'un large éventail d'indices comportementaux et des signaux qui sont disponibles par le biais d'une expression ou d'une présentation visuelle, auditive et physiologique de l'émotion [2]. Comme cela a été prouvé

dans les différentes recherches trop nombreuses à citer, chaque modalité utilisée pour la reconnaissance de l'émotion a ses limites. Ces différentes modalités de mesure ont leurs limites par exemple :

- L'auto-évaluation de l'état émotionnel peut être erronée ou incomplète en raison de divers facteurs psychologiques.
- Les expressions vocales, les expressions faciales et les gestes sont fortement liés à l'interaction sociale et ont tendance à offrir très peu d'informations dans le cas d'une personne qui n'interagit pas socialement, aussi elles peuvent être désactivées ou modifiées dans une tentative pour dissimuler l'état émotionnel.
- Les réponses physiologiques sont très dépendantes du contexte.

Les études empiriques réalisées en psychophysiologie démontrent qu'il existe une forte relation entre les réactions physiologiques et les états émotionnels. Néanmoins, l'évaluation de l'émotion à partir de signaux physiologiques porte un certain nombre de défis comme établir des modèles physiologiques représentant des types d'émotions spécifiques. Ces modèles physiologiques peuvent différer d'un utilisateur à un autre et d'une situation à une autre. Aussi, les signaux physiologiques présentent des avantages considérables pour la reconnaissance des émotions puisqu'on peut recueillir des informations sur les changements émotionnels des utilisateurs en continu sachant qu'elles sont plus robustes envers les tentatives des utilisateurs pour masquer les émotions ressenties. [3]

I. 1. Motivations et objectives

Les émotions sont traitées ces dernières années dans le sens de leur reconnaissance mais jamais selon leurs amplitudes ou leurs niveaux de présence. Les travaux engagés dans ce domaine utilisent fréquemment pour support d'information des données qui ne correspondent pas toujours aux situations de l'application envisagée. De même, la disparité des réponses par les personnes rend la reconnaissance peu robuste et peu fiable. Dans ce contexte, la construction d'un modèle fiable et validé objectivement s'avère bien adaptée pour faire face à cette limitation. Le présent travail se décompose en trois parties principales.

La première correspond à la réalisation de scènes virtuelles de type statique, c'est-à-dire sans dialogue ou sans interactions directes avec les sujets qui sert seulement à induire l'anxiété envers des sujets phobiques et d'autres envers des sujets présentant un certain niveau d'anxiété lors des situations sociales mais qui ne sont pas sous traitement psychologique.

Aussi, la proposition d'un protocole d'acquisition robuste pour assurer l'enregistrement des informations ciblées.

Dans un deuxième temps, le traitement des données d'un seul capteur physiologique « Signal de pression sanguine volumique (Blood volume pulse, BVP) ». L'objectif de l'innovation proposée par le présent travail concerne l'extraction de paramètres pertinents différents des paramètres statistiques utilisés habituellement et rendre plus fiable le modèle d'anxiété obtenu. Ce modèle est construit à partir des données acquises sur des sujets non traités pour la phobie sociale. Enfin, ce modèle va être utilisé en milieu clinique pour la reconnaissance de l'anxiété sur des sujets phobiques afin de lutter contre le manque de données que connaît ce domaine.

I. 2. Structure du document

Le mémoire de thèse est organisé comme suit. Nous présentons dans le chapitre deux une revue de littérature sur l'utilisation de la réalité virtuelle en psychothérapie et sur la reconnaissance des émotions. L'objectif recherché est d'introduire et de positionner notre contribution au regard de l'existant. Nous exposons les indices de performance traditionnellement utilisés dans le problème d'évaluation des résultats de reconnaissance pour pouvoir mieux présenter notre méthode objective utilisée pour la construction d'un modèle d'anxiété fiable. À ce titre, nous introduisons différentes définitions pouvant être utilisées dans la suite. Nous insistons particulièrement sur l'anxiété sociale et citerons les méthodes de traitements existantes de cette pathologie.

Le chapitre trois est consacré à la présentation détaillée de notre approche pour la construction du système de reconnaissance. Nous évoquons les objectifs et les motivations qui nous ont poussés à choisir les différentes modalités s'agissant de la sélection des sujets, du mode d'induction et la modalité de mesure. Puis nous exposons en détail les formalismes utilisés et les différentes étapes de la méthodologie suivie lors des processus expérimentaux.

Le chapitre quatre, présente les résultats de l'étude servant à valider le protocole de l'expérience en milieu non clinique. Ensuite, nous présenterons les résultats de la concrétisation de cette étude en environnement clinique

Enfin, on conclut ce mémoire en présentant un bilan général de l'ensemble de nos investigations ainsi que de nouvelles perspectives de recherche dans le chapitre cinq.

Chapitre II: Revue de la littérature

II. 1. Introduction

Dans la complexité incessante de la vie sociale, les émotions jouent un rôle clé dans la définition et la réglementation de nos relations avec les autres et plus généralement avec l'environnement qui nous entoure. Nos réactions émotionnelles envers d'autres personnes influencent la façon dont les autres réagissent face à nous et dans une certaine mesure comment les futures rencontres vont se développer. Dans le même temps, notre propre comportement émotionnel est façonné par les pensées et les actes des autres [1]. L'importance de cette interaction peut parfois engendrer, pour quelques personnes, un sentiment de crainte face à des situations et de préférer un évitement. Cette crainte peut devenir excessive et être catégorisée de pathologique lorsque certaines personnes ont peur d'avoir peur et que les autres

s'en rendent compte en remarquant les signes physiologiques comme le tremblement, le bégaiement, le rougissement, la transpiration, les expressions faciales, etc. Le DSM4 désigne ce trouble de personnalité évitante comme un mode général d'inhibition sociale, un sentiment d'incompétence sociale et une hypersensibilité au jugement d'autrui. Ici c'est la personnalité tout entière, la manière d'être dans sa globalité qui est affectée par la peur des autres. Ainsi, l'anxiété de la personne à caractère évitant est plus insidieuse avec une crainte presque permanente d'être jugée ou rejetée [4]. Pour se rassurer, la personne phobique fait face à un enjeu quotidien d'éviter ces angoisses tout en gardant un semblant de vie sociale. L'effet des conduites d'évitement sur la vie sociale, affective ou professionnelle de ces personnes peut être fatal, les conduisant à des complications inévitables (dépression, alcool, suicide) [5].

II. 2. L'anxiété sociale

L'anxiété sociale est un trouble psychiatrique qui se développe le plus souvent au cours de l'adolescence et s'installe rarement après. Il s'agit d'une peur des situations sociales et des interactions avec d'autres personnes qui mène à des sentiments de conscience aiguë de soi.

La prévalence de cette pathologie fait que c'est un trouble mental répondu et se positionne derrière la dépression majeure et la dépendance à l'alcool. En effet, quelques travaux épidémiologiques récents rapportent que la phobie sociale touche approximativement de 2.3 % en Europe et de 7 % de la population aux USA [6].

II. 2. 1 Traitements

Les courants les plus importants dans le traitement des phobies sont la psychanalyse et le comportementalisme. À l'heure actuelle plusieurs études ont prouvé leur efficacité malgré leur principe opposé.

II. 2. 1. 1. La psychanalyse

En tant que théorie, la psychanalyse se définit comme une série d'hypothèses, qui servent à rendre compte que des phénomènes se produisant au cours d'une cure, puis qui ont bouleversé la compréhension du psychisme humain en général [7].

La psychanalyse c'est un travail en profondeur à partir de l'inconscient, des rêves, des symptômes, des ruptures. C'est un travail à long terme qui nécessite des allers retours sur les souvenirs, sur les phrases entendues, sur les événements qui nous ont marqués, sur ce qui se répète. C'est un travail guidé par un analyste qui a déjà fait le parcours et qui peut en reconnaître les balises comme les rendez-vous avec l'inconscient. Il faut aussi que le patient

soit capable de se livrer à son analyste et d'aller vers des dimensions inexplorées de sa vie, de parler sans retrancher ce qui apparaît insignifiant ou indécent [8].

II. 2. 1. 2. Pharmacothérapie

Le traitement médicamenteux de la phobie sociale repose en premier lieu sur l'utilisation des benzodiazépines, les bêtabloquants et les antidépresseurs. Ceux-ci permettent une bonne, voire une très bonne amélioration de la symptomatologie, en particulier dans les formes modérées et sévères [9]. Le spectre des effets indésirables détermine le choix de la substance et la compliance du patient. Les antidépresseurs requièrent une surveillance de certains paramètres de laboratoire et un suivi sur le plan de la médecine interne [10].

II. 2. 1. 3. Les thérapies cognitives comportementales

Les thérapies comportementales puis cognitives se sont d'abord développées dans les pays anglo-saxons et d'Europe du Nord, au début des années 1960. Elles ont été diffusées ensuite dans l'ensemble des pays développés.

L'association française de thérapie comportementale et cognitive (AFTCC), fondée en 1972, et l'association francophone de formation et de recherche en thérapie comportementale et cognitive (AFFORTHECC), fondée en 1994 sont à l'origine de l'implantation en France des TCC en 1970 [11]. Elles se basent sur le principe d'exposition graduelle aux situations redoutées. Traditionnellement, cette exposition est effectuée en deux modes : en réalité, aussi connu comme « in vivo », où le patient est exposé à des situations anxiogènes réelles, ou en utilisant l'imagination, ici, le patient doit imaginer les situations redoutées prescrites par un psychothérapeute.

Ces modes ont quelques inconvénients, notamment le coût élevé des expositions in vivo, aussi cette technique peut s'avérer dangereuse pour le patient et pour le psychothérapeute, sans oublier qu'elle ne protège pas l'intimité du patient. L'inconvénient principal du deuxième mode est la difficulté d'imaginer les situations anxiogènes et aussi la difficulté que rencontre le psychothérapeute pour les contrôlées.

Ainsi, depuis de nombreuses années une nouvelle forme de technique d'exposition dans la thérapie cognitivo-comportementale a émergé. Elle utilise la technologie de la réalité virtuelle (RV) connue sous le nom d'« In virtuo », comme un outil qui permet de fusionner le patient dans un monde virtuel où le patient est exposé à différents stimuli (visuels, auditifs ou autres) qui répondent aux besoins des thérapies ciblées [5].

II. 2. 1. 4. Discussions

Les recherches portant sur le traitement du trouble d'anxiété sociale ont progressé rapidement au cours des dernières années et il existe maintenant un ensemble suffisant de la littérature permettant de tirer des conclusions quant à l'efficacité et la durabilité des traitements cités, ces mêmes études ont fait le point sur les limites et inconvénients de ces méthodes.

Comme cité auparavant le traitement de la phobie sociale par psychanalyse est un travail à long terme qui nécessite un total dévoilement des pensées, sentiments et peurs du patient ce qui par la personnalité du phobique sociale peut dresser des barrières au traitement [7] [12].

Malgré l'efficacité du traitement pharmacologique, cette méthode devrait être utilisée avec prudence et à court terme, et/ou dans les cas d'anxiété sociale extrême à cause de ses éventuels effets secondaires et dépendances par les patients [13] [14].

Les thérapies comportementales et cognitives nécessitent de simuler des situations souvent difficiles pour exposer les patients aux situations anxiogènes. L'utilisation de l'exposition in vivo ou en utilisant l'imagination présentent des limites (Vu que le traitement de la phobie sociale par TCC nécessite une répétition de l'exposition à ces situations ceux qui s'annoncent difficile avec ces techniques d'expositions). Alors que l'utilisation de l'ERV permet au patient lui-même de déterminer les caractéristiques des environnements auxquels il s'expose et lui apprendre à faire face au stress que ceux-ci lui procurent [15].

Pour cette raison, nous nous sommes intéressés à cette méthode d'exposition pour ces nombreux avantages : son coût réduit ; son respect de l'intimité du patient, plus sûre pour le patient et le psychothérapeute et aussi son attractivité [11] [16] [17].

II. 3. Réalité virtuelle en psychothérapie

II. 3.1 Réalité virtuelle

L'expression anglo-saxonne « réalité virtuelle, virtual reality » fut proposée pour la première fois en juillet 1989 lors d'un salon professionnel, par Jaron Lanier, alors responsable de la société VPL Research spécialisée dans les périphériques d'immersion. Il forgea cette expression dans le cadre de la stratégie marketing et publicitaire de son entreprise, sans chercher à en donner une définition très précise [18].

Bien que le concept de réalité divise les philosophes depuis les origines de la philosophie, ces mêmes philosophes s'accordent en général pour admettre que, quel que soit le statut de la

chose en soi existe-t-elle, ou non, indépendamment de l'homme qui la perçoit trois types de médiation interviennent entre le monde et l'homme : la médiation des sens (le monde perçu), la médiation de l'action (le monde expérimenté) et la médiation de l'esprit (le monde imaginé). Ces trois médiations sont indissociables et constituent trois points de vue d'une même réalité (Figure 1). À ce premier stade de notre réflexion, nous affirmerons qu'en tant que réalité, la réalité virtuelle doit elle aussi permettre cette triple médiation des sens, de l'action et de l'esprit [18].

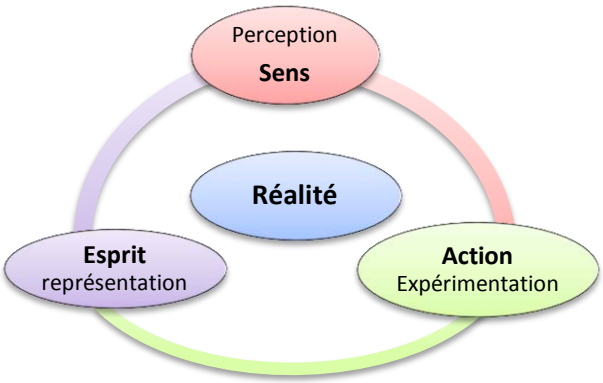


Figure 1 : Les trois médiations du réel [18]

L'idée était de développer une technologie capable de créer un monde imaginaire non différenciable du monde réel. Aujourd'hui, il s'agit de créer une reproduction acceptable de la réalité pour des fins d'entraînement, divertissement ou de conception [19].

II. 3.2 Thérapie cognitive comportementale in virtuo

L'idée de l'exposition en réalité virtuelle, ou in virtuo, est de cumuler les avantages des expositions in vivo et en imagination, tout en réduisant les inconvénients de chacune [20]. Selon le modèle cognitivo-comportemental, les phobies s'installent par le biais d'un renforcement répondant de type pavlovien, associant « objet craint » et « détresse ». L'expérience faite par le patient de cette détresse fait naître, d'une part, un sentiment de peur (anxiété anticipatoire à l'idée d'une nouvelle confrontation) et d'autre part, un comportement d'évitement. Puis, par le biais d'un conditionnement opérant de type skinnerien[1], l'évitement renforce progressivement et maintient le sentiment de peur et donc indirectement l'intensité

[1] Le conditionnement skinnerien est une procédure d'apprentissage qui est au centre des théories béhavioristes. Il repose sur deux éléments, le renforcement et la punition, pouvant chacun être soit positif soit négatif.

de la détresse en cas de nouvelle confrontation. C'est sur la base de ce modèle qu'ont été développées les thérapies d'expositions.

Des travaux de recherche ont montré que l'exposition de deux groupes (un phobique et le deuxième non phobique) face à des EVs thérapeutiques a donné une réaction significative et plus intense du groupe phobique comparé au groupe des participants non phobiques [21] [22] [23].

L'évaluation des TCC in virtuo en psychothérapie a été l'objet de nombreuses études et recherches qui ont touché plusieurs types de phobies et troubles cognitifs :

- La peur de prendre l'avion [24] [25] [26] ;
- La peur des hauteurs ou l'acrophobie [27] ;
- La peur des araignées ou l'arachnophobie [28] ;
- les troubles post-traumatiques [29] ;
- La peur de conduire [30] ;
- Les troubles de panique avec l'agoraphobie [31] ;
- La peur de l'enfermement ou la claustrophobie [32] [31] ;
- Les troubles obsessionnels compulsifs [33] ;
- Les troubles des conduites alimentaires ou les troubles sexuels masculins [34].

« *La RV présente de grands intérêts par rapport à l'exposition traditionnelle en préservant l'intimité et la sécurité du patient notamment dans le cas de la phobie sociale où le patient doit faire face à d'autres personnes, de l'acrophobie où le thérapeute doit accompagner le patient en dehors de son bureau ou de la peur de conduire les voitures. Le thérapeute prête plus d'attention à la thérapie elle-même et au comportement du patient au lieu que de s'intéresser à la sécurité du patient par exemple. Elle permet aussi d'évaluer la progression de la thérapie à travers les réponses subjectives et physiologiques enregistrées* » [5].

Le matériel utilisé pour l'immersion varie selon les moyens et les besoins, on peut utiliser un simple écran, un visiocasque (Figure 2) qui offre une meilleur immersion ou des salles immersives cubiques appelées CAVE (Figure 3).



Figure 2- Visiocasque 3D de Sony.

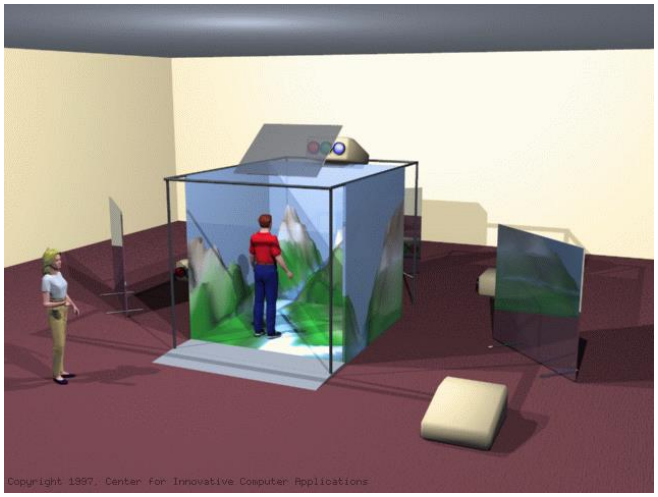


Figure 3- CAVE.

II. 3.3 Thérapie cognitive comportementale in virtuo pour la phobie sociale

Dans cette section nous allons effectuer une revue de littérature concernant l'utilisation de la thérapie cognitive comportementale in virtuo pour la phobie sociale incluant la phobie de performance.

Les pionniers du développement de systèmes d'exposition par RV Max M. North et al ont mené plusieurs études sur l'utilisation de la technologie RV en psychothérapie. Les résultats convergent vers l'utilité de l'utilisation de l'ERV en clinique et mis en avant ses nombreux avantages cités auparavant. [35], [36], [37].

Le groupe de Slater a étudié l'impact émotionnel et physiologique d'humains virtuels lors de l'ERV qui simule une conversation avec un public en trois parties. Ce système était basé sur DIVE (Distributed Interactive Virtual Environment) développé par «Swedish institute of computer science » et a été expérimenté sur dix sujets dans différentes situations constituant la première partie de l'étude.

La deuxième partie de cette étude s'était étendue sur 40 sujets qui devaient faire une présentation de cinq minutes devant une audience constituée de huit agents virtuels (Figure 4) qui pouvaient être positifs, négatifs ou neutres.



Figure 4- Audiences constituées de huit agents négatifs, neutres et positifs respectivement.

Les résultats de ces deux parties sont complémentaires montrant que l'anxiété due à la peur de parler en public diminue considérablement suite à l'exposition face aux différentes audiences virtuelles [38].

North revient en 2002 avec un système d'exposition par RV appliqué à la peur de parler en public. Les résultats de mesures subjectives de l'anxiété par les questionnaires (ATPSQ : Attitude Towards Public Speaking Questionnaire), l'unité subjective de d'inconfort (SUDS) et la mesure du rythme cardiaque de cinq séances hebdomadaires de 10 à 15 minutes d'un groupe de 16 individus souffrant de la peur de parler en public divisés en deux groupes. L'un, exposé in vivo à un public dans un auditorium et l'autre exposé à un auditorium virtuel en utilisant un visiocasque (HMD) sont placés devant un pupitre pour parler à l'assistance. Ils entendent l'écho de leur voix à l'aide de haut-parleurs. Pour plus de réalisme des séquences audio et vidéo préenregistrées d'applaudissements, de rires ou d'encouragement sont utilisées permettant de simuler l'attitude et la réaction de l'audience. Le nombre de personnes dans l'auditorium ainsi que leurs attitudes en alternant les séquences audio et vidéo préenregistrées par le psychothérapeute en utilisant le système de développement des environnements virtuels VRDEAM (Virtual Reality Development Software Package and Libraries). Les résultats obtenus concluent que le système ERV provoque l'anxiété et réduit efficacement la peur de parler en public cela est confirmé par les manifestations physiques et émotionnelles similaires ressenties pendant l'exposition in vivo (augmentation de la fréquence cardiaque, perte d'équilibre, mains moites). Cette étude montre qu'ERV permet le traitement des patients atteint par la peur de parler face à un public [39].

L'exposition de 5 sujets phobiques sociaux et 5 autres non phobiques sociaux face à l'observation d'autrui pendant un exposé a été étudiée par le groupe de Herbelin en 2002. Dans cette étude l'audience était représentée par des photos d'yeux répartis au hasard selon

des cercles concentriques et à différentes hauteurs (Figure 5). Le nombre des photos et des cercles peuvent être changés par le psychothérapeute ainsi que le niveau de stimulation en contrôlant la distance séparant les sujets et l'audience. Le potentiel de l'ERV face aux méthodes traditionnelles a été encore une fois vérifié [40].

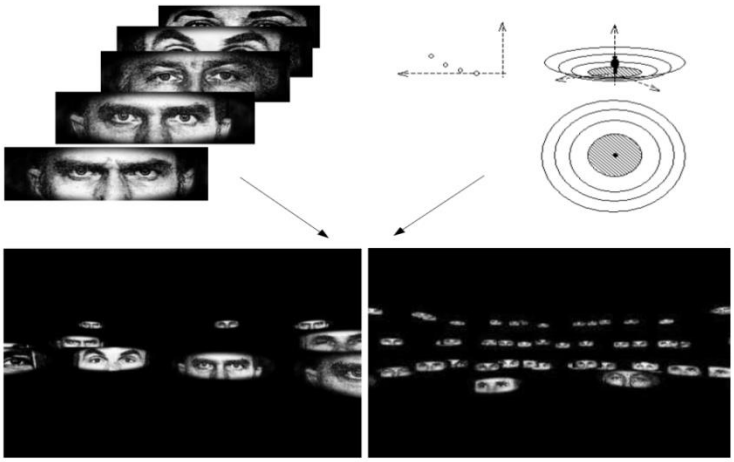


Figure 5- L'environnement virtuel utilisé et la répartition d'yeux dedans.

Le groupe de Lee [41] a présenté un système offrant plus de réalisme à l'exposition en incrustant des vidéos enregistrées en temps réel. Parmi ces vidéos se trouve la projection du psychothérapeute qui pouvait interagir librement avec son patient et diriger le traitement par ERV et obtenir de meilleurs résultats.

Quatorze sujets souffrant de phobie de performance (peur de parler en public) ont été répartis en deux groupes pour l'étude de Harris. Un groupe nommé TRV (Traitement par réalité virtuelle composé de 8 sujets) et le deuxième composant la liste d'attente composé des sujets restant. Un thérapeute a géré l'exposition à un auditorium virtuel qui commence vide puis pour stimuler les sujets se remplit d'une audience qui peut avoir une réaction neutre, positive ou négative (applaudissements, rires ou le désintéressement). Les résultats de 4 séances hebdomadaires de 15 minutes ont montré la réduction de la peur de parler en public chez le groupe TRV par rapport au groupe de la liste d'attente [42].

Anderson [43] a mené une étude sur la peur de parler en public par exposition à un environnement virtuel représentant une classe constituée d'une audience incrustée à partir de séquences vidéo. Les résultats des tests menés sur deux participantes diagnostiquées phobiques sociales ont jugé le traitement par ERV efficace.

Pour confirmer l'impact de l'ERV, James et al [44] ont comparé d'autres aspects couvrant la phobie sociale, simulant les situations sociales neutres suivantes : Voyager dans le

métro de Londres et discuter avec des personnes inconnues dans un bar (Figure 6). L'efficacité de l'ERV a été conclue par les résultats obtenus malgré le manque de réalisme des environnements virtuels utilisés.

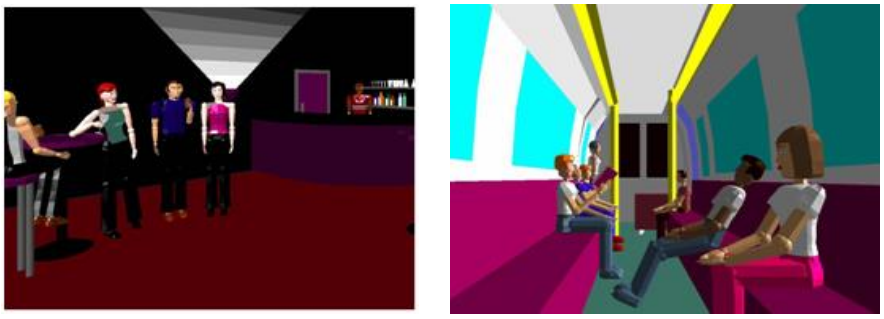


Figure 6- Capture des deux environnements virtuels utilisés dans l'étude de James et al.

Une application de télépsychologie nommée « Talk to me » a été proposée par C. Botella [45] pour le traitement de la peur de parler en public. Cette application propose plus de réalisme en exposant les patients à des séquences vidéo via Internet. Le diagnostic, traitement et évaluation auprès des patients par le psychothérapeute se font aussi via internet.

Dans le cadre du projet européen VEPSY en 2005, plusieurs scènes ont été développées selon le scénario de performance (prendre la parole en public), scénario d'intimité (faire connaissance avec des personnes inconnues), scénario d'affirmation (défendre ses intérêts) et scénario d'observation (être observé) pour l'objectif précis de comparer le protocole de THERV avec la thérapie cognitive et comportementale du groupe (TCCG). Les résultats de l'échelle d'anxiété sociale de Liebowitz collectés sur 36 personnes montrent que les deux techniques sont efficaces pour réduire le niveau de l'anxiété sociale [46].

L'évitement du contact visuel chez les personnes phobiques pendant l'ERV a été évalué par le groupe de Grillon en 2006, sur 8 sujets phobiques sociaux qui ont été affrontés à des environnements simulant la peur de parler en public (rencontre dans un bar ou cafétéria, passer un entretien d'emploi, faire un discours). L'analyse des différentes mesures subjectives (auto-questionnaires) et le suivi du regard (mesure objective) ont montré la réduction de l'évitement du contact visuel par le traitement par ERV (Figure 7) [47], [48].



Figure 7- Suivi du regard dans l'étude de Grillon avant et après traitement (de gauche à droite).

Moussaoui a étudié l'utilisation d'un environnement virtuel simulant une banque (Figure 8) modélisée par un système multi-agents doté de plusieurs comportements dépendant du niveau d'anxiété du patient pour le traitement de la phobie sociale. La mesure du niveau d'anxiété a été évaluée par une mesure objective (rythme cardiaque) et mesures subjectives (l'échelle subjective d'inconfort (SUDS 0-100), l'échelle d'anxiété sociale de Liebowitz (LSAS), le questionnaire des peurs (QP), l'inventaire abrégé de dépression de Beck (BDI- 13), le questionnaire de présence de iGROUP (IPQ)). Un psychothérapeute dirige le protocole clinique programmé en deux phases : La première phase comporte une seule séance de 45 minutes durant laquelle le patient découvre le programme thérapeutique et expérimente l'EV sans personnage virtuel. La deuxième phase est organisée en huit séances hebdomadaires de 30 à 45 minutes chacune. Le patient expérimente durant chaque séance l'EV de la banque avec ces différents scénarios projetés sur un écran plat d'ordinateur et utilise une souris pour se déplacer. Les résultats obtenus à la fin du traitement montrent une diminution du niveau d'évitement [5].

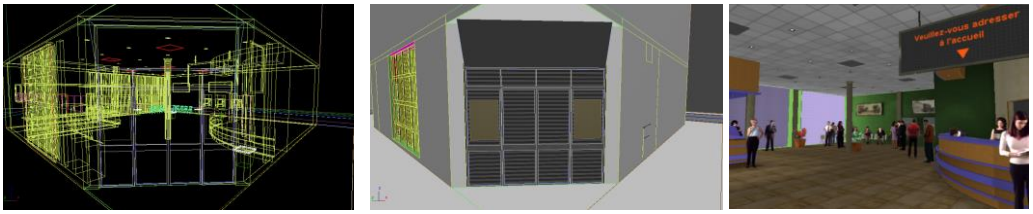


Figure 8. Modèle 3D de la banque.

Un an de suivi lors d'une étude comparant la thérapie cognitive comportementale classique et la TCC in virtuo par H. Wallach [49] portant sur 3 groupes : groupe TCC in virtuo, groupe TCC classique et le dernier en liste d'attente. Les conclusions du suivi étaient que le traitement par RV permet un degré élevé de contrôle par la thérapeute sur l'exposition ce qui engendre une meilleure efficacité de cette dernière par rapport à la méthode classique.

En 2013, une étude sur la thérapie comportementale basée sur l'acceptation du trouble d'anxiété sociale grâce à la vidéoconférence a été menée par Erica K. Yuen [50]. Vingt-quatre participants ont expérimenté 12 séances de thérapie par semaine, ils ont été évalués avant le traitement, à mi-traitement, post-traitement, et à 3 mois de suivi. Les participants et les thérapeutes conviennent de l'acceptabilité et la faisabilité de l'expérience. Les résultats ont révélé l'amélioration significative de l'état des participants.

Nous pouvons conclure cette revue de bibliographie que la thérapie cognitive comportementale in virtuo connaît une grande expansion ces dernières années vu que la majorité des études ont conclu de son efficacité et fiabilité.

II. 4. Notions sur les émotions

L'émotion est un processus complexe et il n'existe pas de définition claire sur ce sujet. Quelques chercheurs ont suggéré la définition opératoire suivante des émotions, en analysant 92 définitions : « Les émotions sont le résultat de l'interaction des facteurs subjectifs et objectifs, réalisés par des systèmes neuronaux ou endocriniens. Ils peuvent induire des expériences telles que des sentiments d'éveil, de plaisir ou de déplaisir, générer des processus cognitifs tels que des réorientations pertinentes sur le plan perceptif, des évaluations, des étiquetages, activer des ajustements physiologiques globaux, induire des comportements qui sont, le plus souvent, expressifs, dirigés vers un but et adaptatifs» [51]. Il existe différentes émotions, le groupe des psychologistes a proposé une liste d'émotions basics allant de 2 jusqu'à 18 catégories [52] [53]. Ekman et son groupe ont mené différentes études sur les expressions faciales qui ont conduit à conclure qu'il y a 6 émotions de base appelées aussi émotions primaires : Joie, tristesse, surprise, peur, colère et dégoût [54].

Tableau 1. Émotions basiques selon différents auteurs.

Auteurs	Émotions
Izard (1977)	Joie, surprise, colère, peur, tristesse, mépris, détresse, intérêt, culpabilité, honte, amour
Plutchik (1980)	Acceptation, colère, anticipation, dégout, joie, peur, tristesse, surprise
Ekman (1992)	Colère, peur, tristesse, joie, dégout, surprise

II. 4.1. Modèles des émotions

Dans nos recherches bibliographiques, nous avons constaté l'existence de deux approches de modélisation des émotions. L'approche catégorielle et l'approche dimensionnelle [53].

II. 4. 1. 1. Approche catégorielle

Cette approche est basée sur les émotions basiques classées par Darwin (1872) et qui s'appuie sur la théorie de l'évolution de (Tomkins 1962, 1963). Elle est revue par Paul Ekman par la considération des 6 émotions basiques citées auparavant.

Elle fait essentiellement la distinction entre ces émotions et propose de les classer sous forme de catégories discrètes. Ainsi les dénominations affectives qui ne trouvent pas leur place dans ces classifications sont considérées comme des mélanges d'émotions primaires. L'intérêt principal de l'approche catégorielle est qu'une fois que les émotions à traiter sont clairement identifiées, il devient simple de les manipuler, aussi bien pour les hommes que pour les machines [2].

II. 4. 1. 2.Approche dimensionnelle :

Cette approche propose la représentation des états émotionnels sur des axes abstraits : la valence et l'arousal, la dimension de valence est la plus utilisée. Elle consiste en la description des états émotionnels sur un axe positif/négatif. Ainsi l'activation représente le niveau d'excitation corporelle (Figure 9), qui s'exprime par des réactions physiologiques, comme l'accélération du cœur, la transpiration.

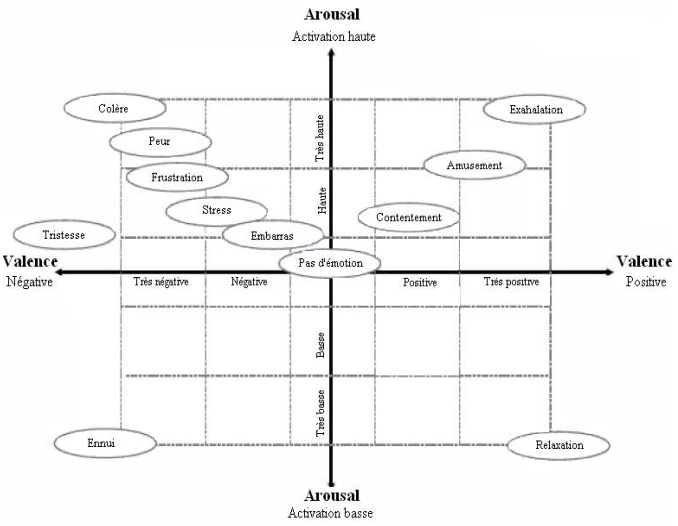


Figure 9- Représentation des émotions selon deux axes : l'arousal et la valence.

Certains voient les émotions comme étant un espace tridimensionnel continu basé sur la valence, l'arousal et la dominance émotionnelle [55] [56]. Comme représenté dans le circumplex de Plutchik (Figure 10) dans lequel on se base sur les émotions primaires (

Tableau **1**) dont on dérive les émotions secondaires en faisant une analogie avec le spectre des couleurs (Qui représente la variation en intensité des couleurs).

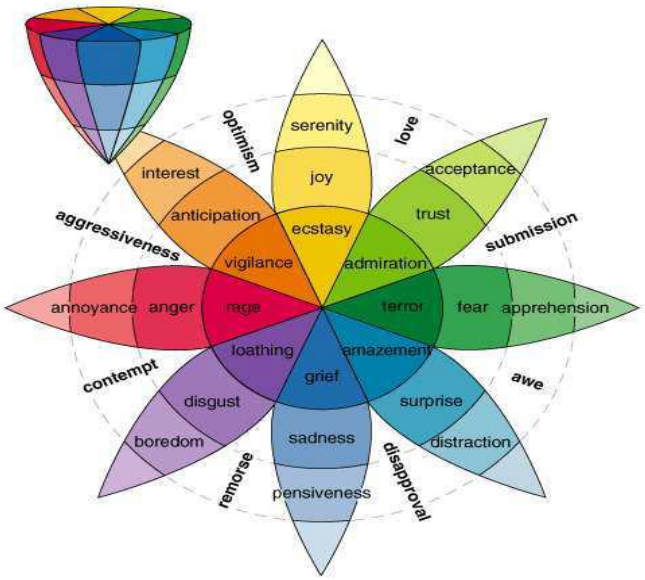


Figure 10- Le circumplex de Plutchik.

II. 4.2Composantes des émotions

Sourires, éclats de rires, froncements de sourcils, et sanglots se produisent dans les changements du visage et dans le ton de la voix sont des aspects essentiels de l'interaction sociale humaine. L'état émotionnel des humains peut être obtenu à partir de ces derniers et bien d'autres indices disponibles par le biais des trois composantes fondamentales des émotions : la composante comportementale, la composante physiologique et la composante cognitive/subjective (Figure 11).[57].

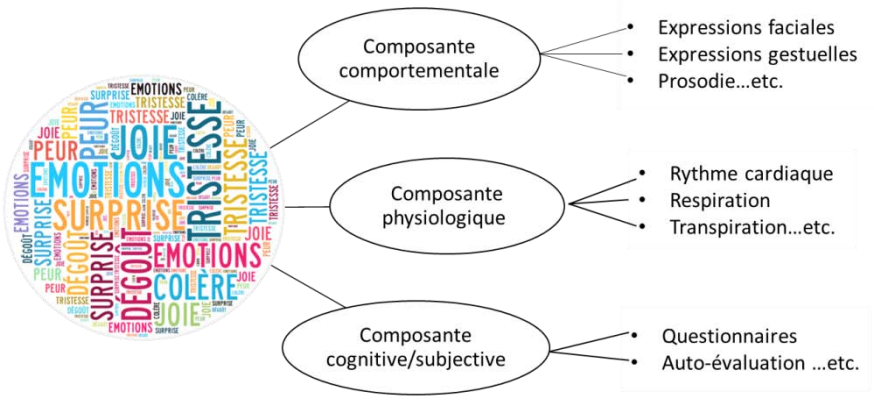


Figure 11- Quelques composantes des émotions.

II. 4. 2. 1. La composante comportementale

L'émotion peut être révélée par un ensemble de traits comportementaux tel que l'intonation de la voix, les expressions faciales, la posture…etc, qui génèrent un langage détectable par les autres individus [58] et facilitent notre vie quotidienne.

- Les expressions faciales

Les expressions faciales sont les changements du visage en réponse à l'état interne émotionnel d'une personne dû aux différentes situations de la vie quotidienne. L'analyse de ces expressions a été le sujet de recherche de plusieurs spécialistes du comportement en s'inspirant des travaux de Darwin en 1872 [2] [59] [60] [61].

La reconnaissance des expressions faciales s'appuie sur l'analyse des changements des traits permanents du visage. Les mouvements de la tête et des traits mobiles du visage (clignements, bâillement, suivie du regard…) sont aussi des informations intéressantes à exploiter pour la reconnaissance des expressions.



Figure 12- Les expressions faciales des six émotions de base selon Ekman.

Ces données sont capturées par une caméra, permettant des configurations non intrusives. Les systèmes sont généralement très sensibles à la qualité de la vidéo, l'éclairage, la pose et la taille du visage sur la vidéo [62], aussi tous les spécialistes du domaine sont d'accord qu'on peut générer des mimiques faciales d'émotions sans pour autant les ressentir.

La méthode la plus utilisée permettant de mesurer l'expression faciale est le FACS (Facial Action Coding System) (Figure 13). Cette méthode permet le codage de toutes les unités d'actions visibles sur un visage photographié ou filmé, par exemple : baisser les paupières, bouger les lèvres, etc [63] [53].

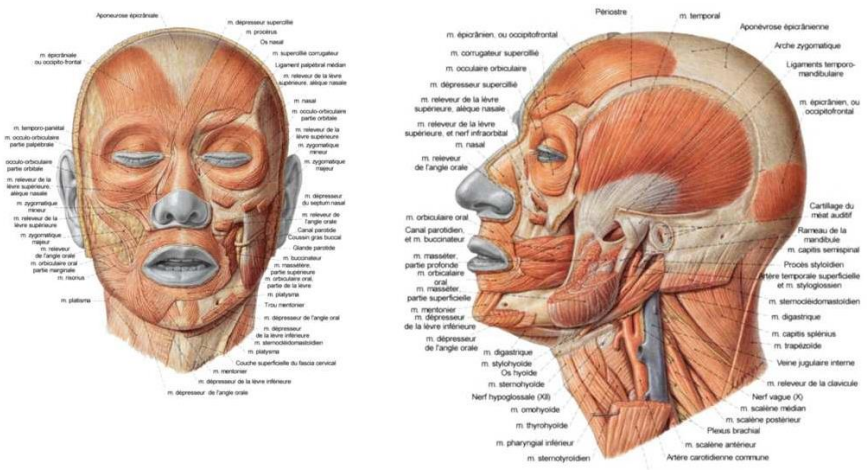


Figure 13- Facial action coding system (FACS).

Classement informatique des expressions faciales nécessite de grandes quantités de données et ces données doivent refléter la diversité des conditions observées dans les applications réelles.

- Les expressions vocales :

L'expression vocale transmet l'information affective à travers des messages explicites (linguistique) et les messages implicites (paralinguistique) qui reflètent la façon dont les mots sont prononcés. Si l'on considère la partie verbale (message linguistique) seulement, sans avoir égard de la manière dont il a été prononcé (un message paralinguistique), nous pourrions manquer des aspects importants de l'énoncé pertinent et même mal comprendre le message parlé en n'assistant pas sur l'aspect non verbal de la parole [53]. Le potentiel du traitement de ces informations a attiré l'attention des scientifiques menant à l'élaboration de stratégies efficaces pour en reconnaître l'émotion [64][65] [66] [1].

- Les expressions corporelles :

Darwin fut le premier en 1998 à décrire en détail les expressions corporelles associées à des émotions chez les animaux et les humains et a proposé plusieurs principes qui sous-tendent l'organisation de ces expressions. Après les premiers travaux de Darwin, il y a eu un certain nombre d'études sur les postures du corps humain communiquer des émotions [53].

II. 4. 2. 2.La composante physiologique :

Un autre trait des expériences émotionnelles est la composante physiologique. Cette dernière permet au cerveau de préparer l'action. Le système nerveux autonome (SNA) est responsable de la détection de ce qui se passe dans le corps et la régulation des réponses involontaires, y compris celles du cœur et des muscles lisses (muscles qui contrôlent

notamment la constriction des vaisseaux de sang, les voies respiratoires et le tractus gastro-intestinal) [67].

Le SNA possède deux composantes : le parasympathique et le sympathique. La composante parasympathique est responsable du ralentissement de la fréquence cardiaque et la détente des muscles lisses. La composante sympathique du SNA est responsable de l'inverse, à savoir augmenter le rythme cardiaque et la constriction des vaisseaux sanguins qui provoquent entre autres effets une augmentation de la pression artérielle. La réponse sympathique est plus lente et plus durable que la réponse parasympathique et est associée avec la réaction se battre ou fuir [67] [68]. Son rôle est de mettre l'organisme en état d'alerte et de le préparer à l'activité.

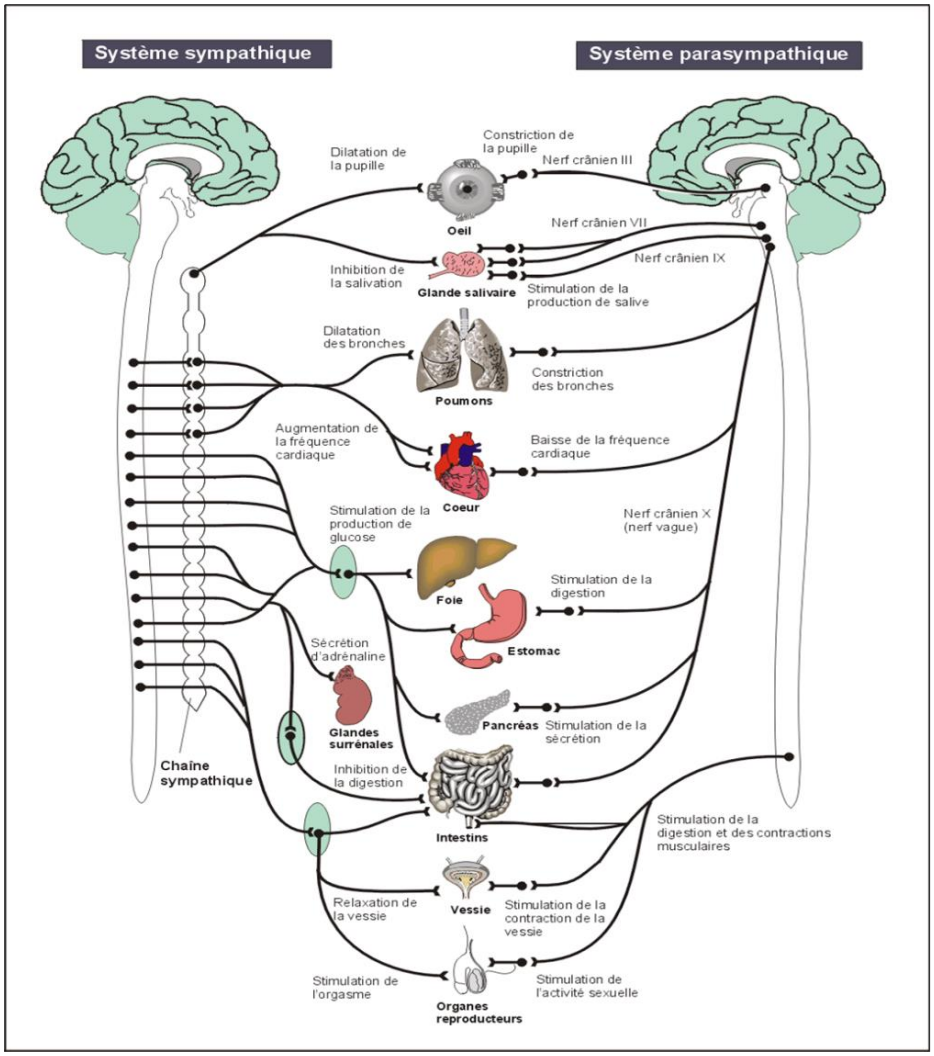


Figure 14- Différences entre systèmes sympathique et parasympathique.

Différents capteurs qu'on va citer dans la suite permettent l'évaluation de ces changements et varient en fonction de l'émotion ressentie permettant de distinguer les différentes émotions.

- Température cutanée (SKT)

La température périphérique varie en fonction de l'irrigation sanguine dans la peau. Si une personne est stressée, la température des extrémités de son corps diminue, car le sang est acheminé en priorité vers les organes vitaux.

- Conductance de la peau (SKC)

C'est une mesure qui permet de déterminer le niveau de conductance électrique de la peau. Cette conductibilité est due à la micro-sudation sécrétée par l'épiderme. Lorsque l'on est soumis à une émotion, elle augmente, ce qui témoigne de l'existence de courants électriques cutanés associés à la sudation qui va améliorer la conductibilité de la peau.

- Volume respiratoire (VR)

Le rythme respiratoire est défini par l'alternance régulière des mouvements d'inspiration et d'expiration, où le volume de la cage thoracique augmente à chaque inspiration et diminue à chaque expiration. Un état de stress ou de peur est décelable par une respiration de fréquence élevée puisque les émotions à valence négative causent généralement des respirations irrégulières.

- La pression sanguine volumique (Blood volume pulse, BVP)

C'est une indication de l'écoulement du sang à travers le corps humain. Elle diminue aux extrémités du corps sous l'effort et le stress puisque le sang est détourné vers les muscles qui travaillent afin de les irriguer et les préparer à une action imminente.

- Le signal électromyographie (EMG)

L'EMG représente l'enregistrement d'une série d'événements électriques (potentiel membranaire du muscle) produits par la fibre musculaire lorsque les muscles se contractent. Cette mesure est à prendre en compte pour déterminer l'état émotionnel du sujet.

- Le signal électrocardiographie (ECG)

L'ECG mesure les variations électriques associées à la contraction musculaire du cœur. Plus précisément, il mesure la contraction des ventricules qui produit la forme d'onde spécifique connue sous le complexe QRS.

La fréquence ou la période cardiaque peuvent être obtenues à partir des trois derniers signaux (BVP, EMG, ECG), il s'agit d'une importante corrélation physiologique avec l'émotion vu que la fréquence cardiaque (FC) est contrôlée à la fois par la réponse parasympathique (FC décroissant) et la réponse sympathique (FC croissant).

Toutes ces mesures physiologiques et bien d'autres contribuent à la reconnaissance de l'état émotionnel des individus. Elles sont utilisées dans la reconnaissance de l'émotion soit seules ou avec différentes combinaisons [68] [69].

II. 4. 2. 3. La composante cognitive/subjective

Cette partie se base sur le ressenti de la personne et sa perception de la situation. Il existe des échelles permettant de mesurer le ressenti émotionnel, notamment le SAM (Self Assesment Manikin) [70] utilisé pour l'évaluation des états émotionnels phasiques et le VAS (Visual Analog Scale) [71] qui permet d'évaluer les états émotionnels toniques. Des questionnaires contenant plusieurs items sont utilisés pour reconnaître l'état émotionnel. Plus souvent utilisées pour la mesure de l'anxiété comme LSAS.

II. 4. 2. 4. Synthèse

Nous présentons dans le Tableau 2 un récapitulatif des mesures utilisées pour la reconnaissance de l'émotion en mettant en avant leurs avantages et leurs inconvénients.

Tableau 2. Récapitulatif de quelques modalités utilisables pour la reconnaissance de l'émotion.

Modalité		Capteur	Avantages	Inconvénients
Signaux physiologiques			Mesures objectives des émotions	Capteur intrusif/ invasif
Composantes Comportementales	**Expressions faciales**		Hors contact	Manipulable/ dissimulable
	Expressions vocales		Hors contact	Manipulable/ dissimulable
	Expressions posturales		Aide à rendre plus robuste les systèmes multimodales	Manipulable / dissimulable, difficile à interpréter/ ne reflètent pas la complexité de l'état affectif
Cognitive/subjective		Echelles/ observations	Avoir le point de vue des participants/des experts	Subjectives

II. 4.3. Définition de l'anxiété

L'anxiété est un état psychologique et physiologique caractérisé par des composants somatiques, émotionnels, cognitifs, et comportementaux. Elle est considérée comme une réaction normale dans une situation stressante. Mais devient pathologique lorsqu'il n'y a pas de danger réel.

L'anxiété est l'anticipation de la peur, c'est une émotion généralement moins intense mais plus durable qui traduit de l'appréhension, une crainte diffuse, parfois sans justification réelle.

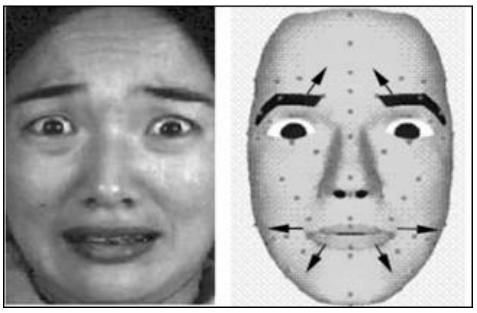


Figure 15- Expression faciale de la peur.

Afin d'évaluer les différentes émotions, nous devons disposer de données adéquates collecter sur plusieurs sujets et pendant des situations émotionnelles réalistes. D'où l'importance de stimuler les sujets de manière fiable en choisissant la meilleure approche. Dans la section suivante nous présentons un état de l'art sur ces différentes approches.

II. 5. Induction des émotions

Cette étape a pour but de faire ressentir à un individu de l'anxiété. Une première méthode simple est de demander au sujet de simuler l'anxiété. Cette démarche comporte certaines restrictions. Il est nécessaire d'une part de bien connaître l'expression émotionnelle afin de pouvoir simuler cette dernière de manière naturelle (FACS) et d'autre part, toutes les réponses corporelles ne sont pas simulables.

En effet, la modification du rythme cardiaque ou la sudation de la peau ne sont pas des réactions facilement observables dans le cadre du jeu d'un acteur. Cependant, il existe certaines procédures permettant de faire ressentir à un sujet acteur ou non l'émotion ciblée. La présentation d'une succession d'images, sons ou vidéos avec une charge émotionnelle proche, peut plonger le sujet dans un certain état émotionnel. Il existe pour cela des bases de données d'images (International Affective Picture System (IAPS) [72], de sons (International Affective

Digitized Sounds (IADS) [73] ou de vidéos, films [74] et enfin la réalité virtuelle (RV). [75] [76].



Figure 16. Différentes méthodes d'induction d'émotions utilisées.

Dans nos travaux nous utiliserons l'exposition à des environnements virtuels pour l'induction. Nous présentons dans le tableau suivant, quelques travaux utilisant cette méthode d'induction en clinique portant sur la THERV pour la phobie sociale.

Tableau 3. Tableau récapitulatif de quelques travaux sur la THERV de la phobie sociale.

Auteurs	Etudes expérimentales	Mesure et validation	Résultats
M. Slater et al [77]	Étude de l'influence de l'attitude des agents virtuels sur les patients (visiocasque)	Échelles	Les patients répondent de façon appropriée aux agents virtuels
B. Herbelin et al [78]	ERV brève pour phobiques sociaux (visiocasque)	Échelles	Ce système d'ERV provoque l'anxiété et peut remplacer l'exposition in vivo
S. Roy et al [79]	Comparaison de l'ERV (4 situations) à la TCC (écran de l'ordinateur)	Échelles	Efficacité de l'ERV dans le traitement de la phobie sociale
L. K. James et al [44]	Comparaison d'une ERV de 2min à 2 Evs (un métro et un bar), (CAVE)	Échelles	L'EVR génère l'anxiété sociale malgré l'absence de réalisme. Réduction de la génération de l'anxiété lors d'expositions répétées.
M. Slater et al.[80]	Étude contrôlée auprès de phobiques et non phobiques. ERV à une audience ou une pièce vide (visiocasque)	Échelles	Augmentation significative du niveau d'anxiété pour les phobiques, pas de changement chez les non phobiques
E. Klinger et al	Étude contrôlée,	Échelles	Amélioration statistiquement et

[81]	comparaison entre ERV et TCC pour des phobiques sociaux		cliniquement significatives dans les deux cas
H. Grillon et al [82]	L'évaluation de l'efficacité et la flexibilité de la RV comme outil thérapeutique et l'évaluation de l'évitement du contact visuel chez les phobiques	Le contact visuel et échelles	Amélioration de la plupart des sujets et une diminution significative de l'évitement du contact visuel
A Moussaoui [83]	Utilisation de SMA dans un EV.	Echelles et rythme cardiaque	Efficacité du système dans le traitement de la phobie sociale et réduction de l'évitement
Erica. K. Yuen [50]	Etude sur La thérapie comportementale basée sur l'acceptation de trouble d'anxiété sociale grâce à la vidéoconférence	Échelles	L'amélioration significative de l'état des participants

La plupart de ces études expérimentales ont utilisé des modalités de mesures et de validations subjectives. L'échelle d'anxiété sociale de Liebowitz (LSAS) est la plus utilisée actuellement dans les travaux d'évaluation de la phobie sociale. La projection de l'EV sur un écran d'ordinateur a été utilisée par ces études. Il a été montré que cette technique suffit pour stimuler les personnes phobiques et engendrer de l'anxiété [84]. Cela présente l'avantage d'être une solution pas chère par rapport aux autres modalités d'immersion, ce qui nous a incité à l'exploiter dans nos travaux.

II. 6. Mesure et reconnaissance de l'anxiété

Plusieurs travaux ont été réalisés dans le cadre de la reconnaissance des émotions. Ces travaux ont ciblé plusieurs domaines : l'interaction homme machine, en clinique pour le traitement de certains troubles psychologiques…etc. Aussi différentes modalités sont utilisées pour aboutir à cette reconnaissance que ce soit pour l'inducteur, les composantes utilisées et enfin les méthodes de traitement utilisées.

II. 6. 1. Expressions faciales

Reconnaissance des émotions automatique par l'analyse des expressions faciales est un problème difficile, nécessitant un certain nombre d'étapes de prétraitement qui tentent de détecter ou de suivre le visage, pour localiser les régions caractéristiques du visage comme les yeux, la bouche et le nez …etc, d'extraire et de suivre le mouvement du visage et des points caractéristiques. Plusieurs travaux ont traité cette modalité et ont abouti à de bon taux de reconnaissance et à la construction de base de données en libre accès pour d'autres chercheurs afin d'améliorer les données. [66] [85] [86] [87].

II. 6. 2. Expressions vocales

De nombreuses études ont examiné les caractéristiques vocales dans l'espoir de définir une signature vocale pour chaque émotion de base. La plupart des systèmes existants de reconnaissance automatique des expressions vocales ont été formés et testés sur des données recueillies en demandant à des acteurs de lire des déclarations prescrites pour certaines émotions. Cette stratégie expérimentale s'exclut de trouver et d'utiliser des corrélations entre les affichages paralinguistiques et le contenu linguistique, qui semblent jouer un rôle important pour affecter la reconnaissance dans les interactions interpersonnelles quotidiennes. C'est pourquoi des récentes recherches se sont focalisées sur la reconnaissance des états émotionnels signalés dans des discours spontanés en extrayant des paramètres acoustiques et linguistiques [88] [89] [90] [91].

II. 6. 3. Les expressions corporelles

Les résultats des recherches en psychologie suggèrent que les humains comptent sur les canaux visuels et le corps plus que tout autre canal quand ils font des jugements sur le comportement communicatif humain. [92]. La reconnaissance des expressions corporelles (geste, le langage des signes, posture) a recueilli l'attention de quelques chercheurs ces dernières années ce qui a permis le développement d'une littérature adéquate. Plusieurs approches ont été proposées, une étude approfondie de ces techniques a été présentée dans l'article de Ozer et al en 2005 [93]. Il se concentre principalement sur les questions de reconnaissance du langage des signes et de classification tout en examinant de près la localisation de la main et de suivi, et divers autres paramètres. [92], [94].

II. 6. 4. Signaux physiologiques

Chaque émotion est caractérisée par une variation physiologique particulière. Pour cette raison et de nombreux d'autres avantages, l'utilisation des signaux physiologiques pour la reconnaissance des émotions a attiré l'attention de nombreux scientifiques afin d'élaborer des stratégies efficaces pour la reconnaissance des émotions.

La mesure du rythme cardiaque et les résultats subjectifs du test de Newman ont été utilisés pour la reconnaissance de la neutralité et de l'émotion peur. Les auteurs ont trouvé que le rythme cardiaque s'accélère durant l'émotion de la peur par rapport à l'état neutre [95].

En 2004, Kim a réalisé un système de reconnaissance de quatre états émotionnels (la peur, la colère, le stress et la surprise). L'induction de ces émotions s'est faite en utilisant un stimulus multimodal (visuel, audio et cognitif). Les mesures physiologiques utilisées pour la

reconnaissance sont électrocardiogramme, l'activité électrodermale et la température de la peau dont trois paramètres statistiques et deux paramètres spectraux ont été calculés. Le résultat de la classification était de 67,76 % avec une validation subjective (autoévaluations des sujets) [96].

En 2005, un nouveau système a été conçu et construit pour détecter les niveaux de stress lors de la conduite en ville, sur autoroute et à l'arrêt en utilisant les capteurs physiologiques suivant : électromyographie, l'électrocardiogramme, l'activité électrodermale, la respiration et de l'enregistrement vidéo. Le résultat de l'étude statistique et de l'analyse spectrale ont données un taux de reconnaissance de 97 %. La validation s'est faite en utilisant les autoévaluations des sujets [97].

Un système de reconnaissance de la joie, colère, tristesse, et plaisir a été développé par Wagner [98]. Ce système se base sur la sélection de plusieurs paramètres à partir de l'électromyogramme, électrocardiogramme, conductance de la peau et la respiration. Plusieurs méthodes de classification (K plus proche voisin, méthode de discrimination linéaire, et perceptron multicouches) ainsi que plusieurs techniques de réduction des caractéristiques (l'analyse des variances ANOVA, sequential forward selection, SFS, sequentiel backward selection, SBS) ont été testées pour l'obtention d'une meilleure performance. Les résultats de la comparaison entre les trois méthodes de classification est d'environ 80%. Ce résultat a pu être amélioré jusqu'à 92% en appliquant les techniques de réduction cités auparavant [98].

En 2006, Lan a mené une étude pour connaitre l'influence de plusieurs combinaisons des paramètres extraits de quatre signaux physiologiques (Température de la peau, conductance de la peau, respiration et enfin l'électrocardiogramme) pour la reconnaissance de trois états émotionnels « La joie, la peur et la neutralité ». Ces états ont été induits par des séquences de films portant sur 53 femmes et 36 hommes. L'utilisation de l'analyse de corrélation canonique entre 17 paramètres, 20 paramètres et enfin 22 paramètres a donné les taux de reconnaissance suivants : 82%, 85.3%, 85.3% respectivement. Les conclusions étaient que les paramètres extraits du signal de température de la peau n'ont pas contribué à l'amélioration du taux de reconnaissance. [99].

Kim revient en 2008 avec une étude de reconnaissance de différentes combinaisons de l'excitation et le niveau de valence en utilisant la musique comme stimuli. Ce système se base sur le traitement de quatre signaux physiologiques : Electromyogramme,

l'électrocardiogramme, la conductance de la peau et la respiration). Le résultat a été de 95 % validé par auto-évaluations [100].

En 2010, Maaoui a utilisé le Système International Affective Picture (IAPS) pour induire différents niveaux d'appréhension par la mesure du signal de pression sanguine volumique (BVP), l'électromyographie, la conductance de la peau, la respiration et la température de la peau. Les résultat de l'analyse statistique a donnée 84,3 % en utilisant SAM (Self-Assessment Manikin) pour la validation [101].

De même Katis a développé un système de contrôle avancé qui classe optimalement le niveau d'appréhension des sujets validé par SAM (Self-Assessment Manikin). Il a utilisé le Système International de l'Image Affective (IAPS) pour la stimulation. Les mesures physiologiques utilisées étaient le signal de pression sanguine volumique (BVP), la fréquence cardiaque, la conductance de la peau (SKC) et la respiration. L'analyse statistique des signaux a donné un taux de reconnaissance de 84,3 % avec une validation par auto-évaluations des sujets [68].

L'analyse de quatre signaux physiologiques : la température de la peau (SKT), la pression sanguine volumique (BVP), l'activité électrodermale (AED) et l'électrocardiogramme (ECG) pour la reconnaissance de sept états émotionnels (joie, la tristesse, la colère, la peur, le dégoût, la surprise et stress) a abouti à un taux de 70 % en utilisant SAM (auto-évaluation par mannequin) pour la validation. La méthode de stimulation utilisée est des extraits de films, clips audio-visuels capturés dans des films, des documentaires et des émissions de télévision [102].

Lors d'un stress, le cerveau se concentre sur la menace perçue et stimule nos comportements propulsant l'organisme à agir en conséquence [103]. Les changements corporels sont contrôlés par le système nerveux autonome (SNA), qui répond rapidement aux facteurs de stress et les contrôle d'un large éventail de fonctions systémiques [1]. Les niveaux de l'anxiété peuvent avoir des répercussions sur cette grande variété de réactions corporelles qui peut être surveillée et mesurée. Un aspect important la bonne mesure de cet état est la sélection des signaux physiologiques appropriés (en termes d'efficacité et confort) pour l'acquisition et l'analyse.

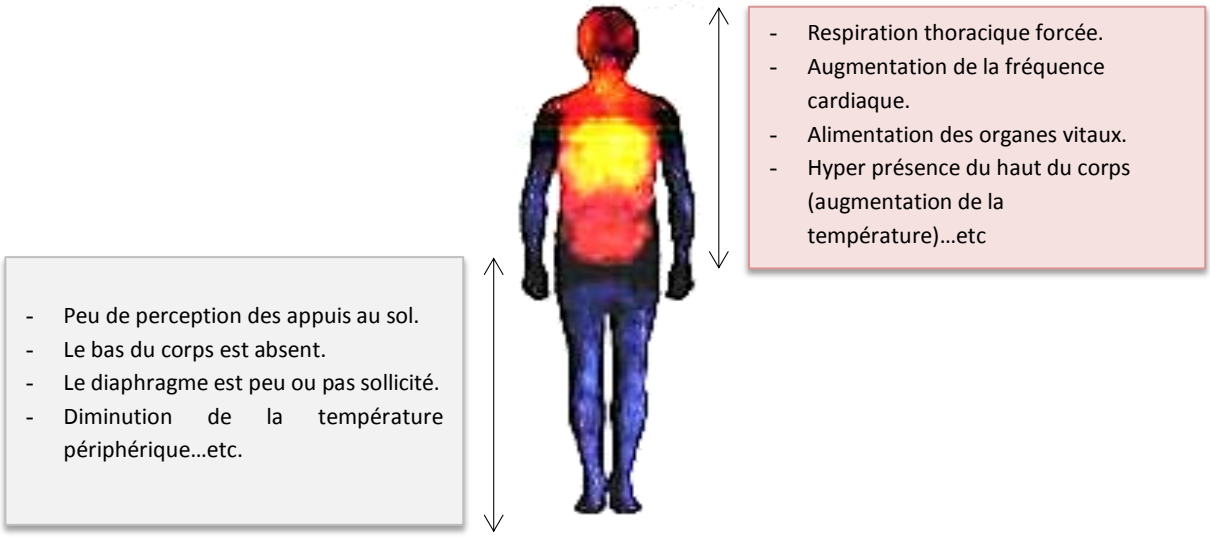


Figure 17. Quelques changements physiologiques lors du stress.

Nous présentons dans le tableau suivant (Tableau 4) un récapitulatif des signaux physiologiques parmi lesquelles nous allons sélectionner les plus efficaces pour notre système de reconnaissance. En mettant en avant leur potentiel pour reconnaître l'état émotionnel.

Tableau 4. Potentiels pour la reconnaissance de l'état émotionnel de quatre signaux physiologiques.

	Capteur	**Emplacement**	**Potentiels pour la reconnaissance de l'état émotionnel**
Signaux physiologiques	Température cutané (SKT)		La température périphérique varie en fonction de l'irrigation sanguine dans la peau. Si une personne est stressée, la température des extrémités du corps diminue, car le sang est acheminé en priorité vers les organes vitaux.
	Volume respiratoire (VR)		Le rythme respiratoire est défini par l'alternance régulière des mouvements d'inspiration et d'expiration, où le volume de la cage thoracique augmente à chaque inspiration et diminue à chaque expiration. Un état de stress ou de peur est décelable par une respiration de fréquence élevée. Les émotions à valence négative causent généralement des respirations irrégulières.

	La conductance de la peau (SKC)		C'est une mesure qui permet de déterminer le niveau de conductance électrique de la peau. Cette conductibilité est due à la micro sudation sécrétée par l'épiderme. De nombreuses études ont indiqué que l'intensité de l'expérience émotionnelle sont presque linéairement associée au niveau de l'excitation (l'arousal) [100].
	Pression sanguine volumique (BVP)		C'est une indication de l'écoulement du sang à travers le corps humain. Elle diminue sous l'effort et le stress. Ce signal indique le rythme cardiaque. Informe de l'activation du système nerveux autonome (SNS et SNP). Un indicateur de variation de la température périphérique et de l'arythmie sinusale respiratoire (respiration) [104].

Pour sélectionner les meilleurs capteurs nous devons connaitre les caractéristiques des émotions ciblées. Toutes les émotions peuvent être caractérisées en termes de valence (agréable ou désagréable) et d'arousal (calme ou excité) [105]. L'anxiété est une émotion à valence négative et à arousal variant selon son intensité.

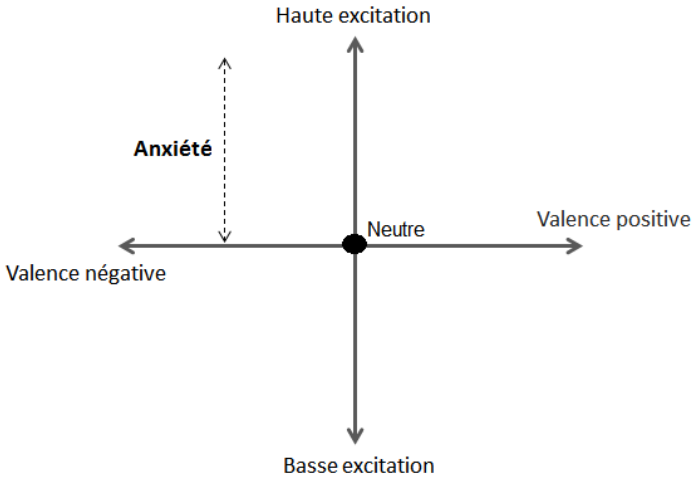


Figure 18. Le positionnement de l'anxiété par rapport à la valence et arousal.

Le Tableau 5 présente plusieurs paramètres qui peuvent être calculés dans les différents domaines d'analyses : statistiques, temporels, fréquentiels et enfin géométriques. Nous montrons aussi leurs comportements lors d'une situation de stress. A partir de ces derniers nous allons sélectionner le capteur le plus pertinent et le plus riche en informations pour reconnaître l'état d'anxiété.

Tableau 5. Quelques caractéristiques pertinentes pour la reconnaissance des émotions à partir de quelques signaux physiologiques.

	Paramètres	Fonctions	Interprétations
Signal de température cutané (SKT)	**Moyenne temporelle**	$\mu_x = \frac{1}{T}\sum_{t=1}^{T} X(t) = \overline{X}(t)$	Indique la tendance de la température [101] [97]
	L'écart type	$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{T}\sum_{t=1}^{T}(X(t) - \mu_x)^2}$	[101] [97]
Signal de respiration (VR)	**L'index d'énergie (EI)**	$EI = \frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N-1}\lvert x_n\rvert^2$	Ces paramètres permettent de faire la discrimination entre l'apnée du sommeil. La respiration normale. Respiration avec artefacts (Motion Artefact) qui est généralement caractérisée par une diminution de l'amplitude du signal et une variation du rythme cardiaque, généralement a une grande énergie en comparant à la normale. [106]
	FZX	*Fréquence respiratoire estimée par un schéma de passage à zéro modifié*	
	FAR	*Fréquence dominante estimée par modélisation autorégressive (AR)*	
	STR	*Force de la fréquence dominante estimée par modélisation autorégressive (AR)*	
	Fréquence respiratoire	*La fréquence respiratoire est le nombre de cycles ventilatoires (inspiration = expiration) par unité de temps (par minute).*	
Signal de la conductance de la peau (SKC)	**Moyenne temporelle**	$\mu_x = \frac{1}{T}\sum_{t=1}^{T} X(t) = \overline{X}(t)$	Indique l'activation du système nerveux sympathique ainsi que l'intensité de l'émotion ressentie. [100]
	Le temps de pic		
	L'amplitude	*Variation de l'amplitude du SKC = (Max(i) – Min(i))*	
	L'énergie du signal	$E_s = \int_{-\infty}^{+\infty}\lvert x(t)\rvert^2 dt$	
sanguine volumique Domaine temporel statistiques de	**Moyenne temporelle**	$\mu_x = \frac{1}{T}\sum_{t=1}^{T} X(t) = \overline{X}(t)$	Indique la vasoconstriction et fournit des informations sur l'activation du système

			Ecart type	$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{T}\sum_{t=1}^{T}(X(t) - \mu_x)^2}$	sympathique. [96] [101] [97]
			Première dérivée	$\delta_x = \frac{1}{T-1}\sum_{t=1}^{T-1}\lvert X(t+1) - X(t)\rvert$	[97] [101]
			Première dérivée normalisée	$\overline{\delta_x} = \frac{1}{T-1}\sum_{t=1}^{T-1}\lvert \overline{X}(t+1) - \overline{X}(t)\rvert$	[97] [101]
			Seconde dérivée	$\gamma_x = \frac{1}{T-2}\sum_{t=1}^{T-2}\lvert X(t+2) - X(t)\rvert$	[97] [101]
			Seconde dérivée normalisée	$\overline{\gamma_x} = \frac{1}{T-2}\sum_{t=1}^{T-2}\lvert \overline{X}(t+2) - \overline{X}(t)\rvert$	[97] [101]
		Intervalle entre deux battements (IBI)		*IBI(i) = (max_bvp (i+1)- max_bvp(i)), (i=1:n)*	Reflète la variabilité cardiaque, cette variabilité diminue au cours du stress. [68] [107] [104] [108]
		SDNN		*L'écart type du signal IBI (intervalle entre battements)*	Répercussions sur la santé, la prédiction de la morbidité et de la mortalité [96][104]
		SDANN		*L'écart type de la moyenne de l'IBI*	
		RMSSD		*La racine carrée de la moyenne quadratique des différences de successive IBI.*	
		NN50		*le nombre total de paires de valeurs normalisées d'IBI consécutifs qui diffèrent de plus de 50 millisecondes.*	
		Rythme cardiaque instantané (RCI)		*RCI=60/IBI*	La fréquence cardiaque (FC) est contrôlée à la fois par la réponse parasympathique (RC décroissant, repos) et la réponse sympathique (Augmentation du RC, l'état de stress). [1] [104] [108]
		RC Max-Min		*La différence maximale de pénétration de la fréquence cardiaque qui se produit au cours d'un cycle de respiration*	Cette mesure est affectée par l'arythmie sinusale respiratoire (RSA) et est généralement décrite comme une mesure de tonus vagal (activité du nerf vague).

			complète	[109][110]
		Variation de l'amplitude pic à pic (VA)	*Variation de l'amplitude pic à pic du BVP = (Max(i) – Min(i))*	Indique la vasoconstriction et fournit des informations sur l'activation du système sympathique. Si l'amplitude diminue, cela signifie que le corps est dans un état d'alerte d'où l'activation du système sympathique [104][108][111].
	Domaine fréquentiel	**La puissance de densité spectrale de très basses fréquences (TBF)**	*TBF du RC [0.03 Hz, 0.04 Hz] ;*	Ils sont censés refléter l'activité du système nerveux sympathique en particulier, mais aussi le système baroréflexe, la réglementation et l'activité du système rénine-angiotensine. L'augmentation des TBF est interprétée dans ce cas par l'augmentation de l'activité du système sympathique. [107][112] [110]
		La puissance de densité spectrale des basses fréquences (BF, ondes de Mayer)	*BF du RC [0.05 Hz, 0.15 Hz]*	Les changements de fréquences plus basses ne sont pas influencés par le RSA et peuvent révéler l'activité de la fonction baroréflexe (sympathique et parasympathique) [107] [113] [112] [110]
		La puissance de densité spectrale des hautes fréquences (HF, Traube-Hering)	*HF du RC [0.15 Hz, 0.4 Hz] ;*	Les hautes fréquences reflètent l'arythmie respiratoire sinusale (RSA) et l'activité du système parasympathique [107][113][112][110]
		BF / HF	*La puissance de densité spectrale de de la densité BF / La puissance de densité spectrale de HF*	Indice d'équilibre sympathovagal [107][112][110]
	Méthodes géométriques	*Telles que la distribution de la densité de l'échantillon ou le tracé de IBI de Lorenz* [104] [101] [110]		

Le signal BVP se distingue largement par rapport aux trois autres signaux (Tableau 5) par sa richesse en informations. De ce même signal on peut avoir une indication de la température du corps et tirer le signal de respiration. [104] [114].

Un exemple du calcul de signal de respiration à partir du signal BVP est donné dans le tracé suivant (**Figure 19**). Nous avons appliqué un filtre passe bande sur le signal BVP de [0.15Hz, 0.4Hz]. Le filtre utilisé est la transformée en ondelette continue (CWT, Continuous Wavelet Transform). La transformée en ondelettes est similaire à la transformée de Fourier avec une fonction de mérite complètement différente. Contrairement à la transformée de Fourier, la CWT peut détecter des changements rapides dans le domaine fréquentiel et le domaine temporel en raison de la largeur variable de la fenêtre utilisée. Ces atouts sont très utiles pour l'analyse des signaux non stationnaires [115] tout comme le signal BVP.

Le signal BVP fournit la variabilité cardiaque. Sachant que l'étude fréquentielle du rythme cardiaque donne des informations sur les deux balances du SNA : le système sympathique et le système parasympathique. Toutes ces informations facilitent la discrimination entre les émotions à valence positive et celles à valence négative. [1] [107]. Le rythme cardiaque informe aussi sur le niveau d'excitation de l'émotion (l'arousal).

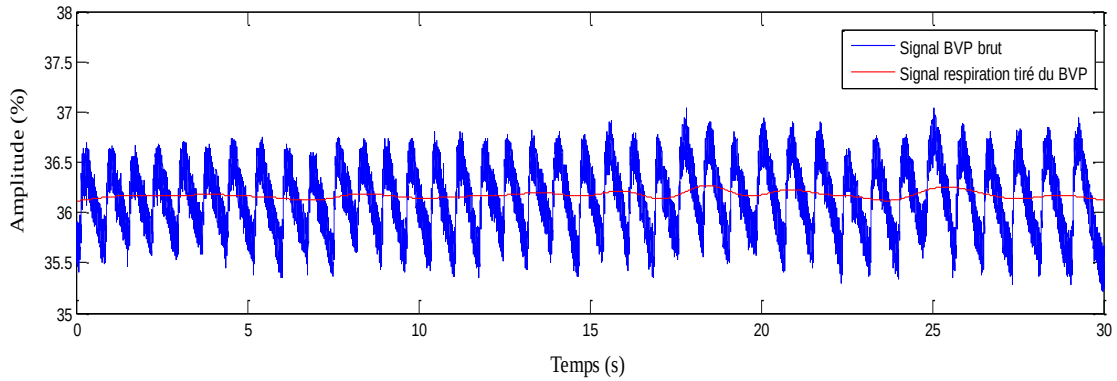


Figure 19. Signal de respiration tiré du signal BVP.

II. 6. 5. Synthèse et discussions

Une émotion correspond à un ensemble de composantes, parmi lesquelles on peut caractériser une réaction physiologique, une facette expressive, un aspect comportemental et un ressenti subjectif. Dans ce chapitre nous avons fourni une revue bibliographique résumant des résultats de recherche de plusieurs travaux visant la reconnaissance des émotions.

Bien que les modalités d'identification des émotions citées auparavant représentent la famille principale des canaux de reconnaissance et qui ont été appliquées avec succès dans plusieurs travaux, elles présentent quelques faiblesses qui résident dans plusieurs paramètres comme les capteurs utilisés pour leurs mesures ou dans leur possibilité d'être contrôlées par les sujets.

Les expressions faciales sont faciles à dissimuler pour cacher l'émotion et c'est ce qui constitue son principal inconvénient lorsque son principal avantage est l'utilisation d'un capteur hors contact. Parfois, en milieu clinique l'utilisation de la caméra peut être perçue comme un non-respectueux de l'intimité des patients, de même pour les expressions vocales.

La reconnaissance des émotions par expressions corporelles (mouvement, postures…etc) reste encore relativement un domaine inexplorée et non résolus dans la psychologie et d'avantage de recherches sont nécessaires afin de donner une meilleure idée de la façon dont ils contribuent à la perception et la reconnaissance des divers états émotionnels.

Les signaux physiologiques restent les meilleurs du point de vue de leurs objectivités pour la reconnaissance des émotions puisque les sujets ne peuvent que difficilement manipuler consciemment les activités physiologiques de leur corps. Mais malheureusement les capteurs invasifs (capteur de respiration) et surtout intrusifs (capteur encéphalogramme) utilisés pour leur mesure peuvent affecter l'efficacité de la reconnaissance. Afin de remédier à ce problème, nous envisageons d'utiliser le minimum de capteur possible sans réduire la performance du système de reconnaissance.

Le tableau suivant présente un résumé des travaux réalisés dans le domaine de reconnaissance des émotions. Cependant, il est difficile de faire une étude comparative entre ces travaux, dû au fait qu'ils diffèrent dans la façon d'induire l'émotion et dans le choix de celles traitées et surtout des modalités utilisées.

Tableau 6. Tableau récapitulatif de la revue de littérature concernant la mesure de l'émotion.

Auteurs	Stimuli	Evaluation	Capteurs utilisés	Emotions	Résultats
Expressions faciales					
Ioannou et al. [85]	Simulation des expressions par des sujets	comparaison entre les résultats et la base de données	Caméra	6 émotions basiques	78%
Abdat et al. [86]	International affective picture System (IAPS)	SAM (Self-Assessment Manikin)	Caméra	6 émotions basiques	95%
Kessous et al. [94]	Simulation des expressions par des sujets	Non mentionnée	Caméra	Colère, désespoir, intérêt, irritation, joie, plaisir, fierté, tristesse	48.3%
Chavan et al. [87]	Simulation des expressions par des sujets	comparaison entre les résultats et la base de données.	Caméra	neutralité, colère, dégoût, peur, joie, tristesse, surprise.	Non mentionnée

Expressions vocales					
Laukka et al.[90]	Spontané	comparaison entre les résultats et la base de données.	Discours téléphonique enregistrées	Neutralité, irritation, résignation	Non mentionnée
Kessous et al. [94]	Simulation des expressions par des sujets	Non mentionnée	Micro	Colère, désespoir, intérêt, irritation, joie, plaisir, fierté, tristesse	57.1%
Scherer et al. [91]	Procédure d'induction de Velten / acting	Non mentionnée	Micro	Joie, tristesse, neutre	Différence considérable entre les paramètres de chaque émotion
Expressions posturales					
Gunes et al. [92]	Simulation des expressions par des sujets	Non mentionnée	Caméra	Anxiété, colère, dégoût, peur, joie, incertain	89.9
Kessous et al .[94]	Simulation des expressions par des sujets	Non mentionnée	Caméra	Colère, désespoir, intérêt, irritation, joie, plaisir, fierté, tristesse	67.1%
Signaux physiologiques					
Kim et al. [96]	Multimodale : Visuel, audio et cognitive	Auto évaluation des sujets	Electrocardiogramme, activité électrodermale, Température de la peau	Tristesse, colère, stress, surprise	61.76%
Healey et al. [97]	Repos, conduite en ville city, et dans l'autoroute+ vidéo	Auto évaluation des sujets	Electromyographie, électrocardiogramme, activité électrodermale, respiration, vidéo	3 niveaux de stress	97%
Wagner et al. [98]	Quatre morceaux de music	Méthodes de sélection et réduction des paramètres	Electromyographie, électrocardiogramme, conductance de la peau, respiration	Joie, colère, tristesse, et plaisir	80%
Li et al. [99]	Film	Questionnaire	Température de la peau, conductance de la peau, respiration, électrocardiogramme	Peur, joie, neutre	85.3%
Kim et al. [100]	Music	Auto évaluation des sujets	Electromyographie, électrocardiogramme, conductance de la peau, respiration	Différentes combinaisons de l'arousal et niveau de valence	95%
Maaoui et al.[101]	International affective picture System (IAPS)	SAM (Self-Assessment Manikin)	Pression sanguine volumique, électromyographie, conductance de la peau, respiration, température de la peau	6 émotions basic	92%

Katsis et al. [68]	International affective picture System(IAPS)	SAM (Self-Assessment Manikin)	Pression sanguine volumique, rythme cardiaque, conductance de la peau, respiration	Niveaux d'appréhension	84.3%
Byoung Jun Park et al [102]	audio-visuel, clips capturé à partir de films, documentaires, and TV	Auto évaluation des sujets	Température de la peau, photoplethysmography, activité électrodermale et l'électrocardiogramme	Joie, tristesse, colère, peur, dégout, surprise, et stress	70%

Chapitre III:Méthodologie de travail

III. 1. Introduction

Aujourd'hui, il est possible de détecter et de mesurer les différentes manifestations qui détiennent la nature de l'émotion. Cette détection est imparfaite, du fait d'une part, de la complexité des données et d'autre part de la variabilité entre les individus, il n'existe aucun modèle complet qui détermine les émotions. Cependant, plusieurs études se sont intéressées au recueil de données afin d'améliorer ce modèle.

En général, les modules de reconnaissance existants prennent en considération toutes les données nécessaires soit complètes ou incomplètes dans le but de reconnaître au mieux l'état émotionnel du sujet comme l'inducteur, la validation des données et aussi le protocole de l'expérimentation...etc.

Le système proposé dans notre étude introduit des méthodes permettant de reconnaitre différents niveaux d'anxiété et de construire un modèle fiable pour l'implanter dans des applications de thérapies cognitives et comportementales (TCC).

Nous nous sommes intéressés à l'anxiété sociale dont les conditions anxiogènes peuvent être créées aisément par un inducteur basé sur la réalité virtuelle (RV). La RV nous permet de créer des scènes de la vie courante et de favoriser les interactions entre les personnes et permet au thérapeute de mieux aider le patient à affronter ses peurs et réduire son évitement [5].

Nous avons mené deux études expérimentales afin de valider notre approche.

a) La première est une étude préliminaire portant sur des personnes non diagnostiquées phobiques sociaux. Elle cible principalement sur l'analyse du protocole choisi, la sélection des paramètres pertinents et enfin, la construction d'un modèle d'anxiété fiable.
b) La deuxième est une étude portant sur des personnes phobiques. Elle a pour objective la validation en milieu clinique du système développé auparavant et le modèle construit dans l'étude précédente.

Le protocole clinique associé ainsi que la réalisation de l'expérience ont été réalisés en collaboration avec une clinique de psychiatrie spécialisée dans les TCC à Tlemcen en Algérie.

III. 2.Méthodologie

Suivre une méthodologie pour permettre au système de reconnaitre et de traduire le signal en une émotion spécifique est nécessaire. Un certain nombre de questions se posent dans une telle situation, avant d'être en mesure de développer le système, il est d'abord nécessaire de susciter l'anxiété de façon valide et fiable, puis enregistrer le signal qui l'accompagne pour enfin assurer une interprétation valide et fiable des données.

III. 2.1Sélection des sujets

L'étude préliminaire porte sur des sujets sains (des étudiants universitaires) non diagnostiqués souffrant d'un trouble cognitif ou comportemental, ni sous traitement médical mais présentant de l'anxiété selon l'échelle LSAS [116] face à différentes situations sociales.

Cette échelle est l'auto-questionnaire le plus utilisé dans les études sur la phobie sociale. Elle a pour objectif d'évaluer la peur et l'évitement des situations de performance et des

interactions sociales. Nous utilisons la version francophone de ce questionnaire de JP Lepine [117]. Vingt-six sujets ont répondu au questionnaire (Tableau 7).

Tableau 7. Résultats de l'échelle d'anxiété sociale de Liebowitz (LSAS).

	Score anxiété	**Score évitement**
Sujet 1	Moyenne	Moyen
Sujet 2	Moyenne	Moyen
Sujet 3	Moyenne	Moyen
Sujet 4	Moyenne	Moyen
Sujet 5	Légère	Léger
Sujet 6	Moyenne	Léger
Sujet 7	Légère	Moyen
Sujet 8	Aucune	Moyen
Sujet 9	Moyenne	Moyen
Sujet 10	Moyenne	Léger
Sujet 11	Moyenne	Léger
Sujet 12	Légère	Léger
Sujet 13	Légère	Léger
Sujet 14	Légère	Léger
Sujet 15	Moyenne	Moyen
Sujet 16	Légère	Légère
Sujet 17	Légère	Léger
Sujet 18	Légère	Léger
Sujet 19	Légère	Léger
Sujet 20	Légère	Aucun
Sujet 21	Aucune	Aucun
Sujet 22	Légère	Moyen
Sujet 23	Légère	Léger
Sujet 24	Aucune	Aucun
Sujet 25	Moyenne	Moyen
Sujet 26	Légère	Léger

Vingt-trois sujets ont été sélectionnés pour participer à l'expérience. Ces sujets ont un niveau léger d'anxiété et moyen comme le montre le Tableau 8.

Tableau 8. Nombre de sujet ayant un certain niveau d'anxiété.

Niveau d'anxiété	Aucune anxiété	Anxiété légère	Anxiété moyenne	Anxiété sévère
Nombre de sujets	3	**13**	**10**	0

L'étude en milieu clinique concerne des sujets diagnostiqués souffrant de l'anxiété sociale selon le diagnostic de notre psychologue collaboratrice spécialisée dans les TCC et suivant un traitement médical. La sélection de ces sujets a était basée sur des mesures subjectives : l'observation du psychologue et les résultats de plusieurs échelles (l'échelle d'anxiété sociale de Liebowitz, échelle d'anxiété d'Hamilton, échelle des peurs).

Quinze sujets ont participé à l'expérience mais seulement sept enregistrements ont pu être exploités suite aux imprévus rencontrés. Quelques sujets ont eu des réactions sévères face aux Evs développés ce qui a poussé le psychologue à interrompre l'expérience.

III. 2.2. Induction des émotions

Nous avons utilisé un seul environnement virtuel représentant un amphithéâtre (Figure 20, Figure 21) pour les sujets sains, dans lequel les sujets doivent lire un texte en anglais (pour des universitaires francophone afin d'augmenter le stress) face à une audience virtuelles représentée par des enregistrements vidéo incrustés dans l'environnement (Pour plus de réalisme).

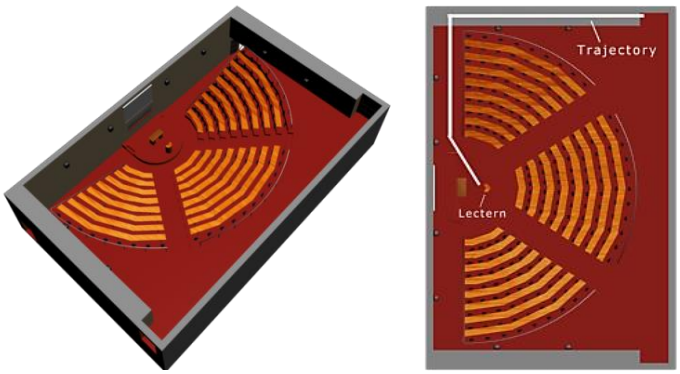


Figure 20. Vue de perspective et d'en haut de l'amphithéâtre.

Le scénario est composé de trois étapes, la première, le sujet se déplace sur une trajectoire imposée pour arriver à un pupitre (étape 1). Une personne dans l'environnement lui demande de lire un texte (étape 2). La dernière étape est que l'audience commence à rire alors que le sujet est en train de lire le texte suivant s'affichant sur le pupitre *« If i read a book and it*

makes my whole body so cold no fire can ever warm me, i know that is poetry » **Emily Dickinson**.

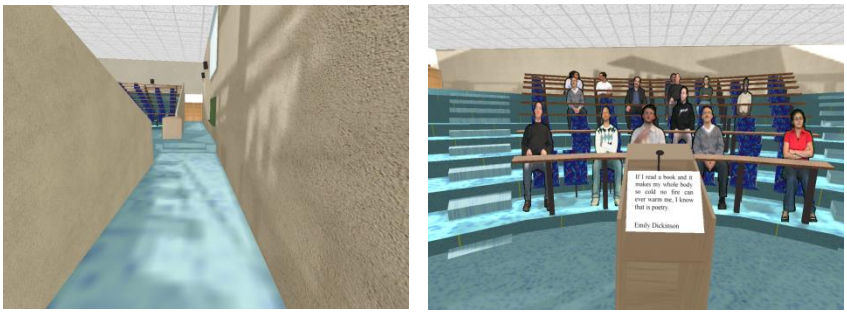


Figure 21. L'amphithéâtre virtuel utilisé.

Nous avons aussi créé un autre environnement virtuel pour la phase de relaxation contenant une image neutre représentant une fleur (Figure 22) et accompagné d'une musique de relaxation sélectionnée dans les travaux du compositeur Takanashi Yasuharu [118].



Figure 22. Image de fleur utilisée pour la scène de relaxation

Toutes les différentes étapes du protocole sont présentées dans la Figure 23, en précisant l'ordre de chaque étape et sa durée.

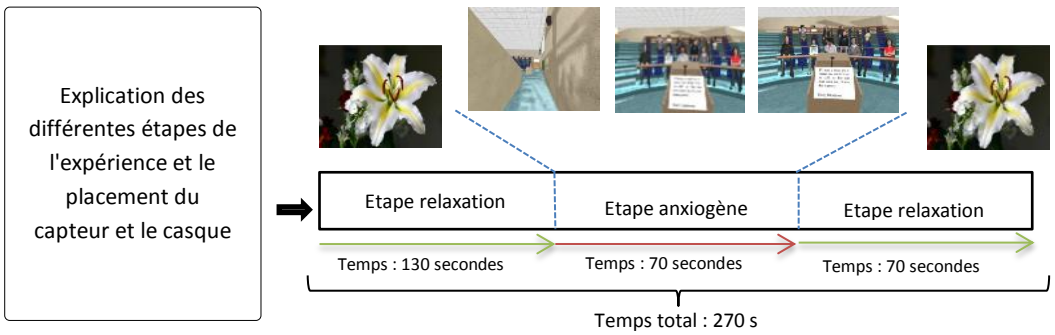


Figure 23. Illustration des différentes étapes de l'expérimentation préliminaire.

Pendant l'expérience les sujets doivent être assis sur une chaise face à un écran d'ordinateur 24", les capteurs sont placés sur la main gauche. Nous utilisons des écouteurs pour assurer l'isolation des sujets par rapport à l'environnement extérieur et enfin la lumière artificiel est éteinte (Figure 24).

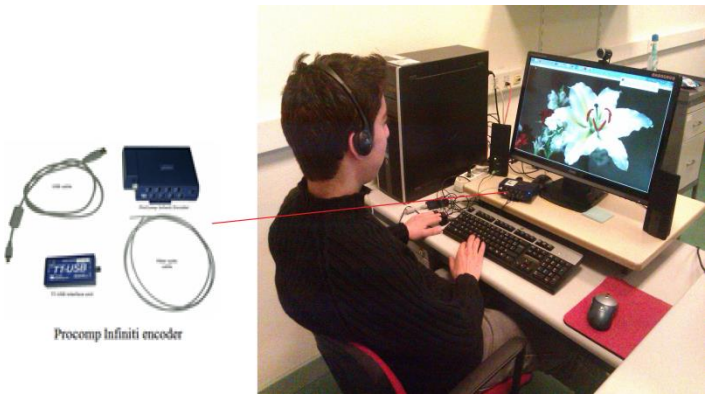


Figure 24. L'environnement de travail.

Nous avons décidé de ne pas exposer les sujets phobiques à l'environnement virtuel représentant «l'amphithéâtre» pour plusieurs raisons dont dans le fait que cet environnement risque de provoquer un niveau d'anxiété assez élevé.

- Il ne représente pas plusieurs situations sociales ;
- Il contient une interaction entre les agents virtuels et l'utilisateur ;
- Son utilisation est plus judicieuse pour des personnes pouvant gérer leur anxiété afin d'assurer leur sécurité.

Pour les utilisateurs phobiques, nous avons traduit plusieurs items de LSAS en environnements virtuels. Ce qui a abouti à 6 scènes phobogènes (Tableau 9). Nous avons opté pour des scènes de type statique, c'est-à-dire sans dialogue ou sans interactions directes avec les sujets. Plusieurs items du questionnaire n'ont pas été représentés en environnements suite à la complexité des situations et à la difficulté de les représentés en Evs.

Tableau 9. Correspondance des environnements virtuels utilisés et les items de LSAS.

Items de l'échelle de Liebowitz	Environnements virtuels correspondant
1.Téléphoner en public ;	

7. Aller à une soirée 23. Donner une soirée ;	
6. Jouer, donner une représentation ou une conférence devant un public ; 14. Entrer dans une pièce alors que tout le monde est déjà assis ; 15. Être le centre d'attention ; 16. Prendre la parole à une réunion ; 20. Faire un compte-rendu à un groupe ;	
5. Parler à des gens qui détiennent une autorité ;	
15. Être le centre d'attention ; 19. Regarder dans les yeux des gens que vous ne connaissez pas très bien ;	
12. Rencontrer des inconnus ;	

Pendant l'expérience, les sujets phobiques doivent être assis sur une chaise face à écran d'ordinateur 24" connecté à l'ordinateur du psychologue, les capteurs sont placés sur la main gauche, utilisant des écouteurs et lumière éteinte (Figure 25).

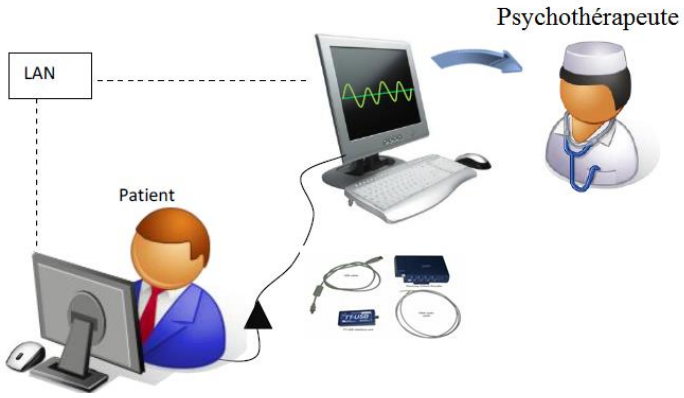


Figure 25. L'environnement de travail.

Le protocole suivi reste à peu près le même (Figure 26). Le changement concerne la durée de l'étape de relaxation qui dépend de chaque patient et c'est le psychologue qui décide d'interrompre cette phase selon l'état du sujet.

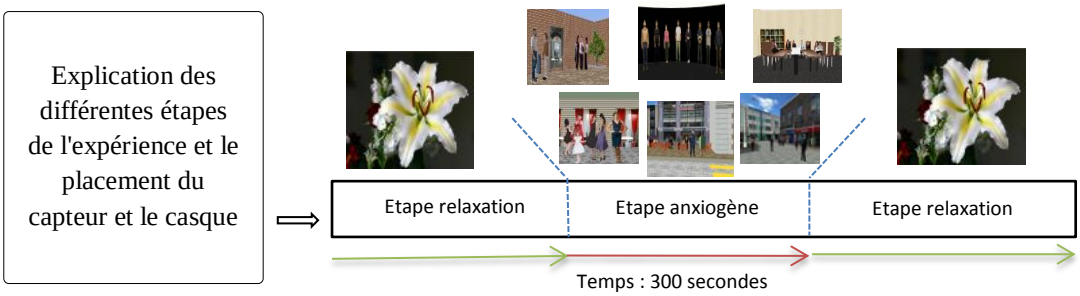


Figure 26. Illustration des différentes étapes de l'expérimentation en clinique.

III. 2.3Mesure de l'émotion

L'émotion peut être révélée par un ensemble de traits physiques et physiologiques tels que l'intonation de la voix, les pleurs, le sourire, les mimiques faciales, l'augmentation du rythme cardiaque, le rougissement… etc. La fonction principale de l'expression émotionnelle est de générer un langage détectable par les autres individus [2].

Nous avons envisagé d'utiliser un système de mesure multimodal basé sur les expressions faciales et signaux physiologiques (Figure 27).

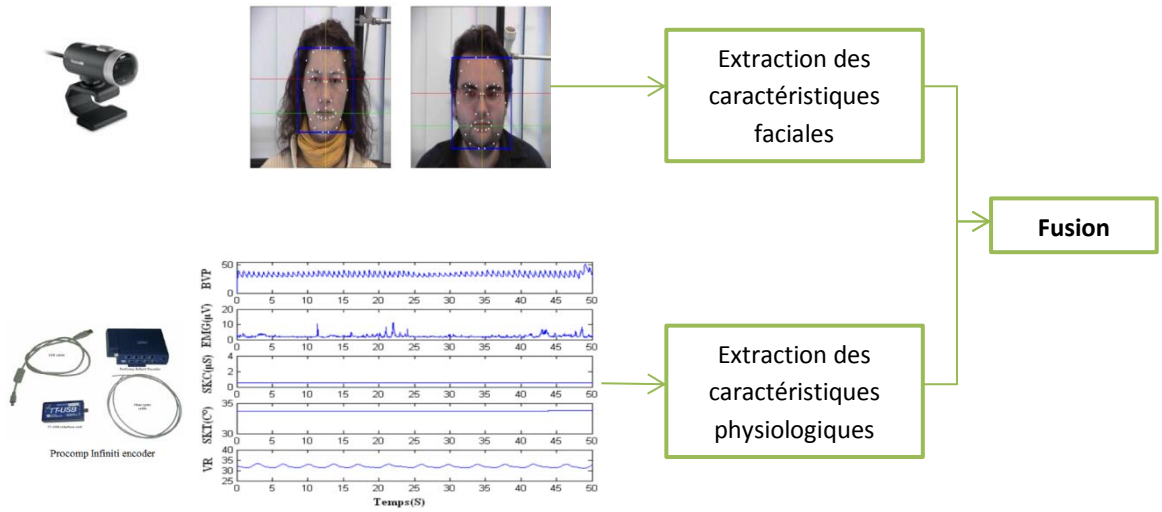


Figure 27. Système multimodal pour la reconnaissance de l'anxiété.

Malheureusement les sujets phobiques ont refusé l'utilisation de la caméra, les capteurs EMG et respiration (à cause de la surface de contact avec la peau). Notant aussi que le nombre de capteurs restant cause une gêne pour les utilisateurs.

Pour toutes ces raisons, nous étions amenés à utiliser un seul capteur physiologique « Signal de pression sanguine volumique, (Blood volume pulse BVP)». Ce choix est basé sur les contraintes suivantes :

- Limiter la gêne occasionnée par le nombre de capteurs utilisés ;
- Avoir le maximum d'informations utiles (Figure 28) ;
- Eviter la redondance des informations ;
- Optimiser le temps de traitement.

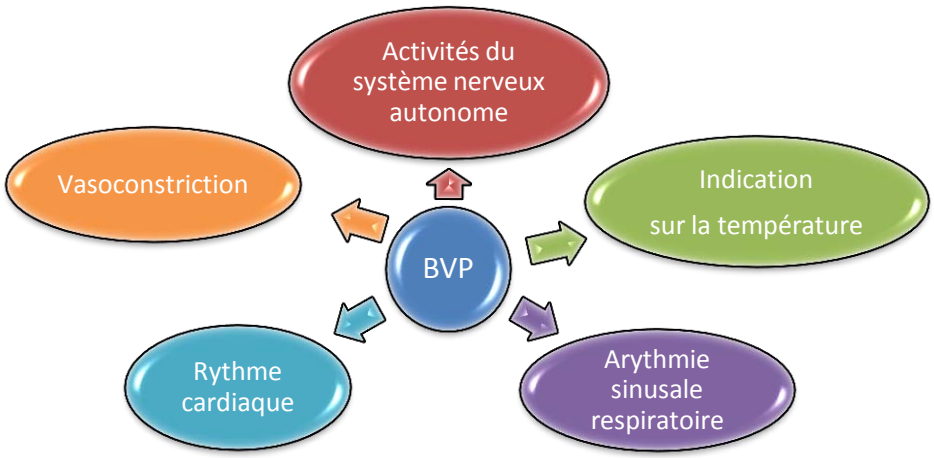


Figure 28. Informations contenus dans le signal BVP.

Le matériel utilisé pour l'acquisition du signal de pression sanguine volumique (Blood volume pulse BVP) est le ProComp Infiniti (Figure 29). C'est un encodeur multimode à huit

canaux servant à l'acquisition des données en temps réel. La conception du ProComp Infiniti et de ses capteurs électroniques actifs répond à des normes de qualité élevées en termes de précision, de sensibilité, de durabilité et de convivialité. Tous les capteurs sont parfaitement non effractifs[2] et ils n'exigent qu'un minimum de préparation avant leur utilisation.



Figure 29. Procomp Infiniti.

Les capteurs transmettent les signaux à l'ordinateur au moyen du microprocesseur de l'encodeur ProComp Infiniti qui échantillonne les signaux entrants, les numérise, les code et transmet ces données traitées à l'ordinateur via le connecteur logiciel TT-USB. La transmission passe par des câbles à fibres optiques donnant ainsi une pleine liberté de mouvements, une fidélité absolue des signaux et assurant l'isolement du signal. Une caractéristique unique du système permet d'inter-changer les capteurs. On peut ainsi créer toute une variété de configurations en changeant simplement le type de capteur.

III. 2.4 Traitement des données

De nombreuses applications biomédicales nécessitent un prétraitement des données observées afin de dévoiler l'information utile afin d'assurer une interprétation valide et fiable des données. Disposant du matériel Procomp Infiniti permettant d'enregistrer, avec une bonne résolution d'amplitude l'activité du signal de pression sanguine volumique je me suis attelée à étudier la structure fine de cette activité, dont les potentiels ont été cités dans la section précédente. Les détails du traitement du signal et des paramètres sélectionnés sont expliqués plus en détail ci-dessous.

Le signal BVP a été acquis avec un taux d'échantillonnage de 256 échantillons / seconde (Figure 30).

[2] Effractif : Caractérise un acte médical ne comportant pas de passage à travers les tissus cutanés (peau).

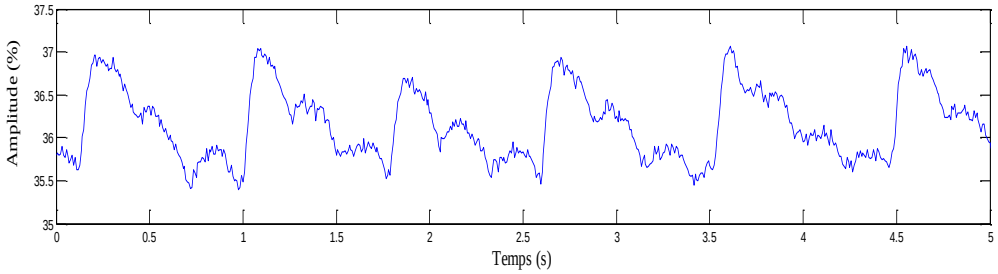
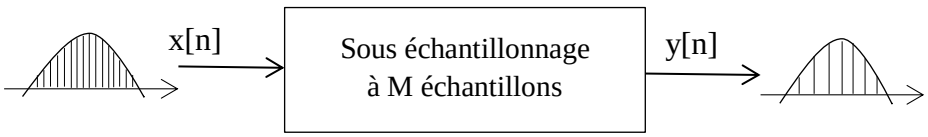


Figure 30. Exemple du signal BVP brut.

III. 2. 4. 1.Sous échantillonnage

En traitement du signal, le sous-échantillonnage est le processus de réduction de la fréquence d'échantillonnage d'un signal. Ceci est habituellement fait pour réduire la taille des données et diminuer le temps de calcul. Le facteur de sous-échantillonnage est en général un nombre entier ou une fraction rationnelle supérieure à l'unité. Ce facteur multiplie le temps d'échantillonnage ou, de façon équivalente, qui divise la fréquence d'échantillonnage. Les équations suivantes illustrent un sous échantillonnage à M échantillons [119].



$$y[n] = x\,[Mn] \tag{1}$$

$$Y(\omega) = \sum_{m=nM} x[m]e^{-j\omega m/M} \tag{2}$$

$$Y(\omega) = \frac{1}{M}\sum_m \left\{\sum_{k=0}^{M-1} e^{-i\frac{2\pi}{M}km}\right\} X[m]e^{-i\omega^m/_M} \tag{3}$$

Sachant que : $\frac{1}{M}\sum_{k=0}^{M-1}\left(e^{-i\frac{2\pi}{M}m}\right)k = \begin{cases}1\ if\ m = nM\\ 0\ if\ m \neq nM\end{cases}$ (4)

$$Y(\omega) = \frac{1}{M}\sum_{k=0}^{M-1} X\left(\frac{\omega+2\pi k}{M}\right) \tag{5}$$

III. 2. 4. 2. Filtrage

Nous allons nous intéresser aux problèmes de filtrages du signal BVP. En effet lors de l'acquisition des données, on remarque souvent l'apparition d'interférences qui peuvent être apparentées au bruit de mesure. Le but est de les enlever sans pour autant réduire l'information contenue dans le signal original.

Les artefacts sont induits par les déplacements des électrodes ou par les mouvements des utilisateurs. En activité de fond, on trouve l'effet de la respiration et la variabilité de la fréquence cardiaque. Plusieurs méthodes de filtrage ont été proposées pour la réduction des perturbations et mettre en valeur les informations ciblées. L'utilisation inapproprié des filtres adaptatif ou non, linéaire ou non introduisent parfois des distorsions morphologiques sur les

ondes du signal BVP, rendant ainsi difficile son interprétation. Nous avons un simple filtre passe bas « Butterworth ». Ce filtre présente un spectre monotone (c'est-à-dire sans oscillations) dans les parties passe-bande et coupe-bande de la RF. Un des avantages de ce type de filtres est que l'on peut établir la forme analytique de la fonction de transfert en fonction des caractéristiques désirées. On évite ainsi d'avoir recours à des méthodes numériques d'optimisation qui atténue les hautes fréquences (les fréquences supérieures à la fréquence de coupure[3]).

$$G_n(n) = |H_n(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1+(\frac{\omega}{\omega_c})^{2n}}} \quad (6)$$

Où : n = ordre du filtre ; ω_c = Fréquence de coupure ; G_0 est le gain à la fréquence zéro.

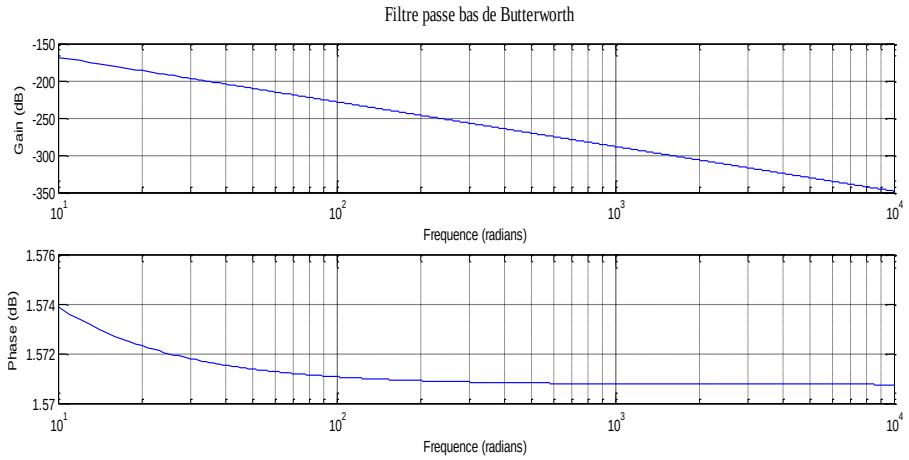


Figure 31. Le gain et la phase du filtre de Butterworth d'ordre 3.

III. 2. 4. 3. Normalisation

Afin de limiter l'effet de la disparité du signal BVP sur les performances de classification, une normalisation de la forme d'onde du signal associée à chaque utilisateur est effectuée. La normalisation est mettre en référence commune les signaux. Pour permettre la comparaison des résultats des signaux issus de plusieurs expériences.

Des techniques de normalisation peuvent ainsi être utilisées pour éviter ce désagrément. Nous utilisons ici la technique de normalisation dite normalisation min-max. Les valeurs de chaque signal $s(n)$ sont ramenées dans l'intervalle [0 ; 1] en divisant chacune de ces valeurs par la différence entre la borne supérieur maximale et la borne inférieur minimale du signal.

$$Signal\ normalisé = \frac{(s(n) - borne\ inférieur\ minimale\ de\ s(n)\ ) .* (b-a)}{borne\ supérieur\ maximale\ de\ s(n) - borne\ inférieur\ minimale\ de\ s(n)} + a \quad (7)$$

[3] La fréquence pour laquelle le signal de sortie est atténué.

Après l'acquisition du signal, nous avons réalisé un sous-échantillonnage à 128 échantillons / seconde, puis nous avons appliqué un filtre passe-bas de Butterworth d'ordre 3 avec une fréquence de 3 Hz coupure. Après cela, nous avons normalisé le signal dans l'intervalle [0, 1] par l'équation (7). Le signal final obtenu est montré dans la Figure 32.

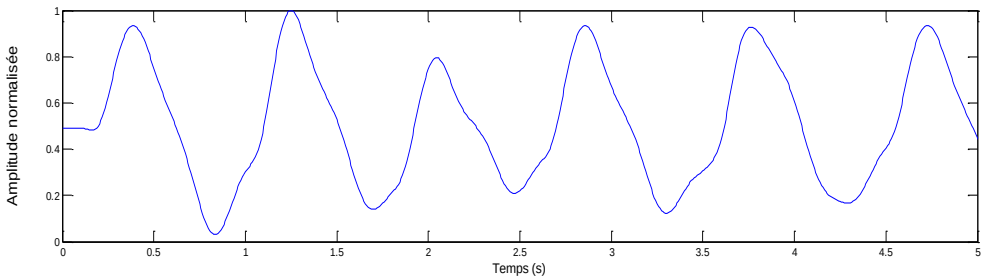


Figure 32. Exemple du signal BVP traité.

III. 2. 4. 4.Extraction des paramètres

La sélection des paramètres pertinents pour la reconnaissance de l'anxiété est une étape importante dans ce travail. Après le prétraitement du signal BVP, nous proposons de considérer quatre secondes comme fenêtre temporelle de traitement pour le calcul des paramètres. Ce choix est motivé par les contraintes imposées par les paramètres fréquentiels ainsi que le respect de la reconnaissance à court terme de l'anxiété.

- L'étude préliminaire

Les paramètres sélectionnés sont : les six paramètres statistiques de Picard (La moyenne temporelle, l'écart type, la première dérivée, la première dérivée normalisée, la deuxième dérivée, la deuxième dérivée normalisée), la variation pic à pic de l'amplitude, la variabilité cardiaque et enfin la puissance de densité spectrale de l'intervalle [0.25Hz, 0.4 Hz].

- Validation en milieu clinique

D'après les résultats de l'étude préliminaire nous sélectionnerons les paramètres qui vérifieront les conditions suivantes :

- Compatibilité avec le temps réel ;
- Pertinence des paramètres ;
- Comportement des paramètres connu en situation d'anxiété.

III. 2. 4. 5. Classification

La classification des données est une étape incontournable de toute stratégie de reconnaissance. Elle consiste à affecter les paramètres calculés dans une des classes

émotionnelles en utilisant un classifieur statistique. Ce dernier trie, catégorise et organise les données de la base test conformément aux données de la base d'apprentissage « Modèle ».

- Séparateur à vaste marge (SVM)

L'algorithme des séparateurs à vaste marge (Support Vector Machines, SVM) a été développé par Vladimir Vapnik dans les années 90 [120]. Il a initialement été développé comme un algorithme de classification binaire supervisée et s'avère particulièrement efficace pour traiter des problèmes mettant en jeu de grands nombres de descripteurs et il assure une solution unique.

Le principe de base des SVM consiste de ramener le problème de la discrimination à celui de la recherche d'un hyperplan optimal. L'algorithme des machines à vecteurs de support suscite un vif intérêt dans la communauté du machine learning pour ses bonnes performances et le fait qu'il trouve une solution unique. Une des idées clés des SVM est la notion de marge maximale qui est la distance entre la frontière de séparation et les échantillons les plus proches, ces derniers sont appelés vecteurs supports (Figure 33).

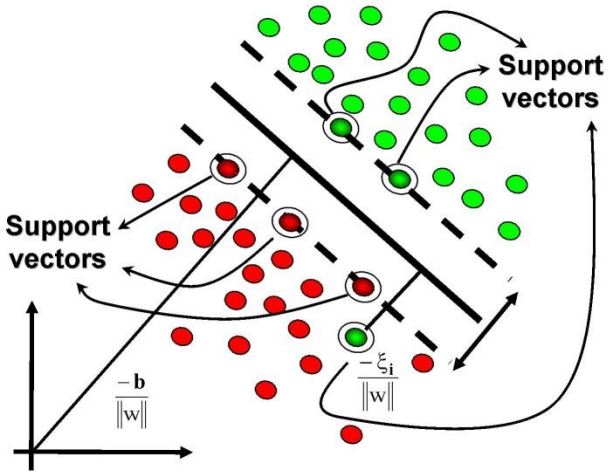


Figure 33. Illustration de la recherche de l'hyperplan optimal.

Traduction du problème d'optimisation est de maximiser la marge en jouant sur l'équation de l'hyperplan sous la contrainte que les exemples d'apprentissage soient à peu près bien classés sans dépasser un seuil de tolérance total C.

Le mécanisme de projection qui lui permet de changer d'espace vers un autre H muni d'un produit scalaire $\langle .,. \rangle$ grâce à une fonction $\Phi(x)$ pour réaliser l'apprentissage fait aussi sa force.

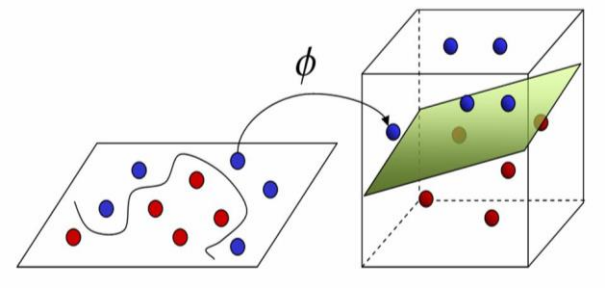


Figure 34. Principe de base des séparateurs à vaste marge.

Ses principes de vaste marge et fonction noyau permettent de réaliser des taux de classification et de minimisation très importants. Des exemples des fonctions noyau :

- Noyau Polynomial de dégrée d : $K(x,y) = (x.y+1)^d$ (8)
- Noyau RBF avec longueur σ: $K(x,y) = e^{\frac{\|x-y\|^2}{2\sigma^2}}$ (9)
- Noyau Sigmoïd avec paramètres k et θ : $K(x,y) = tan(kx.y+\theta)$ (10)

En pratique, ce changement d'espace est implicite dans le noyau $K(x,y) = \langle \Phi(x), \Phi(y) \rangle$. La frontière de décision est de la forme suivante :

$$f(x) = \langle \omega, \Phi(x) \rangle + b = \sum_{i=1}^{n_{app}} \alpha_i \, K(x_i, x) + b \quad (11)$$

Dans le cas où les données sont séparables, la frontière f(x) optimale est obtenue en résolvant le problème quadratique suivant :

$$min_\omega \frac{1}{2}\|\omega\|^2 \quad (12)$$

Sous les contraintes suivantes :

$$y_i(\langle \omega, \Phi(x) \rangle + b) \geq 1 \, , \forall i \in \{1, (\dots), n_{app}\} \quad (13)$$

Les SVM présentent une alternative utile aux différentes méthodes de classification classique. Nous allons utiliser cette méthode pour les deux études suite aux avantages qu'elle présente :

- Un faible nombre de paramètres à définir ;
- Un nombre d'échantillons faible est suffisant pour soutenir la détermination des vecteurs permettant la discrimination entre les classes ;
- Traitement des problèmes linéaires ou non linéaires selon la fonction de noyau.

III. 2.5 Protocole global de l'expérimentation

La reconnaissance des émotions à partir des données physiologiques requiert des enregistrements de manifestations émotionnelles, qui viennent étayer les différents modèles théoriques du phénomène émotionnel et qui sont nécessaires à la construction de modèles

fiables. De telles études sont tributaires de la qualité des données utilisées. L'acquisition de corpus émotionnels qui soient en adéquation avec les objectifs de recherche constitue un sujet de recherche en soi sur lequel travaille notre équipe « EPSAP » depuis plusieurs années. Afin d'acquérir une base de données dans laquelle l'influence de l'état d'anxiété est fidèlement reflétée, nous avons développé le protocole suivant.

Durant l'expérimentation les sujets devront s'asseoir sur une chaise devant un écran alors que le capteur BVP est placé sur la main gauche. Les instructions sont d'essayer de garder cette main immobile pour éviter le bruit généré par la sensibilité aux mouvements, tandis que la main droite va être utilisée pour naviguer dans les environnements virtuels, notons que la lumière artificielle est éteinte pendant l'expérience.

L'écran des sujets est connecté à un ordinateur permettant au responsable de l'expérience de veiller au bon déroulement de l'expérience ainsi que le résultat de la classification. La figure suivante montre l'environnement de l'expérience et les différentes étapes suivies pour le traitement des données (Figure 35).

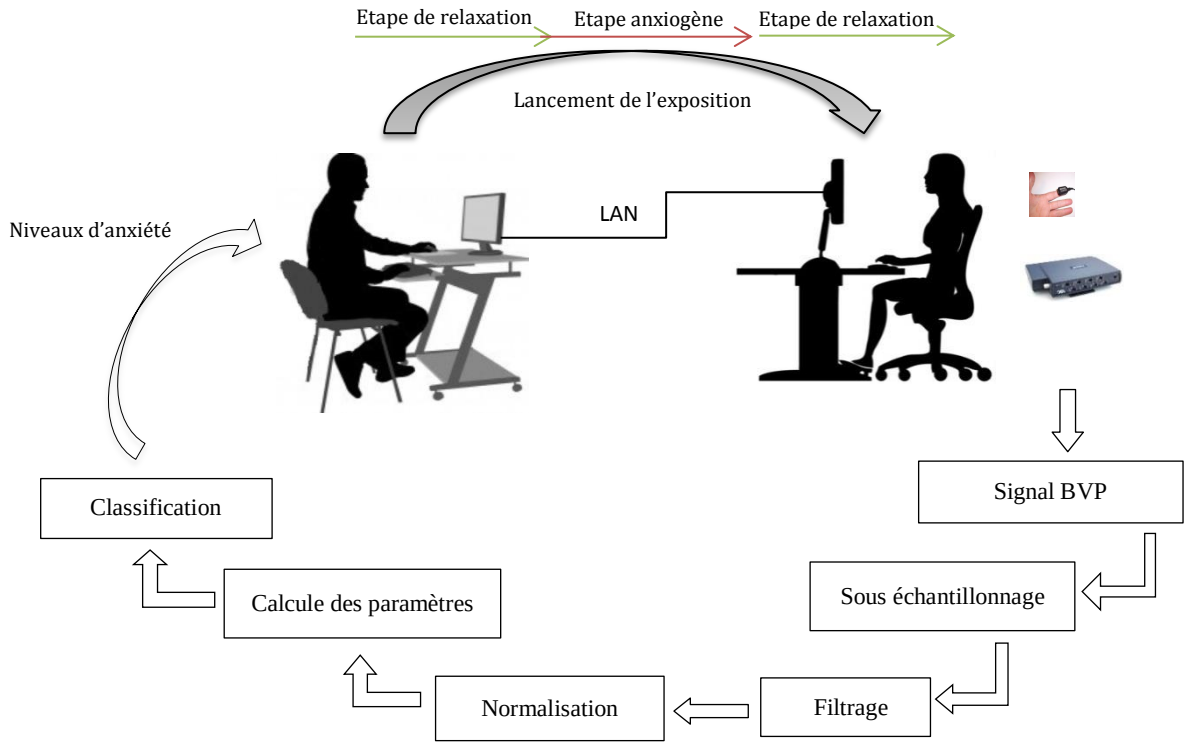


Figure 35. Le protocole global de l'expérimentation.

III. 2.6 Synthèse

Dans ce chapitre, nous avons présenté une approche générale pour la reconnaissance de l'anxiété à partir du signal BVP. En général une bonne approche de reconnaissance des émotions repose sur plusieurs conditions.

Premièrement, la bonne induction de l'anxiété d'où le choix de l'utilisation de l'exposition à des environnements virtuels adéquats sachant que cette technique reprend au mieux les conditions d'une expérience émotionnelle réelle [27].

Une deuxième condition importante est le bon choix de la modalité de mesure des manifestations émotionnelles, nous avons choisi les canaux physiologiques pour leur objectivité et la difficulté des participants à manipuler/dissimuler les changements dues à l'émotion. Un large panel de mesures physiologiques existe. Nous allons devoir choisir un nombre minimum de capteur parmi quatre signaux (pression sanguine volumique, température périphérique de la peau, conductance de la peau, respiration) pour pouvoir optimiser l'utilisation du système en clinique.

Enfin nous avons mentionné les grandes lignes du traitement de ces mesures et les méthodes qui vont être utilisées.

Chapitre IV: Résultats et discussions

IV. 1. Introduction

Dans ce chapitre nous allons présenter les résultats de deux études expérimentales « Etude préliminaire » et « Validation en milieu clinique ». La première a pour objectif : la sélection des paramètres pertinents pour avoir une bonne performance lors de la reconnaissance de deux classes (repos et anxiété), ensuite trois classes : Repos, Anxiété niveau 1 et Anxiété niveau 2. Ces paramètres permettront la construction d'une base de données fiable pour l'utiliser dans la deuxième étude concernant, les personnes phobiques pour une validation en milieu clinique.

IV. 2. Résultats de l'étude préliminaire

IV. 2.1. Sélection des paramètres

Pour la construction du modèle, nous avons sélectionné les quarante dernières secondes de la phase de relaxation pour la classe de repos, puis pour la classe de l'anxiété, nous avons pris 40 secondes du signal à partir du moment où le sujet est en face de l'auditoire. Nous avons calculé les paramètres de Picard (moyenne temporelle, l'écart type, la première dérivée, la première dérivée normalisée, la seconde dérivée, la seconde dérivée normalisée), la moyenne de l'intervalle entre deux battements (intervalle inter-beat, IBI), la variation de l'amplitude crête-à-crête du BVP (VAB) et la puissance de densité spectrale des fréquences [0.25Hz, 0.4Hz]. Ensuite, nous avons formé deux bases indépendantes, la base d'apprentissage est composée de 14 sujets (280 échantillons) et la base de test est composée du reste des sujets (9 sujets, 180 échantillons).

En utilisant le classifieur SVM munit d'un noyau RBF et paramétré par la constante C sélectionnée par la méthode validation croisée « Cross validation ».

Nous avons obtenu un taux de reconnaissance de 69% pour les paramètres de Picard (Tableau 10). Pour le reste des paramètres nous avons eu entre 77% et 92% (Tableau 10). Nous notons que la moyenne flottante de la variation d'amplitude du BVP est le paramètre le plus performant suivie par la moyenne flottante de l'intervalle entre deux battements et enfin PSD de [0,25 Hz, 0,4 Hz] suivie par les paramètres de Picard.

Tableau 10. Taux de reconnaissance de chaque paramètre en utilisant les SVM.

Paramètres	**Moyenne flottante de la variation de l'amplitude pic à pic (MVAB)**	**Moyenne flottante de l'IBI (MIBI)**	**PSD [0.25Hz, 0.4Hz]**	**Paramètres de Picard**
Taux	92 %	84 %	77%	69%
	89 %			
	93 %			

Maintenant, sachant que les paramètres testés ont vérifié la première condition (III. 2. 4. 4), nous allons vérifier leur dynamique durant une expérience anxiogène. Pour les paramètres de Picard il semble difficile de les interpréter, sauf pour la moyenne temporelle et l'écart-type du signal que le paramètre MVAB remplace efficacement. Afin de minimiser le temps des calculs et éviter la redondance de l'information, nous avons décidé d'utiliser les paramètres suivants :

Paramètre 1: Moyenne flottante de l'IBI (MIBI) reflète la variabilité cardiaque qui diminue au cours du stress [68] [104] [107] [108].

Paramètre 2 : La moyenne de la variation de l'amplitude crête-à-crête du BVP (MVAB) donne des informations sur l'activation du système sympathique et indique aussi la constriction [104] [108] [111].

Paramètre 3: L'estimation de la puissance de densité spectrale (PSD) [0.25Hz, 0.4Hz] reflète une portion de l'arythmie respiratoire sinusale (ARS) et l'activité du système parasympathique [107] [113] [112] [110]. L'activité de ce système décroit durant le stress.

Après la sélection des paramètres, nous avons formé le classificateur statistique SVM dans le but d'apprendre l'émotion correspondante. Nous avons atteint un taux global de 93% (Tableau 10), en utilisant deux bases indépendantes : la base d'apprentissage comportant 14 sujets (280 échantillons) et la base de test comportant 9 autres sujets (180 échantillons). Nous avons jugé que ce n'est pas opportun d'essayer la reconnaissance avec des bases dépendantes (vu les résultats obtenus avec des bases indépendantes). Cela pourrait être suffisant pour soutenir que l'anxiété a été correctement induite par l'ERV et le signal BVP transmet suffisamment d'informations pour discriminer l'état d'anxiété et celui de repos.

La matrice de confusion de l'ensemble d'apprentissage (Tableau 11) montre que nous avons plus de confusion dans la phase repos (13%) que dans la phase anxiogène (3%).

Tableau 11. Matrice de confusion de la base d'apprentissage.

Matrice de confusion	Repos	Anxiété
Repos	87%	13%
Anxiété	3%	97%

Cette confusion peut être due à l'inducteur, le sujet ou la sélection de la partie du signal contenant l'émotion ciblée. Nous ne pouvons pas vérifier tous ces paramètres mais nous pourrions poser la question suivante : **Est-ce que les utilisateurs sont vraiment calme dans l'étape de relaxation et anxieux dans l'étape anxiogène ?**

Pour répondre à cette question, nous avons décidé de vérifier l'état émotionnel des utilisateurs durant toute l'expérience (Figure 36).

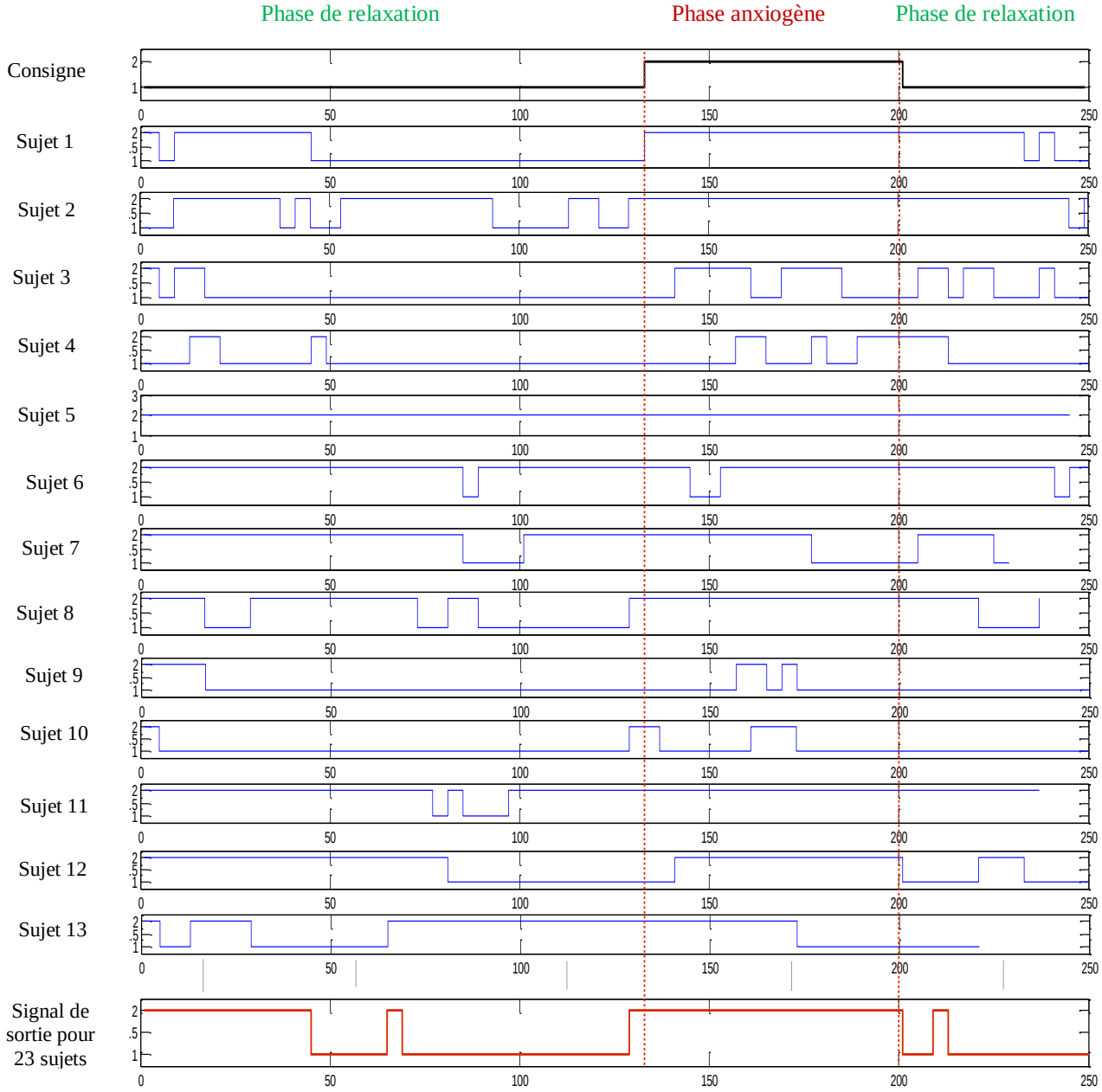


Figure 36. Les états émotionnels des utilisateurs durant l'expérience (Base à deux niveaux d'anxiété, 1 : repos, 2 : anxiété).

Le premier signal en partant du haut est le signal d'entrée idéal conformément au protocole (Consigne), les signaux suivants représentent l'état émotionnel de treize utilisateurs pendant l'expérience. Les figures suivantes représentent les états émotionnels de treize sujets. Nous remarquons qu'ils réagissent différemment face à l'expérience, par exemple le sujet 5 est dans un état d'anxiété durant toute l'expérimentation alors que le sujet 9 est rarement anxieux. Le dernier signal représente la moyenne des états émotionnels des vingt-trois sujets chaque quatre secondes. En analysant ce signal nous remarquons que les sujets étaient bien anxieux au début de l'expérience, ce qui peut être dû au capteur. Nous remarquons aussi que les sujets n'étaient pas tout le temps calme dans la phase relaxation ainsi que dans la phase anxiogène

les sujets n'étaient pas tout le temps anxieux. Pour identifier ces échantillons mal classés nous allons utiliser la dynamique des paramètres utilisés pour procéder à l'évaluation objective de la base d'apprentissage et filtrer ces échantillons. Cette évaluation est réalisée suivant les étapes montrées dans la Figure 39.

IV. 2.2 Validation du modèle

Cette vérification est effectuée par les mêmes étapes suivies lors du calcul d'une matrice de confusion. Nous formons deux ensembles : classe neutre et classe anxiété. Chaque ensemble est testé dans la base globale (classe repos + classe d'anxiété). Les échantillons mal classés d'un ensemble sont retirés ou placés dans l'autre ensemble, après avoir vérifié leur appartenance à l'intervalle de la dynamique de chaque paramètre de chaque phase. Cet intervalle est déterminé par le calcul des valeurs moyennes de chaque paramètre de chaque classe (Figure 37).

Nous avons sélectionné deux extraits du signal où on a plus de chance d'avoir l'émotion ciblée. Pour le repos nous avons optés pour la dernière partie de la phase relaxation. Pour l'anxiété on a pris le signal après 20s du commencement de l'EV ce qui correspond au moment où le sujet se trouve devant l'audience. De ces échantillons, nous avons calculé l'intervalle $[moyennei - 2 * écart_typei,\ moyennei + 2 * écart_typei]$ pour chaque paramètre.

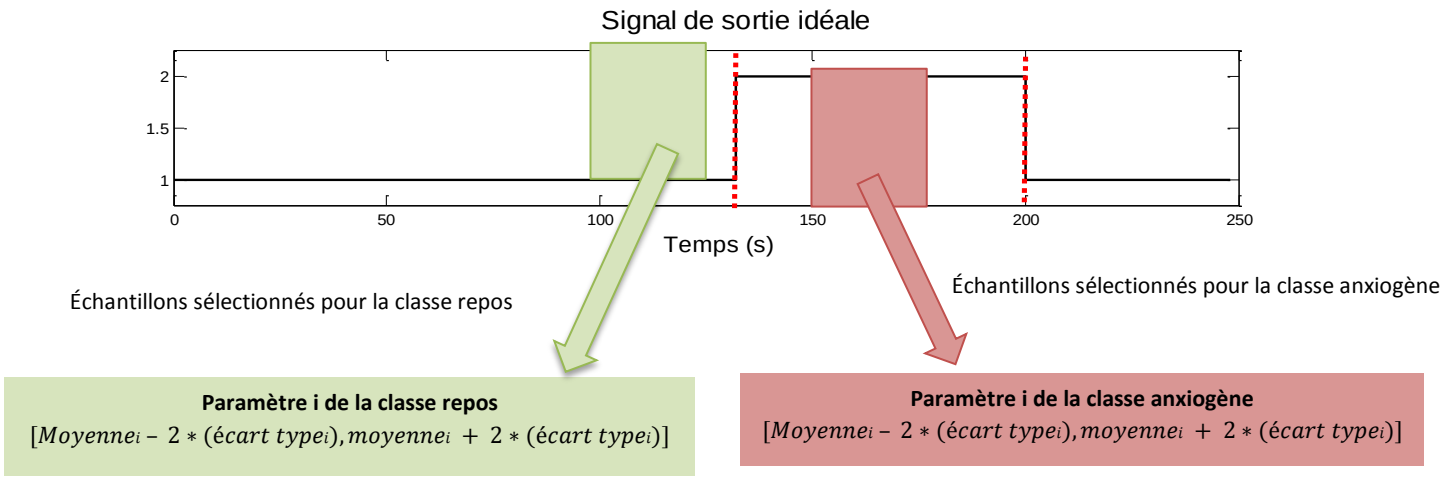


Figure 37. Intervalles pour chaque classe.

Sachant que l'intervalle de la classe repos doit être supérieur à celui de la classe anxiogène en se basant sur le Tableau 12.

Tableau 12. Comportement des paramètres choisis.

Comportement des paramètres durant l'anxiété	
MVAB	Diminue
MIBI	Diminue
PSD [0,25Hz, 0,4Hz]	Diminue

La tendance de chaque paramètre est montrée dans la figure suivante (Figure 38) où nous remarquons que cette tendance est décroissante de la classe repos vers la classe anxiogène et cela est valable pour les trois paramètres. Ces résultats coïncident avec le comportement des paramètres montrés dans le tableau ci-dessus.

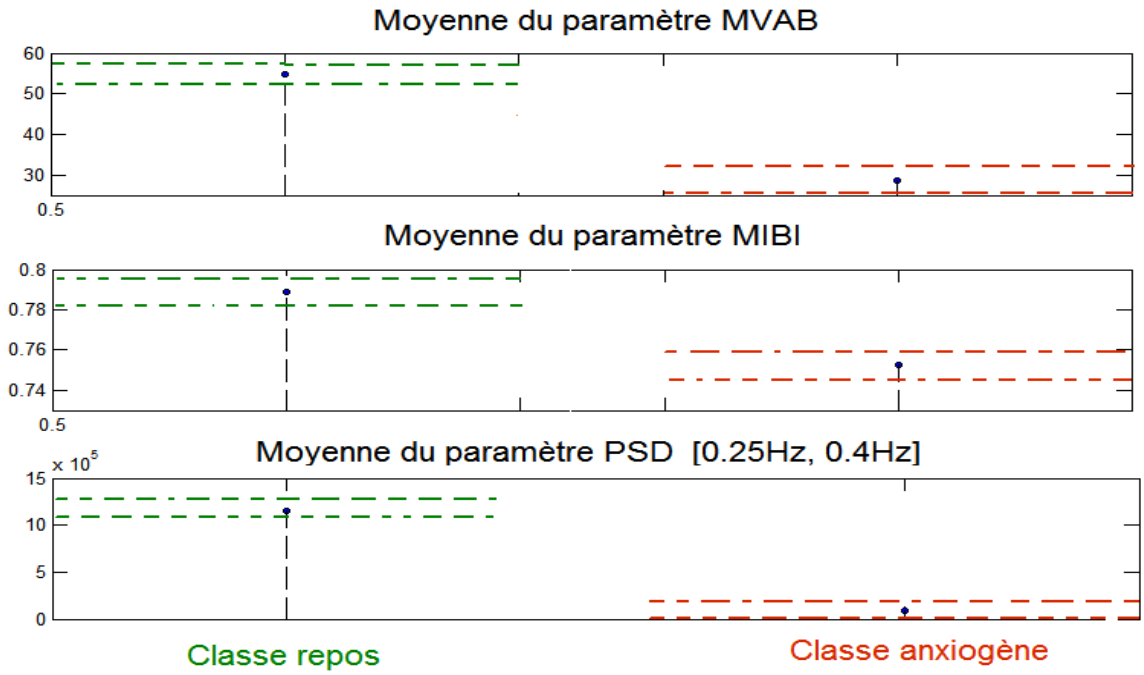


Figure 38. Tendance de l'intervalle de chaque paramètre.

Après avoir choisis les différents intervalles, nous allons procéder à l'évaluation du modèle conformément aux étapes montrées dans la Figure 39.

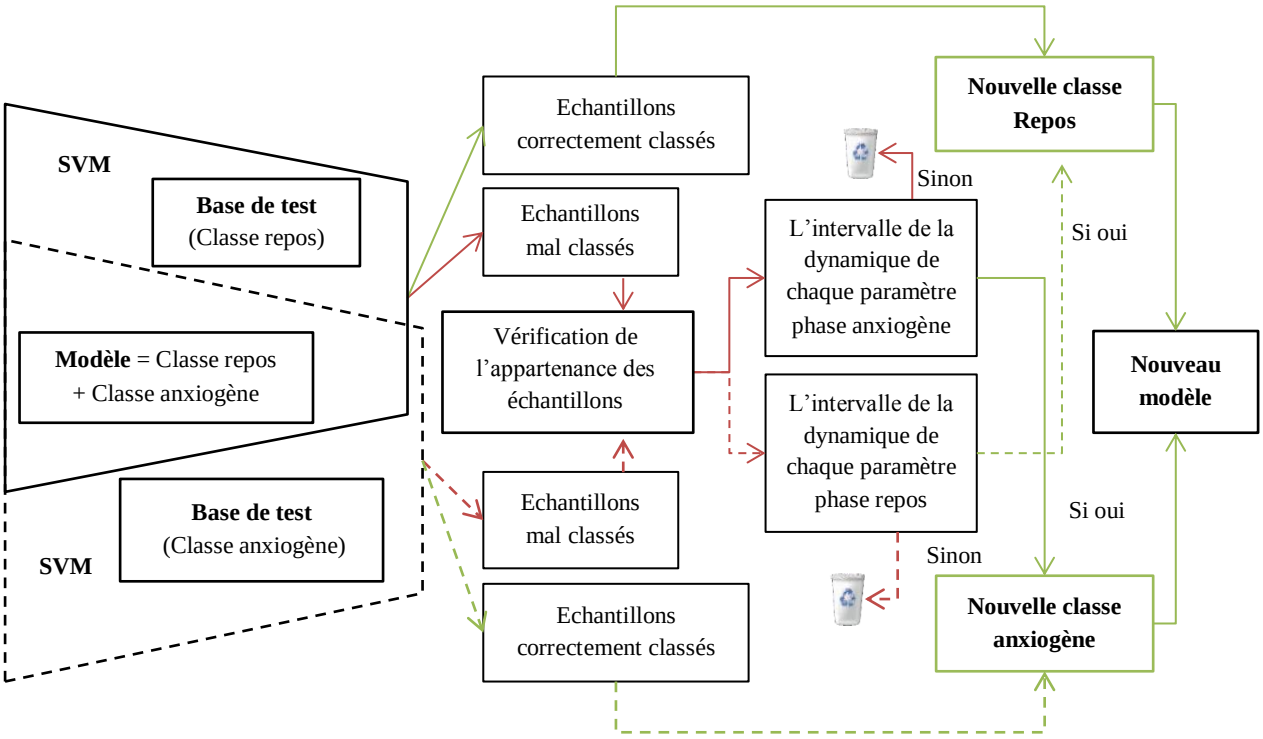


Figure 39. L'algorithme d'évaluation suivi pour deux classes.

La matrice de confusion de la nouvelle base d'apprentissage ne montre aucune confusion entre les deux classes. Donc nous avons pu construire une base de données plus fiable pour la reconnaissance de l'anxiété en utilisant une méthode d'évaluation objective. La figure suivante représente les états émotionnels des quatorze utilisateurs après filtrage de la base d'apprentissage (Figure 40). Le premier signal en partant du haut est le signal d'entrée idéal conformément au protocole (Consigne), les signaux suivants représentent l'état émotionnel de chaque utilisateur pendant l'expérience. Le dernier signal représente la moyenne des nouveaux états émotionnels des quatorze sujets. En analysant ce signal nous remarquons une amélioration des états mais cela ne change pas la conclusion faite auparavant : les sujets étaient anxieux au début de l'expérience, ce qui peut être dû au capteur. Nous remarquons aussi que les sujets n'étaient pas tout le temps calmes dans la phase relaxation et n'étaient pas tous le temps anxieux dans la phase anxiogène.

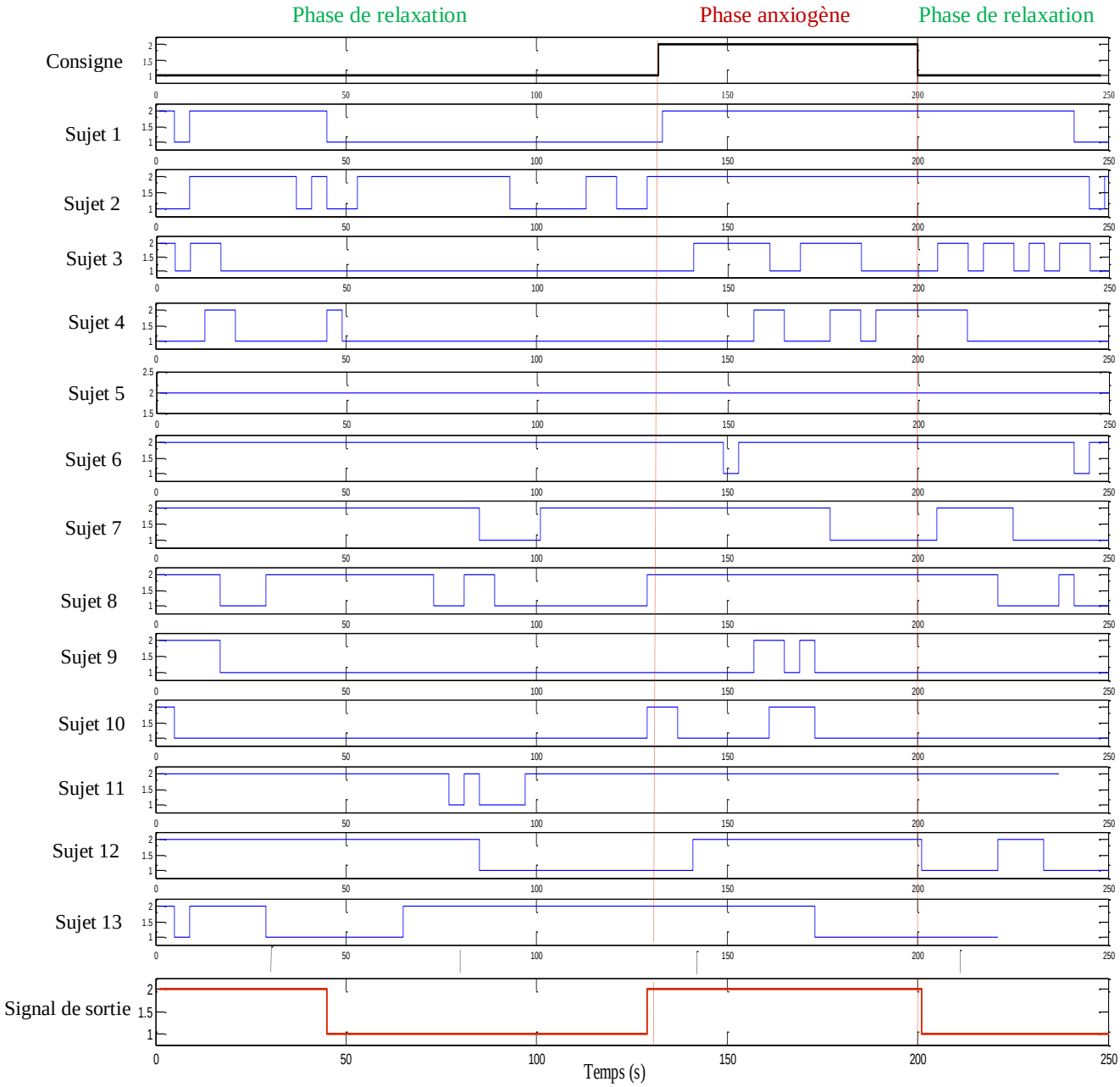


Figure 40. Les états émotionnels des utilisateurs durant l'expérience après filtrage des données (Base à deux niveaux d'anxiété).

La figure suivante (Figure 41) représente le signal final obtenu en sommant les états de tous les utilisateurs. Pour sommer nous avons pris comme hypothèse que l'état émotionnel des sujets suit fidèlement le protocole nous avons pris ensuite l'état émotionnel dominant chaque 4s.

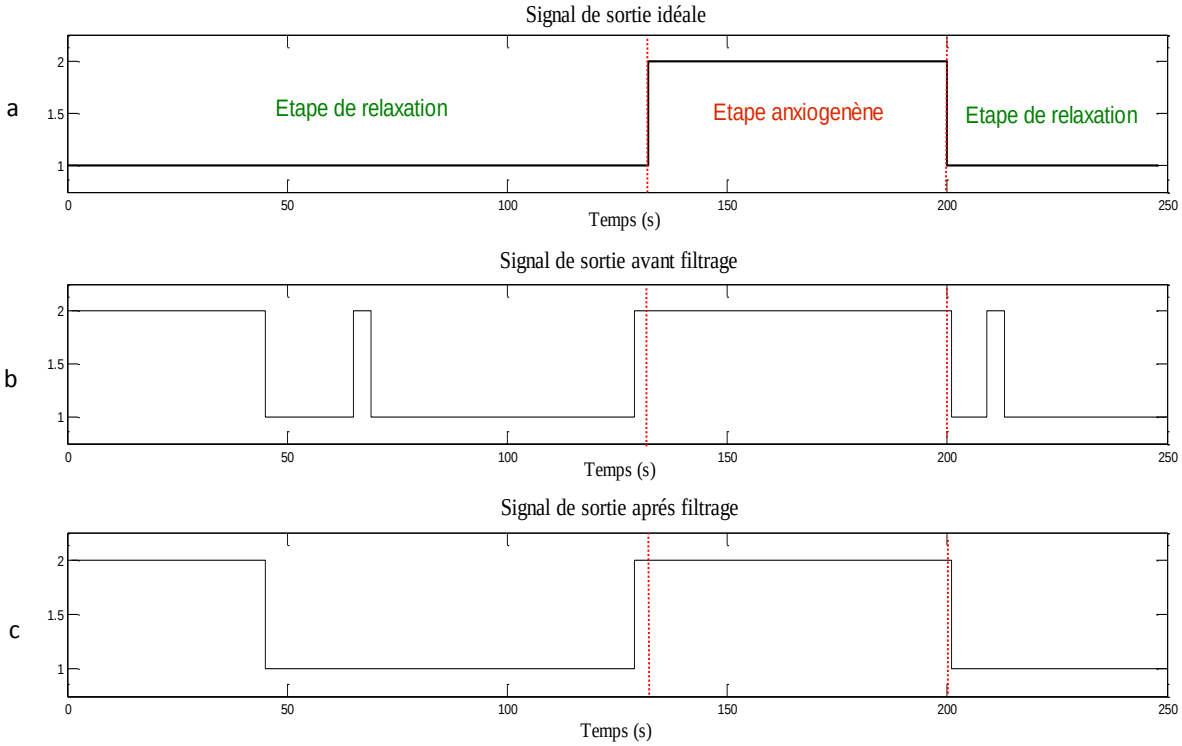


Figure 41. Le signal d'entrée idéal et le signal de sortie de l'état dominant sur tous les sujets. (1 correspond au repos et 2 correspond à l'anxiété).

Nous remarquons sur le signal de sortie qu'au début de l'expérience les sujets étaient anxieux alors que nous étions dans la phase de relaxation. Pour cela nous supposons que cet état d'anxiété est moins intense que celui ressenti lors de l'étape anxiogène.

Pour vérifier la fiabilité du signal de sortie (**Figure 41**, b) nous avons calculé la fiabilité du résultat (Equation 2). Les résultats sont montrés dans la figure suivante.

$$Fiabilité\ (\%) = \frac{Maximum(nombre\ des\ sujets\ calmes, nombre\ des\ sujets\ anxieux)}{Tous\ les\ sujets} * 100 \qquad (2)$$

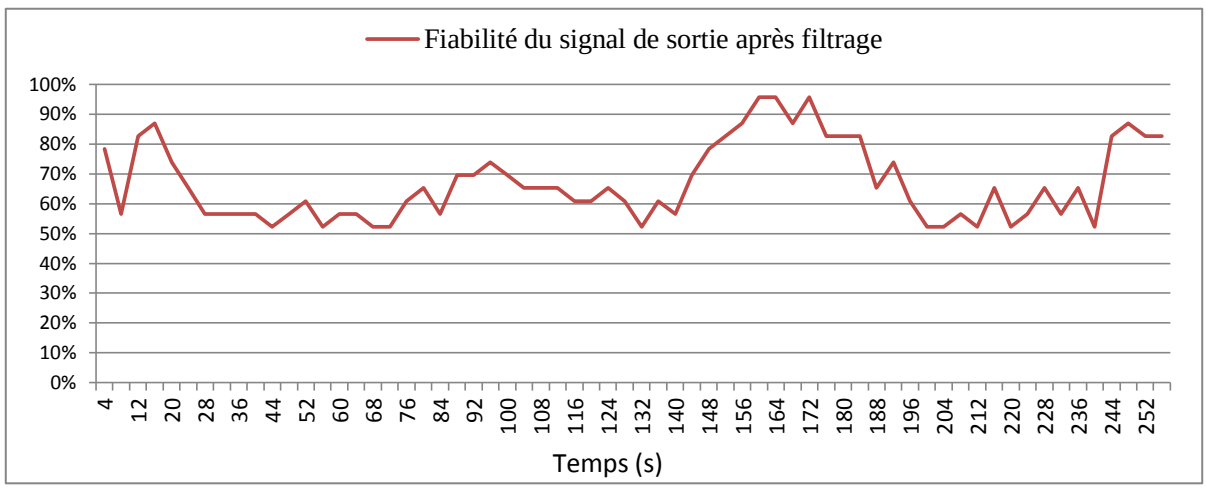


Figure 42. La fiabilité du signal de sortie après filtrage.

De cette figure nous remarquons qu'au début de l'expérience dans l'intervalle [4s, 44s] ainsi que pendant chaque transition : [132s, 148s] et [194s, 204s] la fiabilité est de 50% de fiabilité (nombre de sujets en repos dans la phase de relaxation est le même que ceux anxieux). Les périodes temporelles restantes correspondent à une fiabilité plus grande que 50% (plus que la moitié des sujets ont eu la même réaction durant le reste de l'expérience).

L'analyse du signal de fiabilité du début de l'expérience soutient l'hypothèse que le niveau d'anxiété est moindre que celui de la phase anxiogène. Pour cette raison nous avons décidé d'ajouter un autre niveau d'anxiété au système de reconnaissance et construire une nouvelle base de données contenant trois classes : classe repos (aucune anxiété), anxiété niveau 1 et anxiété niveau 2. Nous avons déjà les classes « aucune anxiété » et « anxiété niveau 2 », alors nous avons pris les quarante premières secondes de la phase relaxation. Ensuite nous avons calculé les trois paramètres sélectionnés. Comme auparavant nous avons constitué deux bases indépendantes : base d'apprentissage contenant quatorze sujets (420 échantillons), base de test contenant neuf sujets (270 échantillons).

Le résultat de classification SVM des trois niveaux d'anxiété (aucune anxiété, anxiété niveau 1 et anxiété niveau 2) est de 88%.

La matrice de confusion de la base d'apprentissage montre plus de confusion dans la classe « Anxiété niveau 2 » (7%) que dans la classe « Aucune anxiété » (2%) et enfin une confusion de 4% pour la classe « anxiété niveau 1 ».

Tableau 13. La matrice de confusion de la nouvelle base d'apprentissage.

Matrix confusion	Aucune anxiété	Anxiété niveau 1	Anxiété niveau 2
Aucune anxiété	98%	2%	0%
Anxiété niveau 1	2%	96%	2%
Anxiété niveau 2	0%	7%	93%

La matrice de confusion montre que la confusion entre la classe «aucune anxiété » et la classe «anxiété niveau 2 » est nulle ce qui est dû au filtrage préalable.

La variation des paramètres sélectionnés dans la classe «anxiété niveau 1 » doit être localisé dans un intervalle entre les deux autres classes. Pour vérification nous avons calculé la moyenne de chaque paramètre dans chaque classe et nous les avons représentées dans la figure suivante (Figure 43).

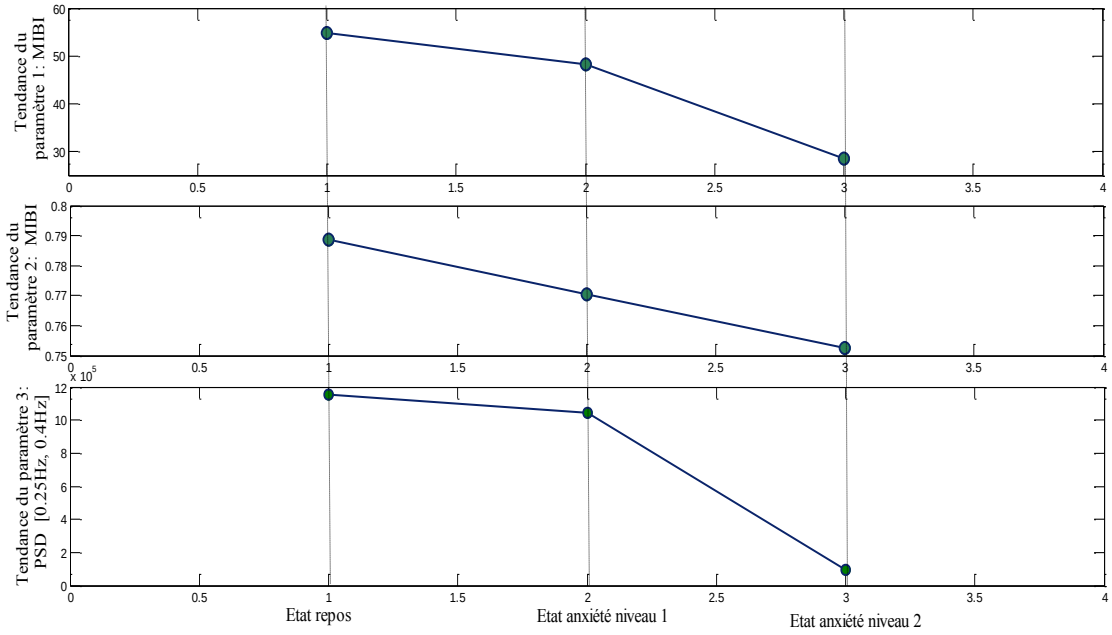


Figure 43. La tendance des paramètres de la base d'apprentissage pour chaque classe.

Cette tendance confirme la dynamique des trois paramètres déjà présentée. Elle confirme aussi que la variation des paramètres dans la classe « Anxiété niveau 1 » est bornée par les deux autres classes. Nous remarquons que la moyenne flottante de la variation d'amplitude (MVAB) décroit en partant de la classe repos jusqu'à la classe anxiété niveau 2. La tendance du paramètre MIBI aussi décroit en allant à la classe d'anxiété niveau 2. Enfin, la puissance de densité spectrale (PSD) de [0.25Hz, 0.4Hz] décroit aussi confirmant nos investigations et les résultats récoltés dans les différentes publications scientifiques.

La figure suivante généralise l'état émotionnel de tous les sujets. Elle montre que l'état dominant de [4s, 40s] est l'anxiété niveau1. Pour la période [24s, 130s] l'état dominant est aucune anxiété. L'état d'anxiété niveau 2 domine sur la période [130s, 200s]. Durant la période [200s, 250s] l'état de repos est largement dominant.

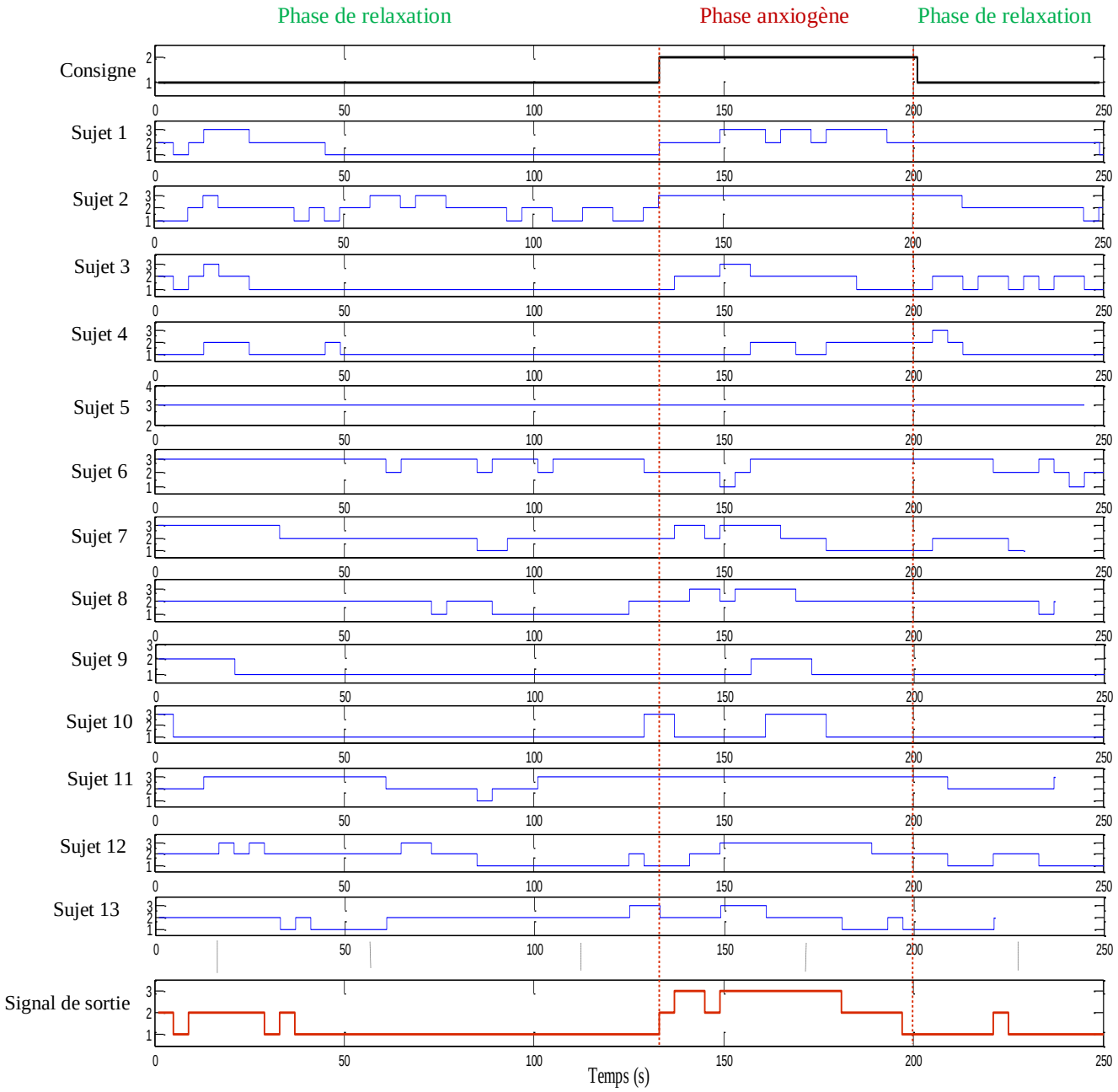


Figure 44. Niveaux d'anxiété des sujets pendant l'expérimentation (Base de trois niveaux d'anxiété).

Le premier signal en partant du haut est le signal d'entrée idéal conformément au protocole (Consigne), les signaux suivants représentent l'état émotionnel de chaque sujet pendant l'expérience, nous remarquons que la majorité des sujets ressentent une anxiété de niveau 1 lors du début de l'expérimentation ce qui confirme notre hypothèse que l'anxiété ressentie au début de l'expérience est moins intense que celle ressentie pendant la phase anxiogène.

Pendant l'expérience nous remarquons que les sujets n'ont pas les mêmes réactions aux mêmes moments vis-à-vis de l'environnement virtuel. La moyenne des états émotionnels des quatorze sujets chaque quatre secondes est représentée par le signal de sortie. Ce signal nous confirme que les sujets étaient bien anxieux au début de l'expérience. Nous remarquons aussi

que les sujets n'étaient pas tout le temps au repos dans la phase relaxation ainsi que dans la phase anxiogène les sujets n'étaient pas tout le temps anxieux. Le signal d'entrée ainsi que le signal de sortie sont illustrés dans la Figure 45.

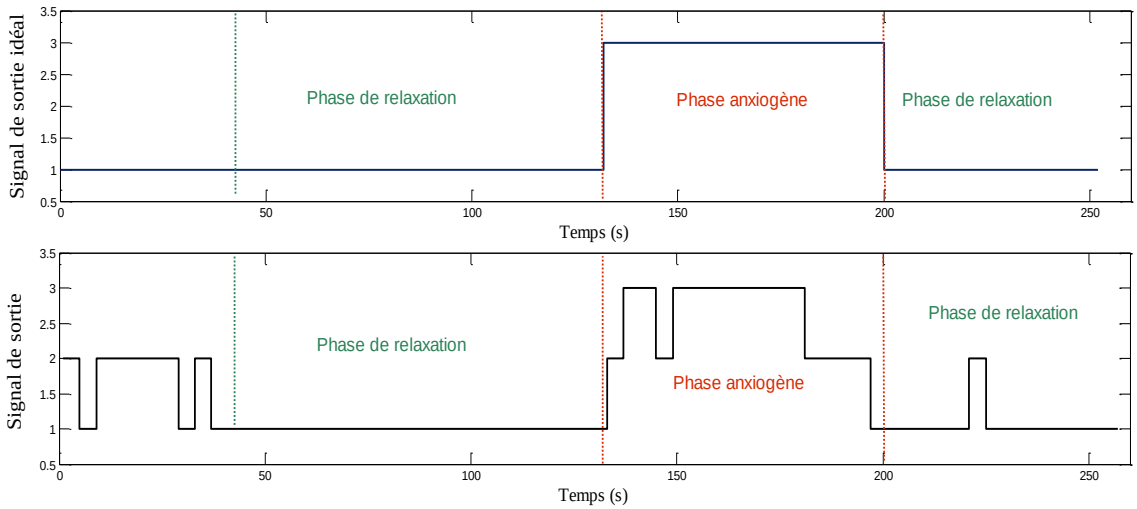


Figure 45. Le signal d'entrée idéal et le signal de sortie de l'état dominant sur tous les sujets.
(1 correspond à aucune anxiété, 2 correspond à anxiété niveau 1 et 3 correspond à anxiété niveau 2).

De la même manière que dans la Figure 42 nous avons calculé la fiabilité du signal de sortie (Figure 46).

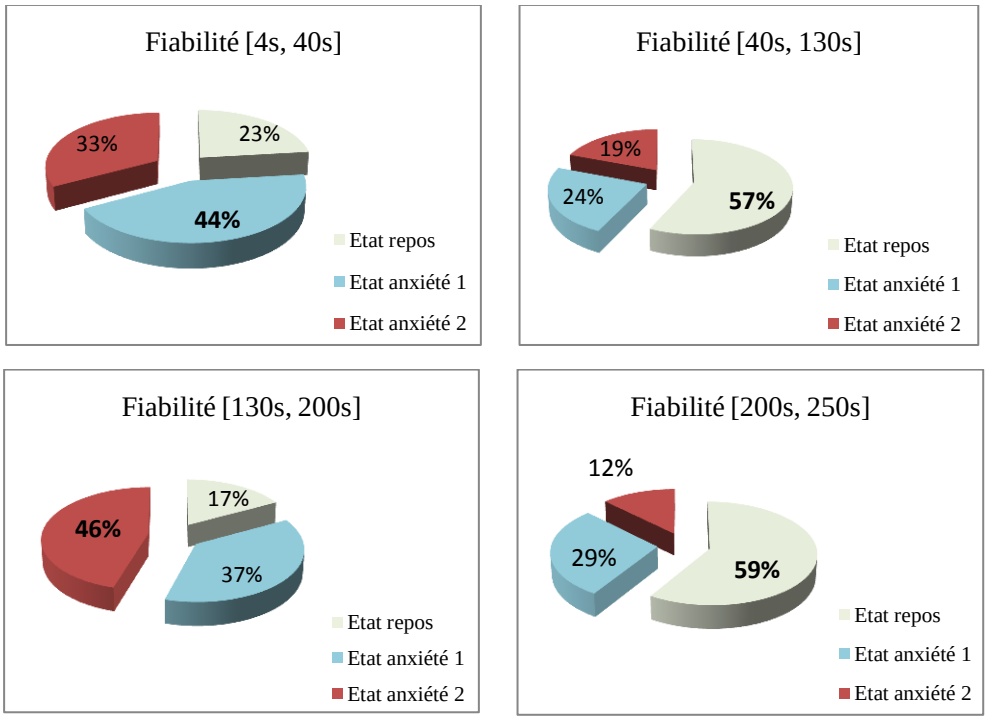


Figure 46. La fiabilité du signal de sortie regroupant tous les sujets.

Les résultats montrés dans la Figure 46 représentent la fiabilité du signal de sortie. Nous notons que depuis le début de l'expérience jusqu'à 24s l'anxiété niveau 1 l'emporte avec une fiabilité de 33 % face à 44 % de fiabilité pour l'anxiété niveau 2 et 23% pour le repos. Dans

cette période [0, 24s] le système dispose d'un niveau de fiabilité de 77 % pour la reconnaissance de l'anxiété (anxiété niveau 1 et anxiété niveau 2). De [24s, 130s] la fiabilité du signal est de 57% en faveur de la classe repos (aucune anxiété) face à 43% pour les deux niveaux d'anxiété. Pour l'étape anxiogène [130, 200s] la fiabilité est de 46 % pour l'anxiété niveau 2 et 37 % pour l'anxiété niveau 1 (la fiabilité de reconnaissance des deux niveaux d'anxiété est de 83 %). Pour la deuxième étape de relaxation, nous avons 59 % de fiabilité du signal pour le repos (Aucune anxiété) face à 41% de fiabilité pour les deux niveaux d'anxiété. Nous pouvons remarquer que les sujets n'ont pas les mêmes réactions à l'égard de l'exposition à l'environnement virtuel i.e. l'environnement induit plusieurs niveaux d'anxiété, mais ce n'est pas certain que les sujets ressentiront le même niveau d'anxiété pendant l'exposition. Le changement des taux de fiabilités est dû aux différentes réponses des sujets envers le stimulus.

En ce qui concerne l'évaluation du sens de présence , le résultat du questionnaire de présence l'IPQ [121] (Tableau 14) montre que les participants ont expérimenté des sensations assez semblables (valeurs des écarts types sont comprises entre 0.34 et 0.56).

Tableau 14. Les moyennes et écarts type des résultats du questionnaire de l'IPQ.

IPQ	Moyenne	Ecart type
SP	1.13	0.34
INV	1.45	0.56
REAL	0.87	0.43

Une valeur de 1.13 (=0.34) pour la présence spatiale n'est pas très significative, c'est une valeur inférieur à la moyenne qui veut dire que les participants ne se sont pas vraiment senti présents physiquement dans l'EV, ni eu l'impression qu'il les entourait.

La valeur enregistrée de l'implication INV est de 1.45 (=0.56) ce qui représente une valeur un peu au-dessous de la moyenne. Cette variable mesure l'implication de l'utilisateur ainsi que l'attention prêtée à notre EV.

Nous rappelons que l'EV est projeté sur un simple écran d'ordinateur, une souris sert d'outil de navigation, ce qui pourrait expliquer les valeurs moyenne du SP et de l'INV et la valeur faible de la présence générale 0.87 (=0.43).

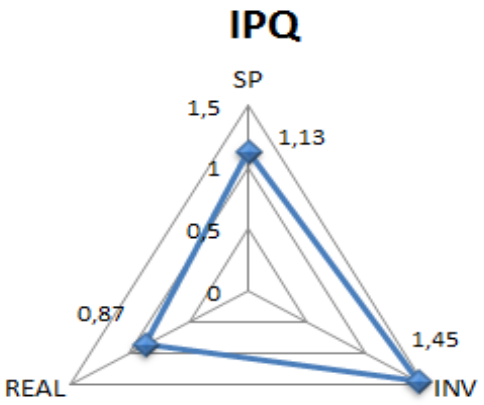


Figure 47. Résultat du questionnaire IPQ.

IV. 2.3. Discussions

Dans cette étude nous avons obtenu 97% de taux de reconnaissance de l'anxiété. Ce taux a été obtenu en utilisant des bases indépendantes constituées de deux classes : Classe repos (Aucune anxiété) et classe anxiété. Pour des bases indépendantes constituées de trois classes (Aucune anxiété, anxiété niveau 1, anxiété niveau 2), on a obtenu 96% de taux de reconnaissance avec les classificateurs SVM. Les taux de reconnaissance ont été obtenu par le traitement d'un seul signal physiologique « Le signal de pression sanguine volumique » mesuré sur des sujets sains présentant un certain niveau d'anxiété lors de situations sociales selon l'échelle d'anxiété sociale de Liebowitz (LSAS). De ce signal nous avons extrait des paramètres pertinents et dont on connait leur dynamique lors d'une situation stressante. Cette dynamique nous a permis de construire un modèle fiable pour la reconnaissance de l'anxiété. Ces performances de classification obtenues dans ce travail sont comparables aux autres travaux cités dans le Tableau 15, les taux de reconnaissance obtenus au cours de cette étude sont encourageants en comparables avec les autres travaux qui utilisent plusieurs capteurs. On peut aussi comparer le nombre de paramètres extraits et les méthodes de traitements utilisées.

Cependant on doit prendre en considération que chaque étude utilise son propre modèle contenant différents données physiologiques et contient différentes émotions. Ce qui fait qu'une comparaison directe n'est pas faisable. La méthode de validation des données est une étape très importante dans toutes les études concernant la reconnaissance des émotions.

Tous les travaux cités dans le tableau suivant ont utilisés des méthodes subjectives dépendantes des sujets et leur perception du stimulus alors que dans notre étude, on a utilisé une méthode objective se basant sur la dynamique des paramètres sélectionnés.

Tableau 15. Revue des performances de plusieurs travaux sur la reconnaissance des émotions à partir des signaux physiologiques.

Auteurs	Inducteur	Evaluation	Capteurs utilisés	Emotions	Paramètres	Résultats
Kim et al. [96]	Multimodale : Visuel, audio et cognitive	Auto évaluation des sujets	Electrocardiogramme, activité électrodermale, Température de la peau	Tristesse, colère, stress, surprise	3 paramètres statistiques et 2 paramètres spectraux	61.76%
Healey et al. [97]	Repos, conduite en ville city, et dans l'autoroute+ vidéo	Auto évaluation des sujets	Electromyographie, électrocardiogramme, activité électrodermale, respiration, vidéo	3 niveaux de stress	9 paramètres statistiques, 4 paramètres spectraux pour la respiration	97%
Wagner et al [98]	Quatre morceaux de music	Méthodes de sélection et réduction des paramètres	Electromyographie, électrocardiogramme, conductance de la peau, respiration	Joie, colère, tristesse, et plaisir	32 paramètres statistiques et fréquentiels	80%
Li et al. [99]	Film	Questionnaire	Température de la peau, conductance de la peau, respiration, électrocardiogramme	Peur, joie, neutre	22 paramètres statistiques et fréquentiels	85.3%
Kim et al. [100]	Music	Auto évaluation des sujets	Electromyographie, électrocardiogramme, conductance de la peau, respiration	Différentes combinaisons de l'arousal et niveau de valence	14 on110 Paramètres	95%
Maaoui et al. [101]	International affective picture System (IAPS)	SAM (Self-Assessment Manikin)	Pression sanguine volumique, électromyographie, conductance de la peau, respiration, température de la peau	6 émotions basiques	6 paramètres statistiques pour chaque signal	92%
Katsis et al. [68]	International affective picture System(IAPS)	SAM (Self-Assessment Manikin)	Pression sanguine volumique, rythme cardiaque, conductance de la peau, respiration	Niveaux d'appréhensions	7 paramètres statistiques	84.3%
Byoung Jun Park et al. [102]	audio-visuel, clips capturé à partir de films, documentaires, and TV	Auto évaluation des sujets	Température de la peau, photo-pléthysmographie, activité électrodermale et l'électrocardiogramme	Joie, tristesse, colère, peur, dégout, surprise, et Stress	28 paramètres	70%

L'observation des réactions des sujets sains a permis de confirmer l'impact de la stimulation par ERV (Figure 47). Fortement influencés par leur sensibilité aux stimuli les sujets phobiques sont censés avoir des réactions plus intenses.

Lors de ces expériences, nous avons aussi pu observer que les réactions de l'ensemble des sujets sains pendant l'immersion suivaient rigoureusement le protocole.

Nous avons aussi rendu le modèle d'anxiété construit, plus fiable et sûre. Ce qui permettra aux thérapeutes un meilleur suivi de l'évolution de la pathologie.

IV. 3. Résultats de la validation en milieu clinique

IV. 3.1. Modèle des sujets phobiques

Les résultats suivant portent sur l'étude expérimentale faite en clinique sur des sujets phobiques. Pour la construction du modèle, nous avons sélectionné 20 secondes de la phase de relaxation pour la classe de repos, puis 20 autres pour la classe de l'anxiété. Nous avons calculé les trois paramètres sélectionnés dans l'étude préliminaire : moyenne de l'intervalle entre deux battements (intervalle inter-beat, IBI), la variation de l'amplitude crête-à-crête du BVP (VAB), la puissance de densité spectrale des fréquences [0.25Hz, 0.4Hz]. Ensuite, nous avons formé deux bases indépendantes, base d'apprentissage (composée de 4 sujets) et base de test (les trois autres sujets).

Nous avons atteint un taux global de 76% pour les deux états. La matrice de confusion de ces données montre que nous avons beaucoup plus de confusion dans l'état repos que dans l'état d'anxiété.

Tableau 16. Matrice de confusion.

Matrice de confusion	Repos	Anxiété
Repos	85%	15%
Anxiété	5%	95%

Les résultats obtenus dans la matrice de confusion sont encourageantes. Cependant, ils sont basés sur un modèle non validé. Comme nous l'avons remarqué dans l'étude concernant les sujets sains, se fier seulement à l'inducteur n'est pas suffisant pour former un modèle représentant les émotions ciblées. Sachant que les sujets phobiques sont souvent traités au cas par cas (cela dépend généralement de la sévérité du trouble) renforce cette remarque. Ainsi avoir un modèle fiable constitue un atout considérable lors de telle étude.

IV. 3.2. Validation du modèle

Nous avons testé la classification en utilisant le modèle obtenu dans l'étude précédente. Ce qui nous a permis de considérer les échantillons des personnes phobiques comme une base de test. Le classifieur statistique SVM a atteint un taux global de reconnaissance de 82%.

Tableau 17. Matrice de confusion de la base de test.

Matrice de confusion	Repos	Anxiété
Repos	65%	35%
Anxiété	4%	96%

La matrice de confusion de la base test constituée de données des personnes phobiques (Tableau 17) montre que nous avons plus de confusion dans la phase repos (35%) face à une confusion minime dans la classe anxiogène (4%).

Ces résultats confortent notre hypothèse qu'utiliser un bon inducteur ou un protocole rigoureux peut rendre le modèle fiable. D'autres paramètres doivent être pris en considération comme l'état du sujet et sa perception du stimulus…etc. Pour cela nous présentons dans la suite les résultats concernant chaque sujet phobique individuellement. Ce qui nous permettra de montrer les différentes phases de l'expérimentation pour chaque sujet et sa réaction envers chacune (Tableau 18). Une comparaison entre les résultats de ce tableau et les autoévaluations des patients (le patient doit donner un chiffre sur une échelle de 0 à 100 lors des deux premières phases) durant l'expérience sera faite.

Le sujet 1 souffre de phobie sociale plus de l'agoraphobie selon le diagnostic du psychothérapeute. Il est en début de traitement médicamenteux. Son état pendant l'expérience montre qu'il n'arrivait pas à garder son calme et cela durant les différentes étapes avec 8% de l'état repos face à 92% d'état d'anxiété durant la phase 1 « relaxation ». Durant la phase 2 « anxiogène » 95% pour l'état d'anxiété face à 5% pour l'état de repos. Enfin pour la deuxième phase de relaxation (phase 3), nous avons obtenu 11% pour l'état de repos et 89% pour celui d'anxiété. L'auto-évaluation pendant les deux premières phases était de 50. Le psychothérapeute a noté un problème d'étalonnage par le patient.

Le sujet 2 est atteint de phobie sociale et mis sous traitement. Il était calme à 81% face à 19% d'état d'anxiété durant la phase 1 « relaxation ». Durant la phase 2 « anxiogène » 47% pour l'état d'anxiété face à 53% pour l'état de repos. Pour la phase 3, nous avons obtenu 47% pour l'état de repos face à 53% pour l'état d'anxiété. Le sujet à évaluer son anxiété à 20 lors

de la première phase de l'expérience. Pendant la deuxième phase, il a évalué son niveau d'anxiété à 80. L'autoévaluation a bien coïncidée avec le niveau d'anxiété donné dans le Tableau 18.

Le sujet 3 est souffrant de phobie sociale et est en début de traitement. Il a été anxieux lors de toute l'expérience selon son auto-évaluation (60 pour la première phase et 80 pour la deuxième phase). Selon le Tableau 18, il était anxieux à 100% durant la phase 1 et la phase 2. Durant la phase 3, nous avons obtenu 4% pour l'état de repos et 96% pour celui d'anxiété.

Pendant la phase 1, le sujet 4 était dans un état d'anxiété 100%. Ensuite il s'est calmé à 77% durant la phase 2 « anxiogène » face à 23% d'état d'anxiété. Enfin pour la phase 3, nous avons obtenu 80% pour l'état de repos et 42% pour celui d'anxiété. Ce sujet souffre de phobie sociale sous traitement et en voie d'amélioration. Sa réaction était faible lors de la phase anxiogène qui peut être justifié par l'amélioration de son état suite au traitement. L'anxiété ressentie lors de la première phase peut être justifié par l'ignorance du contenu des EVs. Il a évalué son anxiété à 10 et à 70 lors de la première phase et deuxième phase respectueusement. En comparant ces résultats, on remarque que le patient a mal évalué son état lors de la phase relaxation.

Le sujet 5 souffre de phobie du regard. Il était anxieux globalement durant toute l'expérience avec 100% d'anxiété durant la phase 1. Durant la phase 2, il était anxieux à 99%. Durant la troisième phase, nous avons obtenu 5% pour l'état de repos et 95% pour celui d'anxiété. Son auto-évaluation était de 75 durant la phase 1 et de 70 durant la deuxième phase. Le niveau d'anxiété baisse mais reste le problème d'étalonnage.

Le sujet 6 souffrant de phobie sociale et trouble d'anxiété générale n'a pas réagi à l'expérience. Nous avons obtenu 93% de repos durant la première phase contre 7% d'anxiété, 71% d'état repos durant la deuxième phase contre 29% d'anxiété et repos à 100% durant la troisième phase. Les résultats de l'auto-évaluation sont de 10 et de 30 pour la phase 1 et la phase 2 respectueusement. Ces résultats coïncident avec la reconnaissance automatique de l'état d'anxiété.

Le sujet 7 souffre de phobie sociale depuis un an et six mois et il est sous traitement. Il était en repos durant pratiquement toute l'expérience avec 88% durant la phase 1 contre 12% d'anxiété et 94% de calme durant la phase 2 contre 6% d'anxiété. Suite au manque de réaction du sujet le psychothérapeute a décidé d'arrêter l'exposition après la phase anxiogène. Cela est

confirmé par les résultats de l'auto-évaluation lors de l'exposition avec 30 pour la phase 1 et 10 pour la phase 2.

Tableau 18. Différents états des sujets durant les différentes phases de l'expérience (base à deux niveaux).

	Pourcentage des états dans la phase 1		**Pourcentage des états dans la phase 2**		**Pourcentage des états dans la phase 3**	
	Repos	**Anxiété**	**Repos**	**Anxiété**	**Repos**	**Anxiété**
Sujet 1	8%	92%	5%	95%	11%	89%
Sujet 2	81%	19%	53%	47%	47%	53%
Sujet 3	0%	100%	0%	100%	4%	96%
Sujet 4	0%	100%	77%	23%	71%	29%
Sujet 5	0%	100%	1%	99%	5%	95%
Sujet 6	93%	7%	71%	29%	100%	0%
Sujet 7	88%	12%	88%	12%	-	-

Notons que les durées de la phase de relaxation diffèrent pour chaque sujet. Pour les sujets 1, 3 et 5, on remarque qu'ils ont ressenti de l'anxiété durant l'expérience sans présenter des différences entre les phases de relaxation et celle anxiogène. Le sujet 2 a eu un niveau d'anxiété croissant lors des différentes phases sans avoir une réaction propre pour la phase anxiogène. Le sujet 4 n'a pas réagi à l'exposition aux EVs vu qu'il était anxieux avant mais s'est vite calmé lors des phases restantes.

Les sujets 6 et 7 ont été dans un état de repos pendant toute l'expérience et ont pu contrôler leurs états d'anxiété face aux situations redoutées. Lors des auto-évaluations, les sujets ont bien identifiés leur état mais jamais bien leur niveau d'anxiété. Cette remarque est valable pour tous les sujets.

Pour avoir plus d'informations sur les réactions des sujets face à l'expérimentation, nous avons utilisé le modèle à trois niveaux d'anxiété construit avec des données de sujets sains de l'étude préliminaire. Les résultats sont illustrés dans le Tableau 19.

Tableau 19. Différents états des sujets durant les différentes phases de l'expérience (base à trois niveaux).

	Pourcentage des états dans la phase 1			Pourcentage des états dans la phase 2			Pourcentage des états dans la phase 3		
	Repos	**Anxiété 1**	**Anxiété 2**	**Repos**	**Anxiété 1**	**Anxiété 2**	**Repos**	**Anxiété 1**	**Anxiété 2**
Sujet 1	0%	78%	22%	3%	78%	19%	3%	93%	4%
Sujet 2	65%	35%	0%	35%	64%	1%	33%	64%	3%
Sujet 3	0%	15%	85%	0%	27%	73%	1%	80%	19%
Sujet 4	0%	100%	0%	49%	51%	0%	25%	73%	2%
Sujet 5	0%	15%	85%	0%	8%	92%	0%	25%	75%
Sujet 6	79%	21%	0%	49%	48%	3%	78%	22%	0%
Sujet 7	75%	25%	0%	80%	20%	0%	-	-	-

Durant toute l'expérience, le sujet 1 était dans un état d'anxiété niveau 1 avec 78% pour les deux premières phases et 93% pour la dernière phase. Ce résultat correspond mieux à l'auto-évaluation donnée (50 pour les deux premières phases) (Figure 78).

Durant les différentes phases, l'état du sujet 2 était un mélange entre état de repos et l'anxiété niveau 1. Lors de la première phase, le repos l'emporte avec 65% contre 35% pour l'anxiété niveau 1. L'auto-évaluation pour cette phase est de 20. Durant la phase 2, nous avons obtenu 64% d'anxiété niveau 1 et 35% de repos avec une auto-évaluation de 80. Ces pourcentages n'ont pratiquement pas changé durant la phase 3 avec 33% pour le repos et 64% pour l'anxiété niveau 1 (Figure 79).

Les résultats du sujet 3 montrent que l'anxiété niveau 2 domine durant les deux premières phases avec 85% et 73% respectivement. L'auto-évaluation durant ces phases est de 50 et 80 respectivement. Cela identifie l'état d'anxiété mais malheureusement avec un problème d'étalonnage. Enfin durant la phase 3, c'est l'état d'anxiété niveau 1 qui l'emporte avec 80% face à 19% pour l'anxiété niveau 2 et 1% pour l'état de repos (Figure 80).

L'auto-évaluation du sujet 4 est de 10 pour la phase 1 et 70 pour la phase 2. Elle ne correspond à la reconnaissance automatique de l'état émotionnel (100% d'anxiété niveau 1 durant la phase 1 et 51% d'anxiété niveau 1 face à 49% de repos durant la phase 2). Enfin, pendant la phase 3, le sujet était de 73% l'état d'anxiété niveau 1 face à 25% pour l'état repos et le reste pour l'anxiété niveau 2 (2%) (Figure 81).

Les conclusions faites auparavant pour le sujet 5 restent les mêmes «Il était anxieux durant toute l'expérience » avec 85% d'anxiété niveau 2 durant la phase 1 (15% d'anxiété niveau 1) et 92% d'anxiété niveau 2 durant la phase 2 (8% d'anxiété niveau 1). Enfin pour la phase 3, il était anxieux (niveau 2) à 75% face à 25 % d'anxiété niveau 1. Il a pu identifier l'état d'anxiété durant les différentes phases (75, 70) mais le problème d'étalonnage subsiste encore (Figure 82).

Pour le sujet 6 l'état dominant durant l'expérience était l'état de repos avec 79% face à 21% pour anxiété 1. Durant la phase 2, le repos l'a emporté avec 49% face 48% pour l'anxiété 1 et 3% pour l'anxiété 2 (Figure 83). Idem pour le sujet 7, le repos était dominant durant les deux phases avec 75% face à 25% ensuite 80% face à 20% (Figure 84).

Nos déductions pour le sujet 1 3 et 5 se confirment. La majorité des états obtenus sont l'anxiété niveaux 1 et anxiété niveau 2. Cela montre qu'effectivement ces sujets avaient du mal à contrôler leur anxiété face aux environnements virtuels.

L'anxiété niveau 2 a été rarement ressentie par les sujets 2 et 4. Ce qui montre que ces sujets souffrent d'anxiété légère et qu'ils peuvent plus au moins se contrôler et cacher leur réticence. Enfin pour les sujets 6 et 7 on voit bien que ces deux sujets sont presque tout le temps en état de repos, quelques fois ils ressentent de l'anxiété niveau 1 et rarement de l'anxiété niveau 2.

IV. 3.3. Discussions

Les résultats de l'étude clinique montre encore une fois que l'utilisation d'un modèle fiable facilite la reconnaissance de l'anxiété et a permet un meilleur diagnostic en évitant les problèmes d'étalonnage des données subjectives acquises.

La validation en clinique a aussi permis de prendre conscience des difficultés de l'utilisation des systèmes de reconnaissances sur des sujets phobiques. Ainsi de l'importance de posséder un modèle fiable pour pouvoir personnaliser le traitement en prenant en compte le niveau d'anxiété, la perception du stimulus, enfin tous les paramètres pouvant influer sur les résultats de l'expérience. L'utilisation du modèle construit lors de l'étude préliminaire a

permis la comparaison des résultats des sujets phobiques pour proposer des solutions utiles afin d'améliorer le diagnostic. Ce système est facile à utiliser ce qui a été apprécié par le praticien.

Chapitre V: Conclusions et perspectives

V. 1. Conclusions

Dans ce travail, nous avons proposé une approche de reconnaissance de l'anxiété pour une application de thérapie cognitive comportementale in virtuo. L'étude bibliographique des travaux concernant la reconnaissance des émotions, nous a permis d'identifier le problème du manque de supports d'informations fiables correspondant aux différentes situations émotionnelles. Dans ce contexte plusieurs volets ont été traités :

- Traduction du questionnaire en environnements virtuels adaptés ;
- Reconnaissance de l'anxiété en utilisant le seul signal physiologique BVP ;
- Evaluation objective basée sur le comportement des paramètres sélectionnés ;
- Construction d'un modèle fiable basé sur des sujets non phobiques ;

- Elaboration d'un modèle à trois niveaux d'anxiété.

Dans le cadre de l'induction de l'anxiété, nous avons développé plusieurs environnements virtuels anxiogènes ciblant des situations sociales redoutées inspirées de l'échelle d'anxiété sociale de Liebowitz LSAS (Page 84). Ces environnements sont de type statique qui durent quelques minutes n'ayant pas pour objectif le traitement par exposition. Ces environnements ont permis une bonne induction de l'anxiété.

Le deuxième volet a porté sur la présentation d'une approche de reconnaissance de l'anxiété à partir du seul signal de pression sanguine volumique (Blood volume pulse BVP). La présence de plusieurs capteurs (électromyogramme (EMG), électrocardiogramme (ECG), respiration,…) sur le corps du patient perturbe considérablement l'expérience thérapeutique et en particulier la sensation de présence. Pour cette raison, l'utilisation du seul signal physiologique « Pression sanguine volumique, BVP » nous semble décisive. L'utilisation d'un capteur non invasif et non intrusif 'caméra' semblerait une meilleure solution mais malheureusement les sujets phobiques ont catégoriquement refusés son utilisation car elle crée une gêne considérable en donnant l'impression d'un manque d'intimité. Nous n'avons pas besoin d'identifier l'état émotionnel du patient (joie, tristesse, …), mais seulement sa nature : positive, neutre ou négative.

Nous avons établi la relation du signal BVP avec le processus émotionnel de l'anxiété dans le Chapitre III: Afin d'avoir une représentation adéquate de ces relations, nous avons calculé un ensemble de paramètres pertinents classés en utilisant les séparateurs à vastes marges SVM, ces paramètres sont :

1. La moyenne flottante de l'IBI (MIBI) qui reflète la variabilité cardiaque et qui diminue au cours du stress [68] [104] [107].
2. La moyenne de la variation de l'amplitude crête-à-crête du BVP (MVAB) qui donne des informations sur l'activation du système sympathique et indique la constriction [104].
3. L'estimation de la puissance de densité spectrale (PSD) [0.25Hz, 0.4Hz] qui reflète une portion de l'arythmie respiratoire sinusale (ARS) et l'activité du système parasympathique [113] [112] [110]. L'activité de ce système décroit durant le stress.

Les séparateurs à vastes marges (SVM) ont été choisis pour la classification des données et pour valider notre approche. Les résultats obtenus sont cohérent pour les sujets sains ainsi que pour les sujets phobiques.

Nous avons enregistré deux bases de données. La première dans notre laboratoire dans des conditions réelles avec une induction reposant sur l'ERV et sur des personnes présentant un niveau d'anxiété léger et moyen face aux situations sociales mais qui ne sont pas sous traitement psychologique. La deuxième base a été acquise dans une clinique spécialisée dans les thérapies cognitive comportementale en Algérie sous contrôle d'un psychothérapeute spécialisé dans les thérapies cognitives comportementales.

Ces deux bases ont pu être évaluées objectivement par l'utilisation des dynamiques des paramètres sélectionnés lors de situations de stress. Cette évaluation a permis la construction d'un nouveau modèle fiable prêt à être utilisé dans une application de TCC in virtuo pour le traitement de la phobie sociale. Cette évaluation a apporté à notre système de reconnaissance des données fiables pour régler le problème du manque de données acquises sur des sujets phobiques.

En conclusion, nous avons contribué essentiellement à construire un modèle fiable contenant trois niveaux d'anxiété. Ce modèle a permis l'enrichissement du système de reconnaissance pour lutter contre le manque de données. Aussi nous avons proposé un protocol expérimental rigoureux pour augmenter la fiabilité du système.

V. 2. Perspectives

L'ensemble des travaux de recherche qui ont été présentés dans ce rapport de thèse constitue une plateforme de départ pour certaines réflexions que nous envisageons d'approfondir et qui représentent de nouvelles perspectives de recherches.

a) Les environnements virtuels

Nous envisageons de développer aussi des environnements dynamiques contenant des scénarios complexes et muni de plusieurs situations anxiogènes ciblant le traitement de la phobie sociales et /ou autres phobies.

Le développement de plus d'environnements statiques plus réalistes représentant les différentes questions de l'échelle LSAS afin d'automatiser le diagnostic est en cours.

b) Protocole d'induction

Au niveau du protocole, nous pouvons procéder autrement par rapport aux sujets phobiques. Au lieu de défiler les différents environnements virtuels l'un après l'autre, nous pourrions les interrompre par une phase de relaxation pour identifier les situations les plus

redoutées. Aussi, nous pourrions augmenter la durée de la phase de relaxation afin de permettre aux sujets de se calmer et de réagir aux mieux aux moments voulus.

c) Mesure de l'émotion

Dans la suite de notre travail, nous envisageons d'implanter ce système de reconnaissance dans une application de TCC in virtuo.

Aussi le remplacement du capteur du signal BVP invasif par un autre non invasif (caméra par exemple) est en cours de développement.

On peut aussi enrichir la reconnaissance des émotions en utilisant d'autres informations telles que la parole et les gestes.

Annexes

Annexe 1 : Questionnaires

Échelle d'anxiété sociale de Liebowitz

Nom : …... Date : …. /…. /….

	ANXIÉTÉ 0 = Aucune 1 = Légère 2 = Moyenne 3 = Sévère	**ÉVITEMENT** 0 = Jamais 1 = Occasionnel 2 = Fréquent 3 = Habituel
1.Téléphoner en public		
2.Participer au sein d'un petit groupe		
3.Manger dans un lieu public		
4.Boire en compagnie dans un lieu public		
5.Parler à des gens qui détiennent une autorité		
6.Jouer, donner une représentation ou une conférence devant un public		
7.Aller à une soirée		
8.Travailler en étant observé		

9.Écrire en étant observé		
10.Contacter par téléphone quelqu'un que vous ne connaissez pas très bien		
11.Parler à des gens que vous ne connaissez pas très bien		
12.Rencontrer des inconnus		
13.Uriner dans les toilettes publiques		
14.Entrer dans une pièce alors que tout le monde est déjà assis		
15.Être le centre d'attention		
16.Prendre la parole à une réunion		
17.Passer un examen		
18.Exprimer son désaccord ou sa désapprobation à des gens que vous ne connaissez pas très bien		
19.Regarder dans les yeux des gens que vous ne connaissez pas très bien		
20.Faire un compte-rendu à un groupe		
21.Essayer de « draguer » quelqu'un		
22.Rapporter des marchandises dans un magasin		
23.Donner une soirée		
24.Résister aux pressions d'un vendeur insistant		
TOTAL	**A=**	**E=**

De manière générale, l'échelle est normalisée comme suit :

- Phobie sociale modérée :de 56 à 65.
- Phobie sociale marquée :de 65 à 80.
- Phobie sociale sévère :de 80 à 95.
- Phobie sociale très sévère : plus de 95.

Questionnaire de présence de Igroup (IPQ)

Nom : …..... **Date :** …./…./……

Voici plusieurs propositions qui peuvent s'appliquer à l'expérience que vous venez d'avoir. Indiquez, s'il vous plait, si chacune de ces propositions s'applique ou non à votre expérience. Vous pouvez utiliser n'importe quelle graduation. Il n'y a pas de bonne ou de mauvaise réponse, seule votre opinion est importante.

Vous remarquerez que certaines questions se ressemblent. Ceci est nécessaire pour des raisons statistiques. Rappelez-vous que vous devez répondre à ces questions en vous référant seulement à l'expérience que vous venez juste d'avoir.

A quel point étiez-vous conscient du monde réel environnant alors que vous étiez en train de naviguer dans le monde virtuel ? (par exemple : sons, température de la pièce, présence d'autres gens, etc.) ?

Extrêmement conscient — Pas conscient du tout

-3 -2 -1 0 +1 +2 +3

Modérément conscient

Comment le monde virtuel vous a-t-il semblé ?

Complètement réel — Pas du tout réel

-3 -2 -1 0 +1 +2 +3

J'ai eu la sensation d'agir dans l'espace virtuel plutôt que d'agir sur un quelconque mécanisme à l'extérieur de celui-ci.

Pas du tout d'accord — Complètement d'accord

-3 -2 -1 0 +1 +2 +3

A quel point votre expérience dans l'environnement virtuel vous a-t-elle semblée cohérente avec votre expérience dans le monde réel ?

Pas cohérente — Très cohérente

-3 -2 -1 0 +1 +2 +3

Modérément cohérente

A quel point le monde virtuel vous va-t-il semblé réel ?

A peu près aussi réel qu'un monde imaginé — Indistinguable du monde réel

-3 -2 -1 0 +1 +2 +3

Je ne me suis pas senti présent dans l'espace virtuel.

Pas senti présent — Senti présent

-3 -2 -1 0 +1 +2 +3

Je n'étais pas conscient de mon environnement réel.

Pas du tout d'accord — Tout à fait d'accord

-3 -2 -1 0 +1 +2 +3

Dans le monde généré par l'ordinateur, j'ai eu le sentiment "d'y être ".

Pas du tout Beaucoup

-3 -2 -1 0 +1 +2 +3

D'une certaine façon, j'ai eu l'impression que le monde virtuel m'entourait.

Pas du tout d'accord Tout à fait d'accord

-3 -2 -1 0 +1 +2 +3

Je me suis senti présent dans l'espace virtuel.

Pas du tout d'accord Tout à fait d'accord

-3 -2 -1 0 +1 +2 +3

Je faisais toujours attention à l'environnement réel.

Pas du tout d'accord Tout à fait d'accord

-3 -2 -1 0 +1 +2 +3

Le monde virtuel semblait plus réaliste que le monde réel.

Pas du tout d'accord Tout à fait d'accord

-3 -2 -1 0 +1 +2 +3

J'avais l'impression que j'étais juste en train de percevoir des images.

Pas du tout d'accord Tout à fait d'accord

-3 -2 -1 0 +1 +2 +3

J'étais complètement captivé par le monde virtuel.

Pas du tout d'accord Tout à fait d'accord

-3 -2 -1 0 +1 +2 +3

Le questionnaire de présence de i Group pour évaluer le sens de présence des participants, sa version actuelle est composée de trois sous-échelles plus un item du sens de présence générale qui n'appartient à aucune d'entre elles. Les trois sous-échelles sont :

- La présence spatiale : le sens d'être physiquement présent dans l'EV,
- L'implication : mesure l'attention dévouée à l'EV et l'implication expérimentée,
- Le réalisme expérimenté : mesure l'expérience subjective du réalisme dans l'EV.

Questionnaire des peurs

Nom : Ages : Sexe :

Date :

1)Veuillez choisir un chiffre dans l'échelle ci-dessous : il permet de chiffrer à quel point vous évitez par peur (ou de fait de sensations ou sentiments désagréables) chacune des situations énumérées ci-dessous. Ensuite, veuillez écrire le nombre choisi dans la case correspondant à chaque situation.

1.Principale phobie que vous voulez traiter (décrivez la à votre façon, puis cotez la de 0 à 8).....	
2.Injections et interventions chirurgicales minimes	
3.Manger et boire avec les autres	
4.Aller dans les hôpitaux	
5.Faire seul(e) des trajets en bus ou en car	
6.Se promener seul(e) dans des rues où il y a foule	
7.Etre regardé(e) ou dévisagé(e)	
8.Aller dans des magasins remplis de monde	
9.Parler à des supérieurs hiérarchiques ou à toute personne exerçant une autorité	
10.Voir du sang	
11.Etre critiqué (e)	
12.Partir seul(e) loin de chez vous	
13.Penser que vous pouvez être blessé(e) ou malade	
14.Parler ou agir en public	
15.Les grands espaces vides	
16.Aller chez le dentiste.....	
17.Toute autre situation qui vous fait peur et que vous évitez (décrivez la puis cotez la de 0 à 8).	

Ne pas remplir

AG SA-B SOC Total

2)Maintenant veuillez choisir dans l'échelle ci-dessous un chiffre qui montrera à quel degré vous souffrez de chacun des problèmes énumérés ci-dessous, puis inscrivez ce chiffre dans la case correspondante.

18. Sentiment d'être malheureux ou déprimé	
19. Sentiment d'être irritable ou en colère	
20. Se sentir tendu ou paniqué	

21. Avoir l'esprit tourmenté de pensées inquiétantes ….....	
22. Sentir que vous ou votre environnement (choses, personnes) sont irréels ou étranges ….....	
23. Autres sentiments pénibles (décrivez-les) :	
.....	

TOTAL

3)A combien évaluez-vous actuellement la gêne que représente dans votre vie votre comportement phobique ? Veuillez entourer un chiffre dans l'échelle ci-dessous et le reporter dans cette case :

0 1 2 3 4 5 6 7 8

Annexe 2 : Signaux des sujets sains contenu dans la base d'apprentissage avant et après l'évaluation

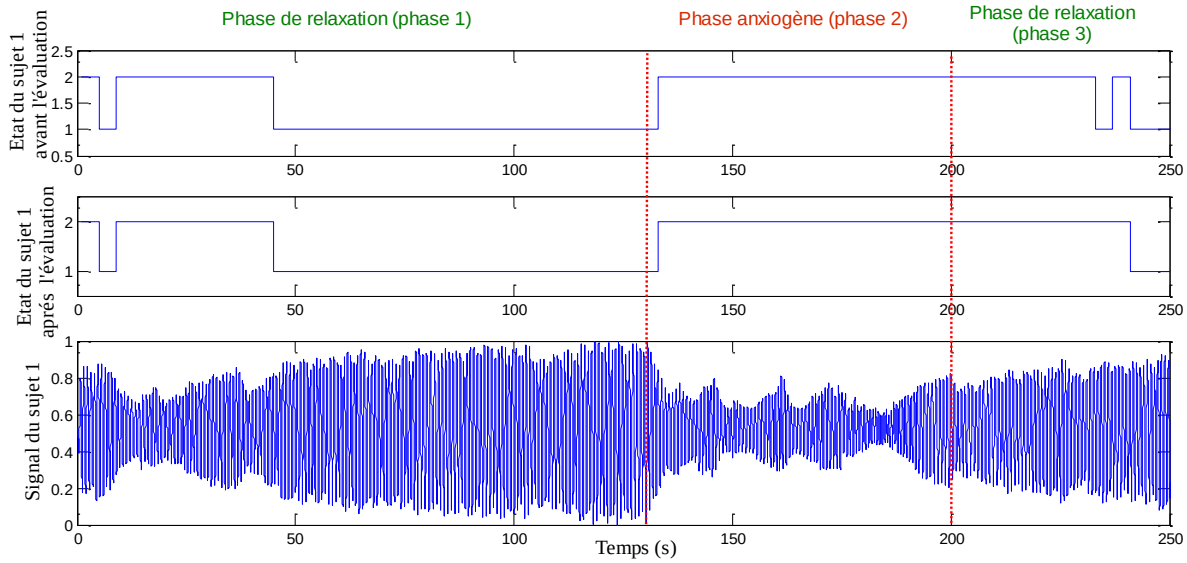


Figure 48. Etat du sujet 1 durant l'expérience avant et après l'évaluation.

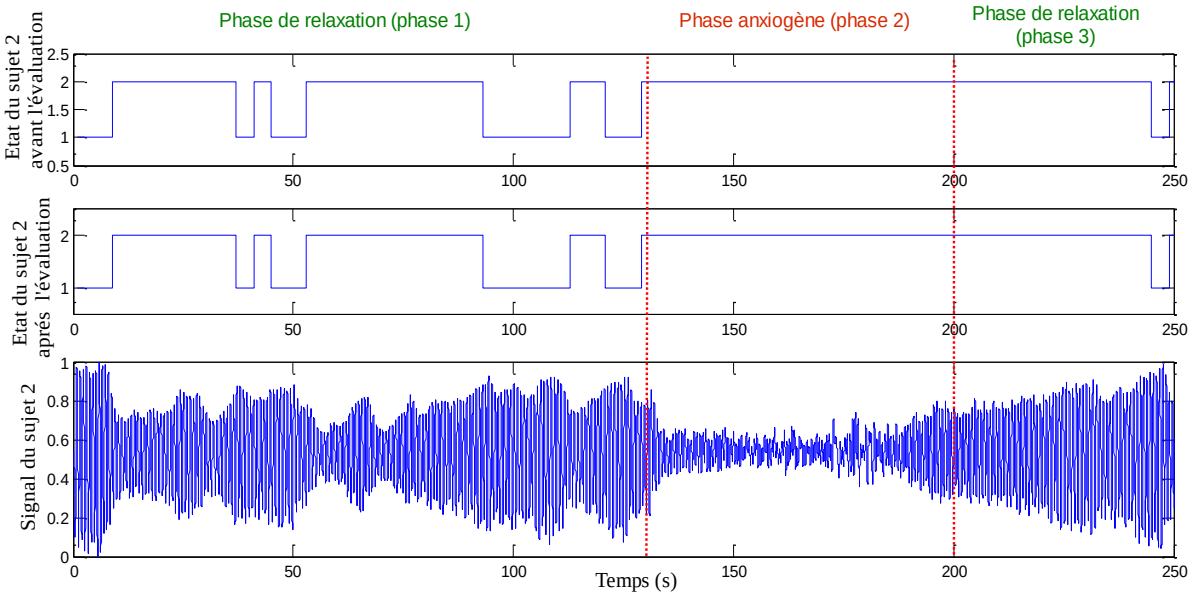


Figure 49. Etat du sujet 2 durant l'expérience avant et après l'évaluation.

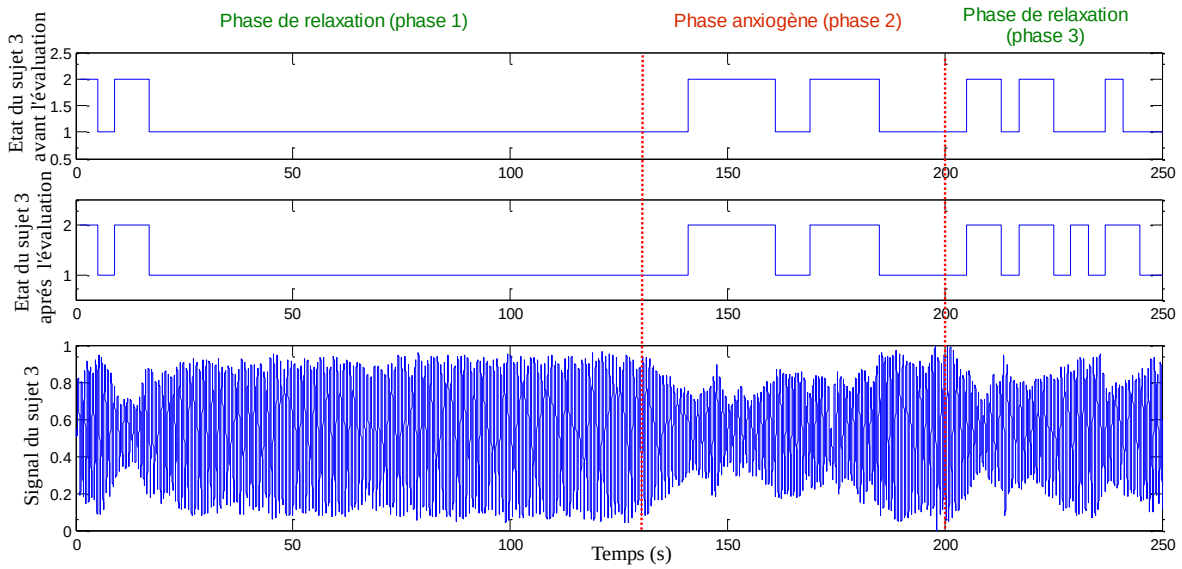


Figure 50. Etat du sujet 3 durant l'expérience avant et après l'évaluation.

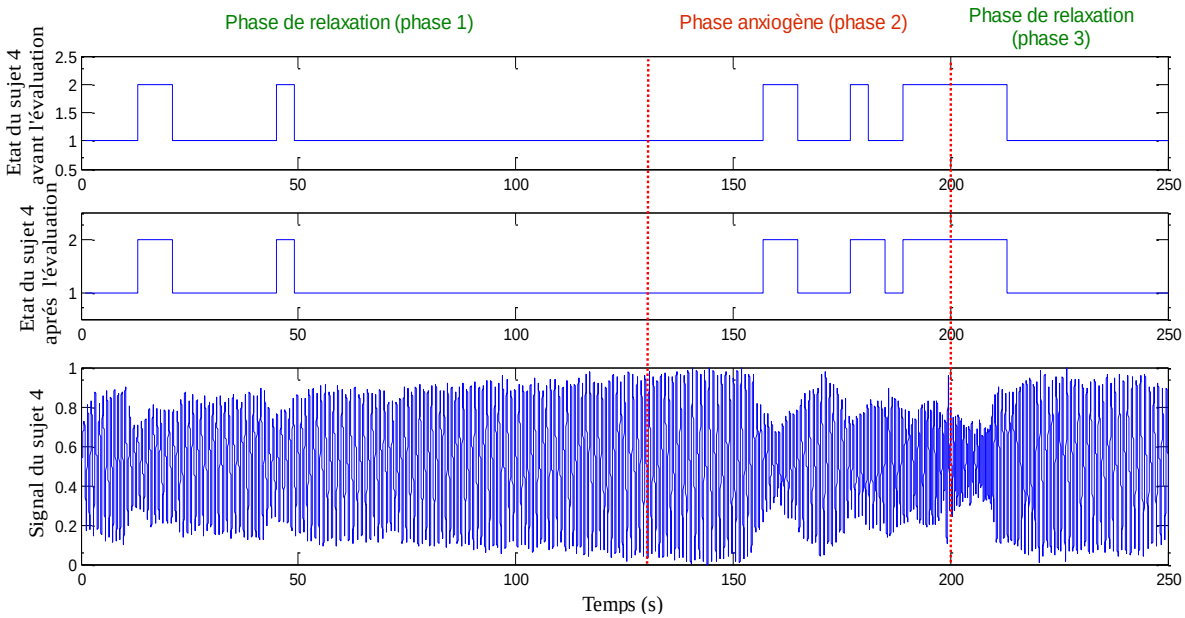


Figure 51. Etat du sujet 4 durant l'expérience avant et après l'évaluation.

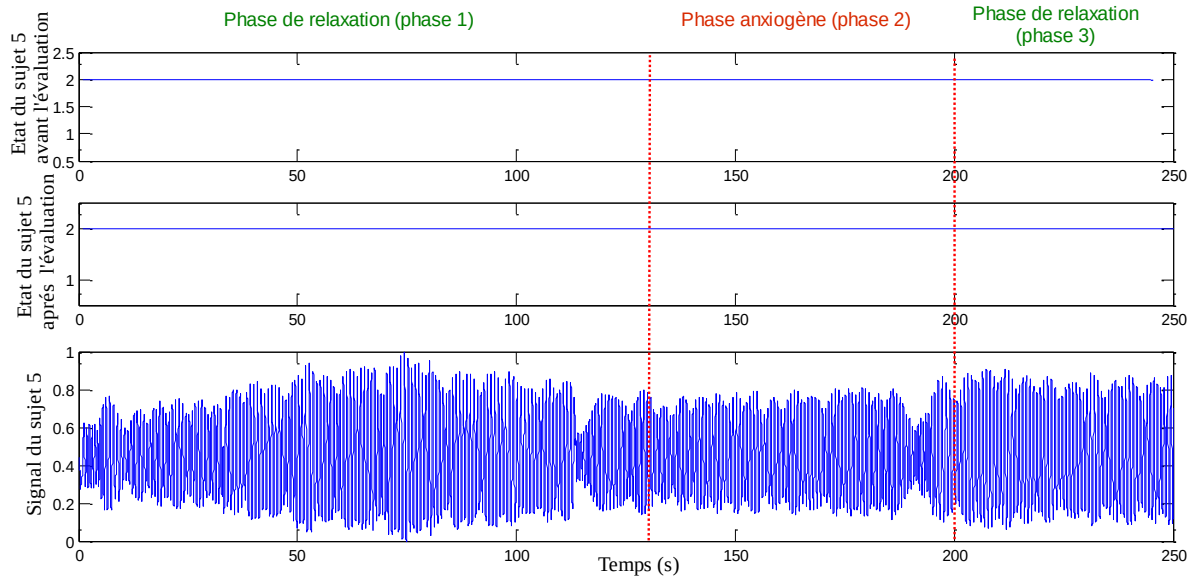


Figure 52. Etat du sujet 5 durant l'expérience avant et après l'évaluation.

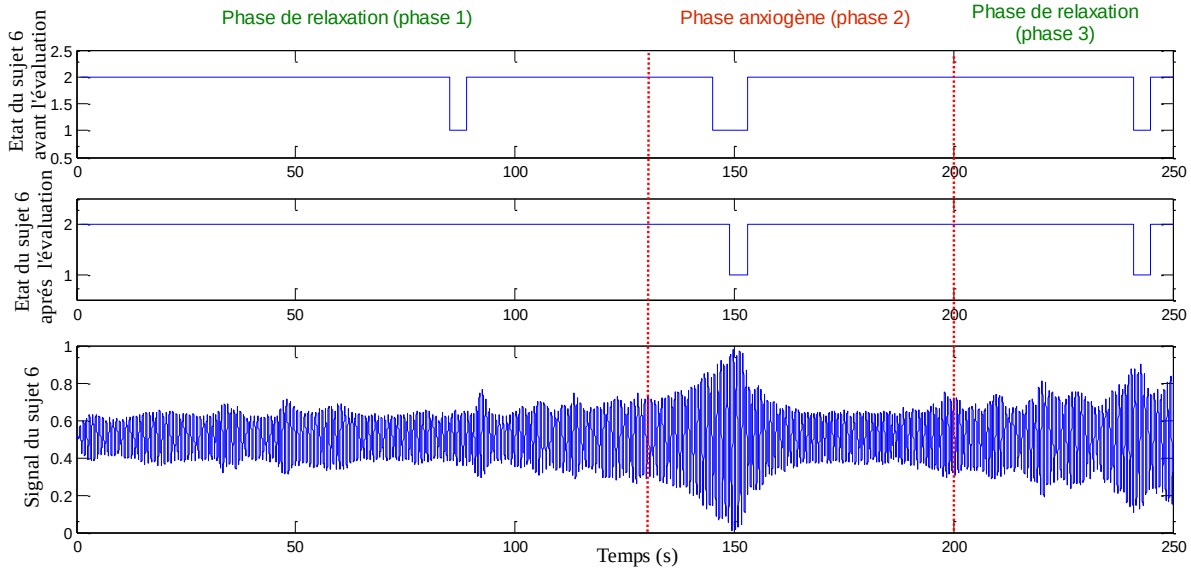


Figure 53. Etat du sujet 6 durant l'expérience avant et après l'évaluation.

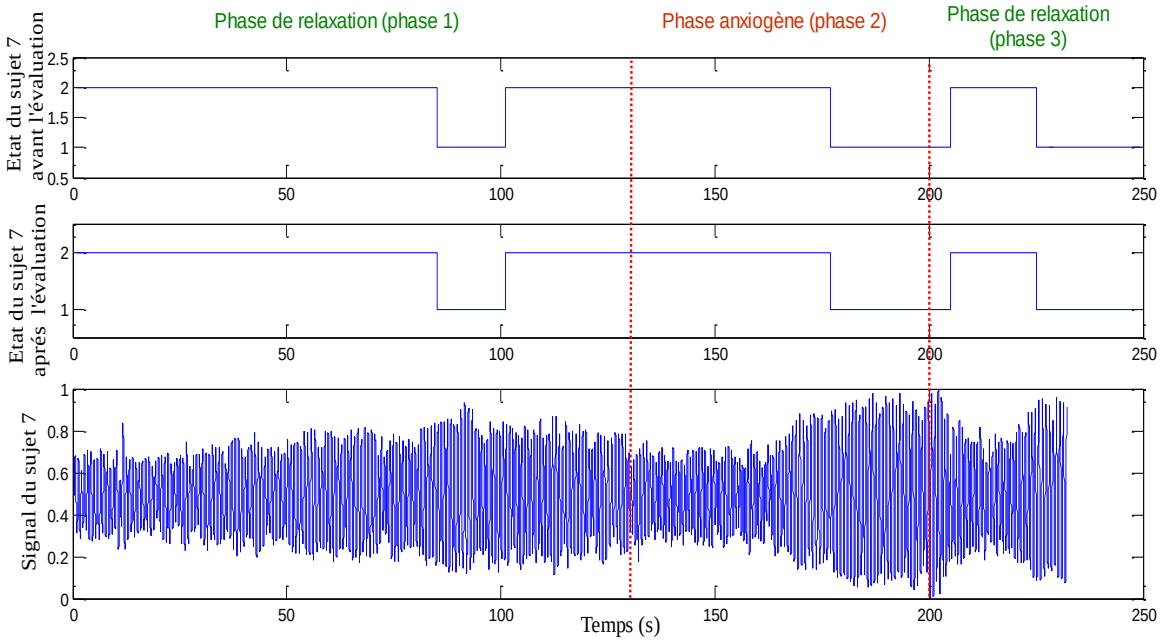


Figure 54. Etat du sujet 7 durant l'expérience avant et après l'évaluation.

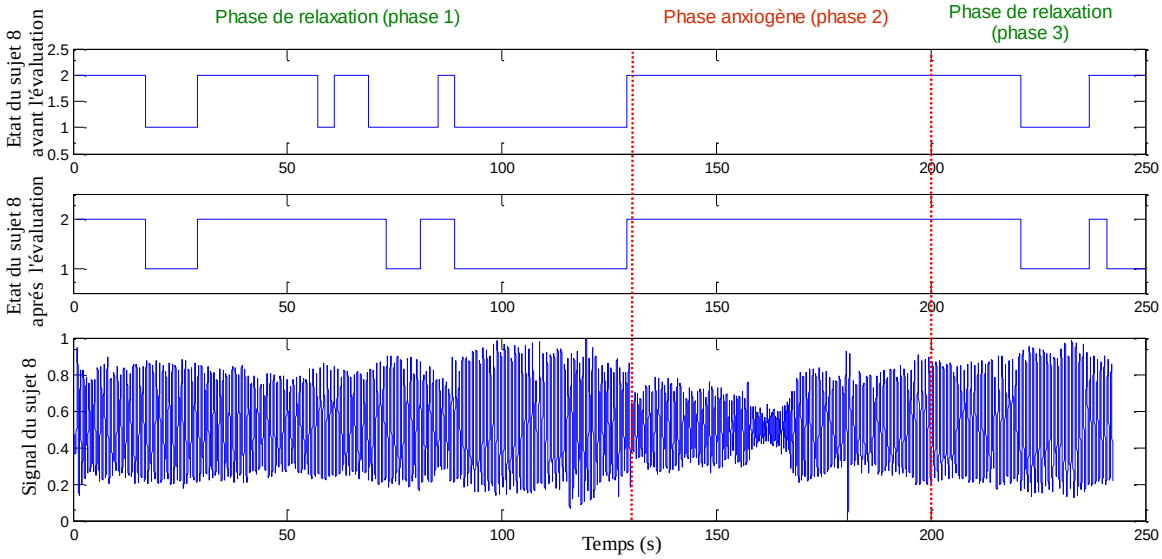


Figure 55. Etat du sujet 8 durant l'expérience avant et après l'évaluation.

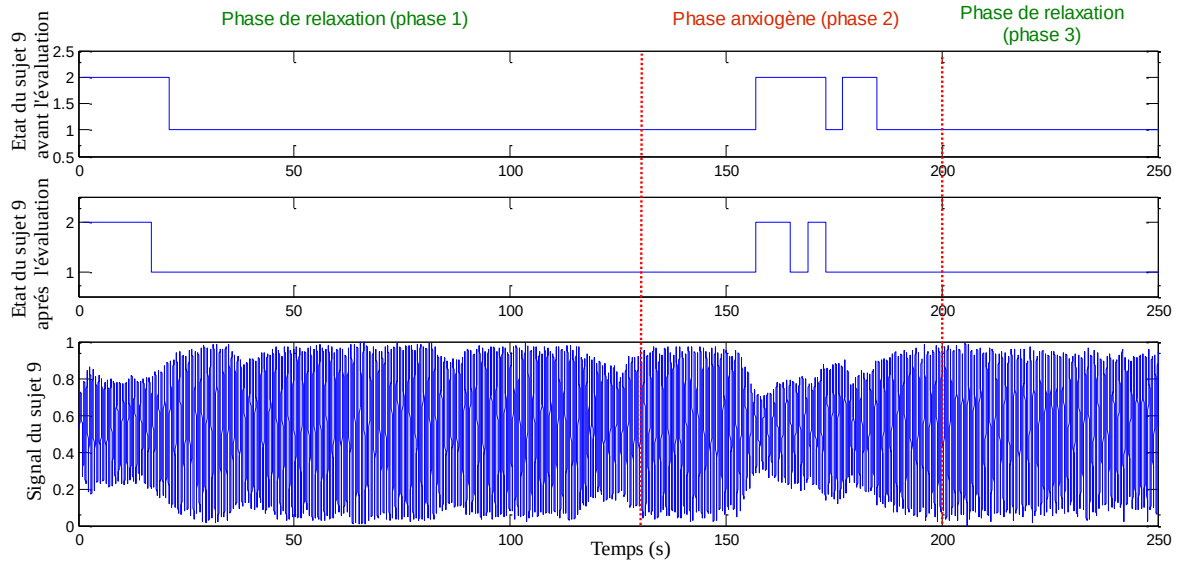


Figure 56. Etat du sujet 9 durant l'expérience avant et après l'évaluation.

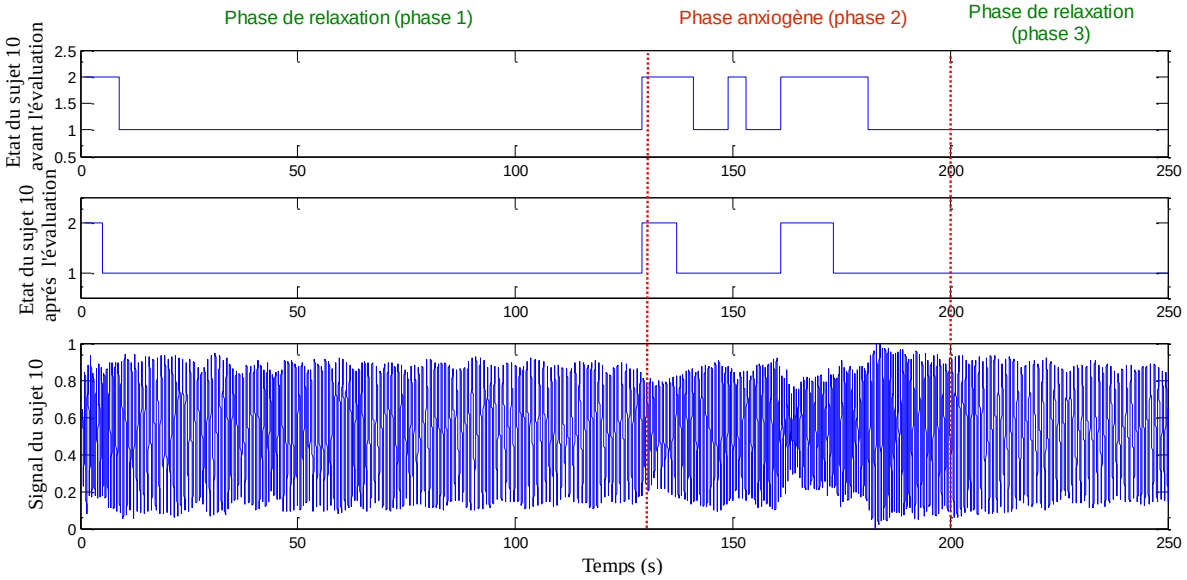


Figure 57. Etat du sujet 10 durant l'expérience avant et après l'évaluation.

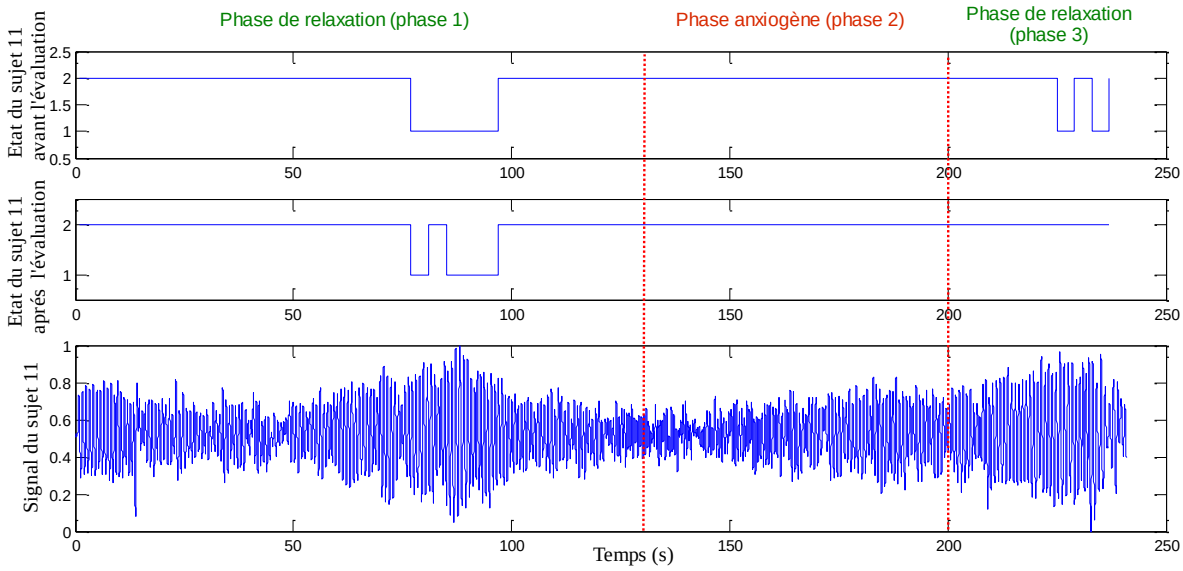


Figure 58. Etat du sujet 11 durant l'expérience avant et après l'évaluation.

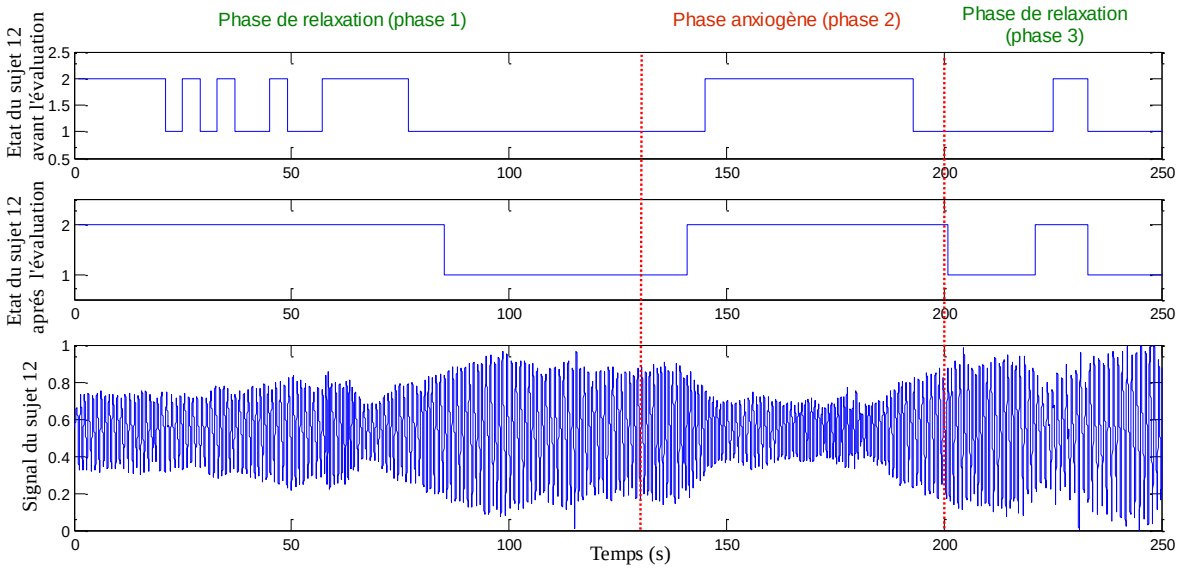


Figure 59. Etat du sujet 12 durant l'expérience avant et après l'évaluation.

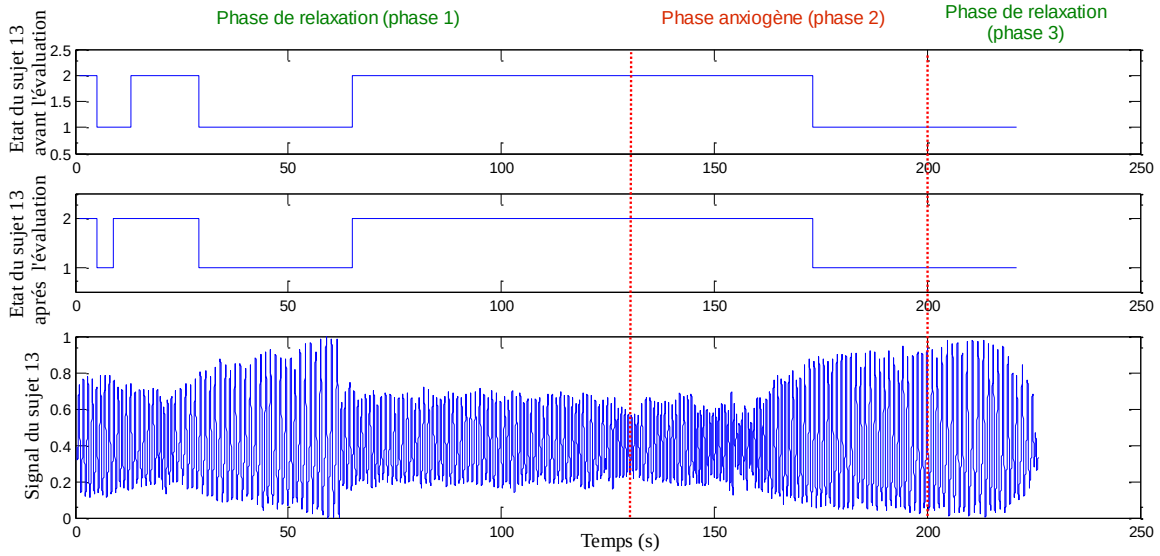


Figure 60. Etat du sujet 13 durant l'expérience avant et après l'évaluation.

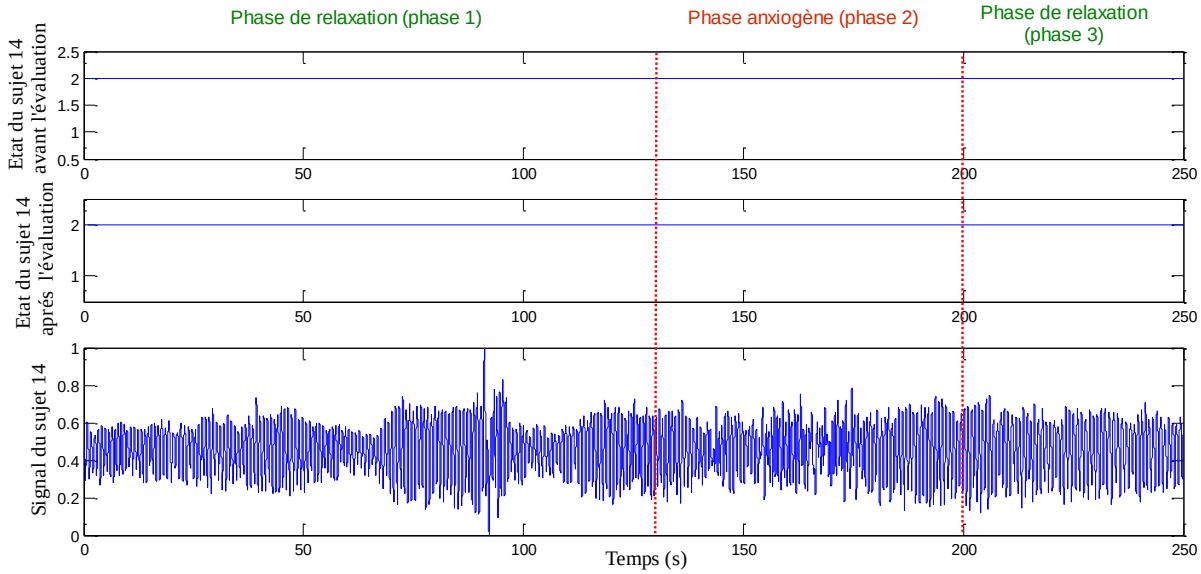


Figure 61. Etat du sujet 14 durant l'expérience avant et après l'évaluation.

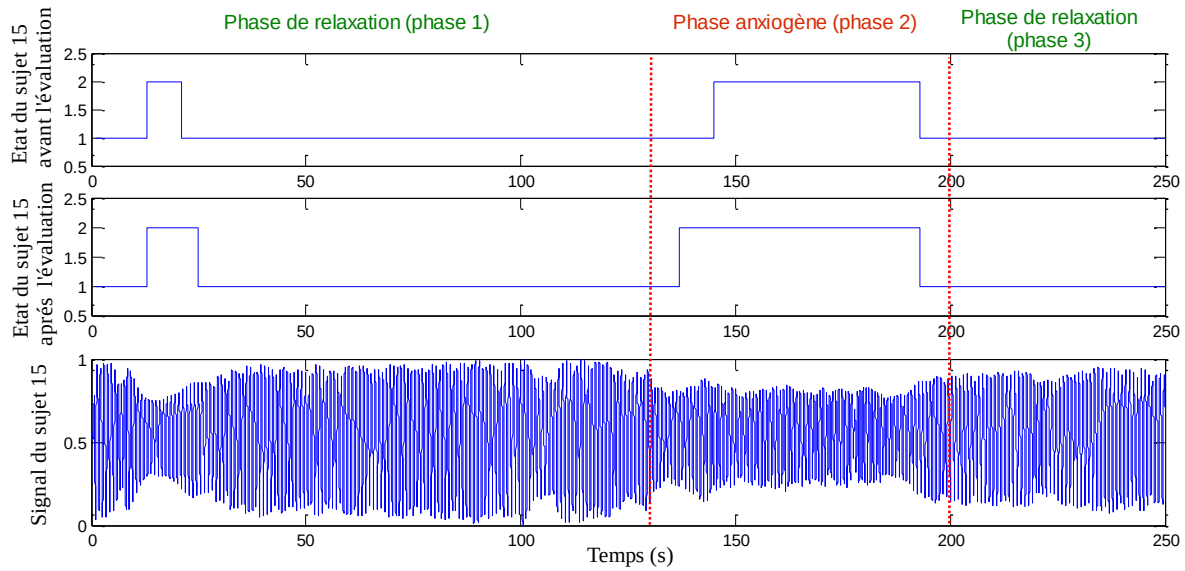


Figure 62. Etat du sujet 15 durant l'expérience avant et après l'évaluation.

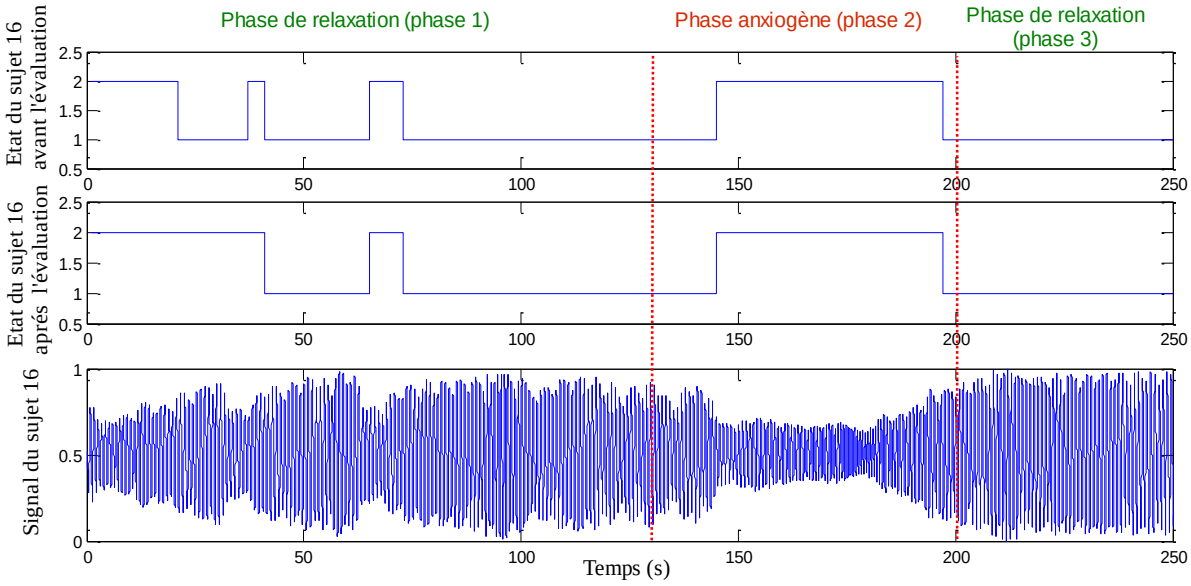


Figure 63. Etat du sujet 16 durant l'expérience avant et après l'évaluation.

Annexe 3 : Signaux des sujets phobiques

Base à deux classes

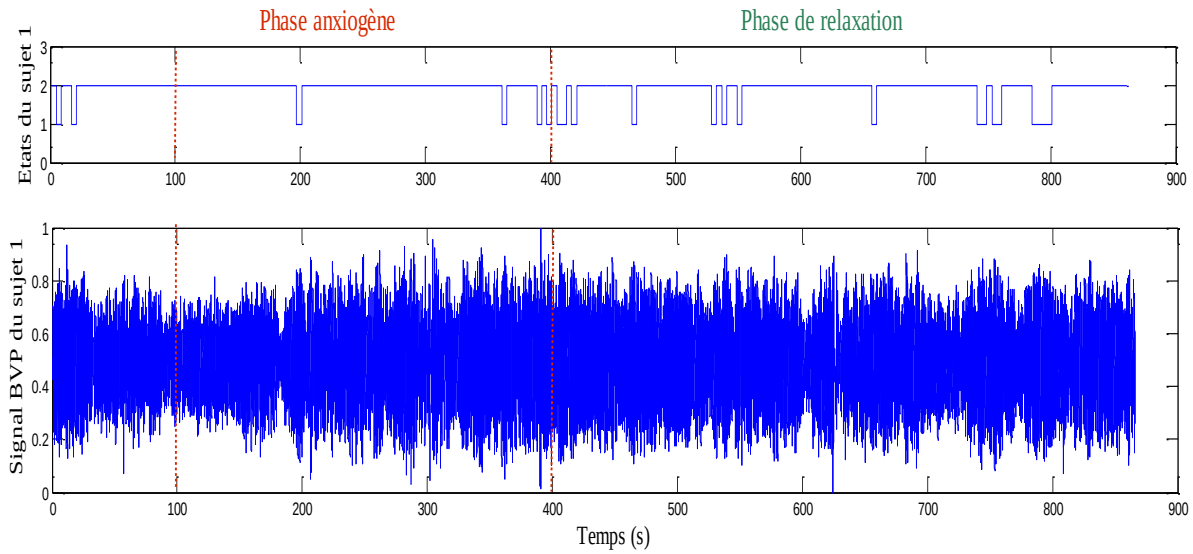


Figure 64. Etat du sujet 1 durant l'expérience.

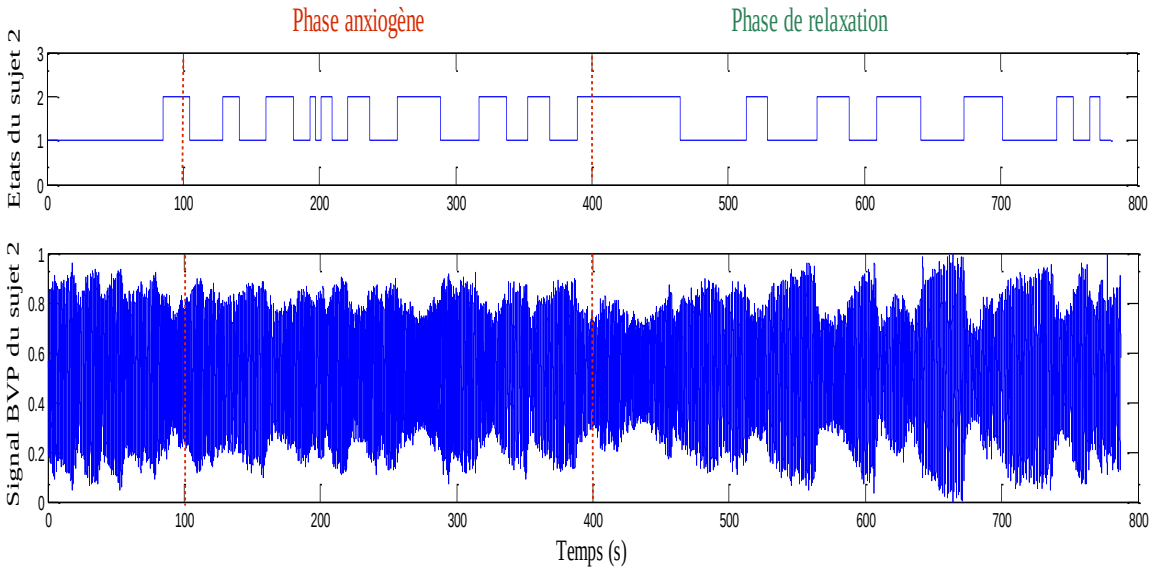


Figure 65. Etat du sujet 2 durant l'expérience.

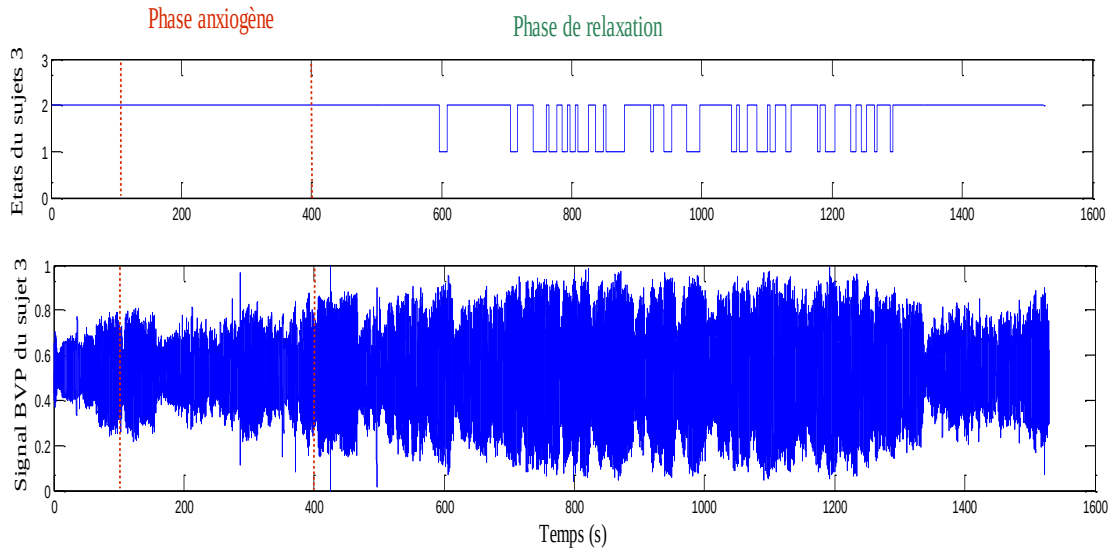


Figure 66. Etat du sujet 3 durant l'expérience.

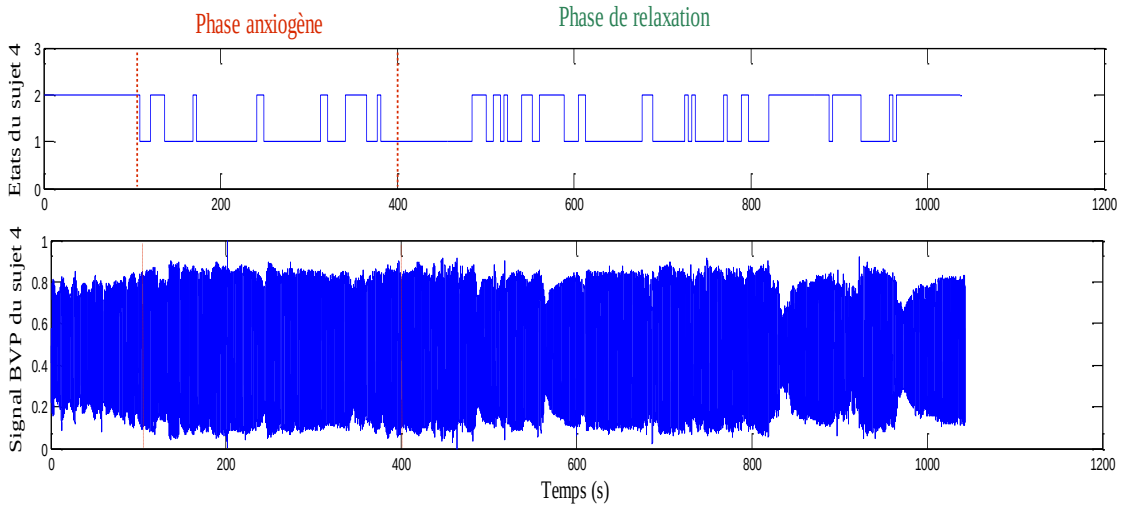


Figure 67. Etat du sujet 4 durant l'expérience.

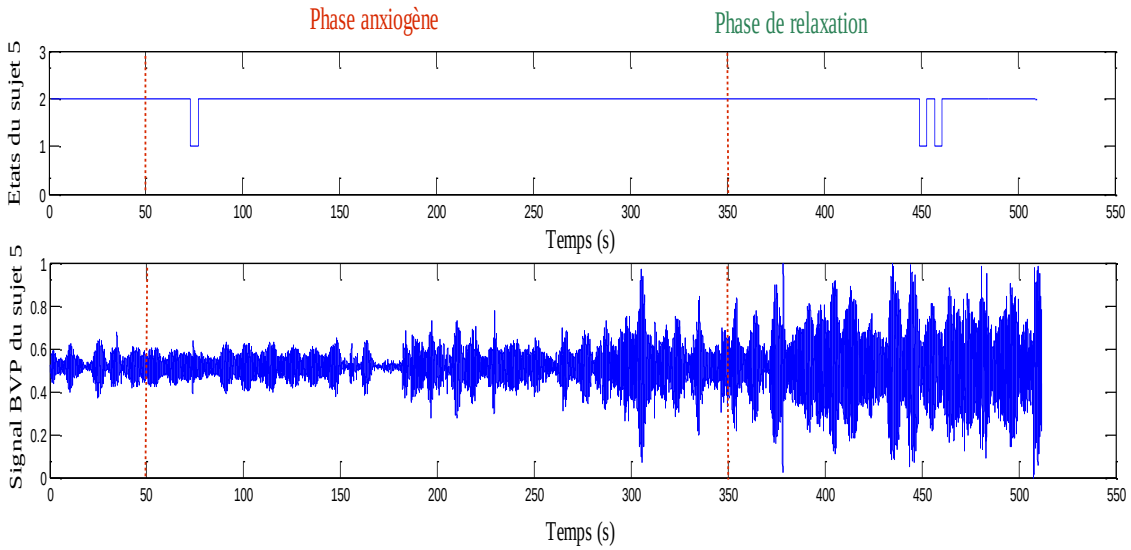


Figure 68. Etat du sujet 5 durant l'expérience.

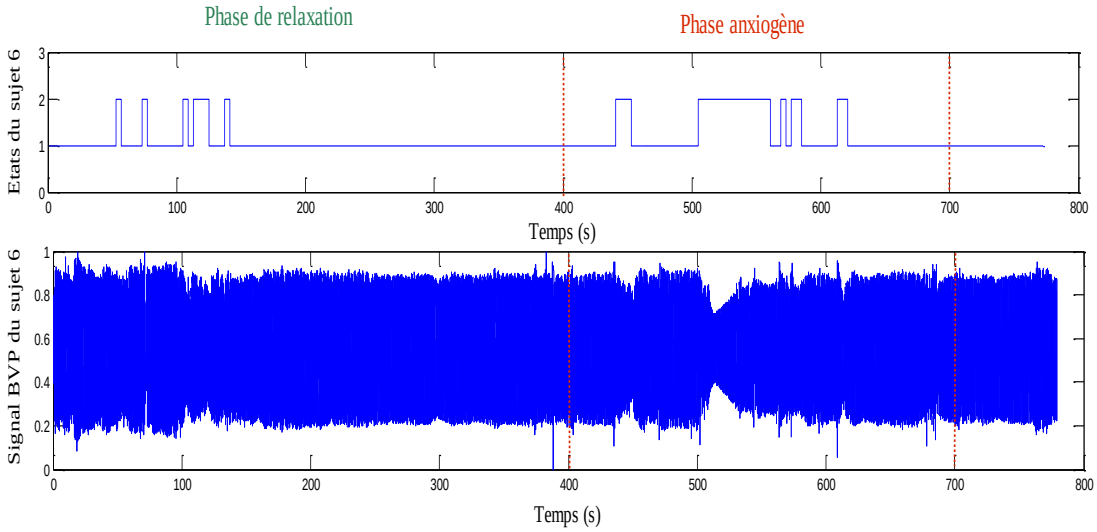


Figure 69. Etat du sujet 6 durant l'expérience.

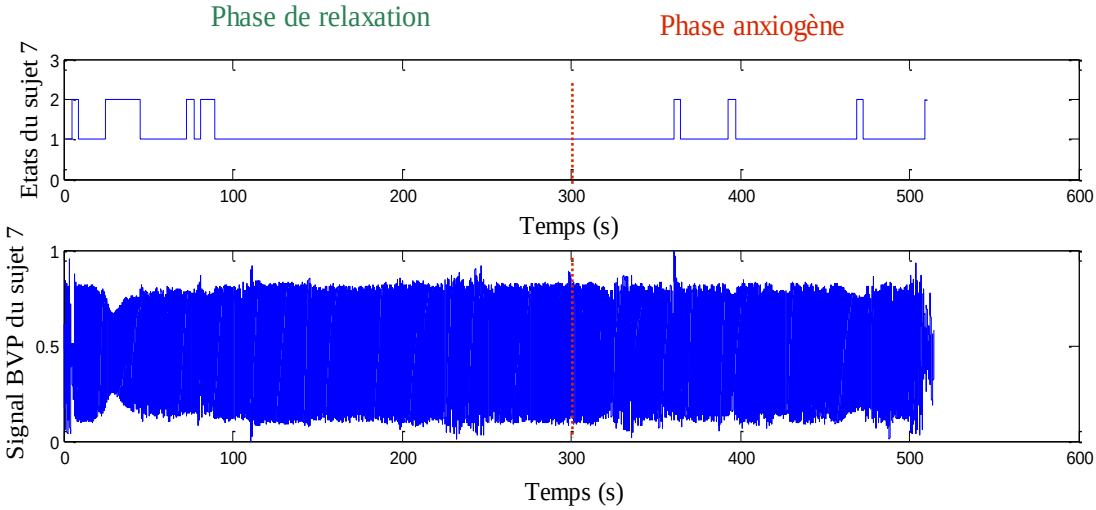


Figure 70. Etat du sujet 7 durant l'expérience.

Base à trois classes

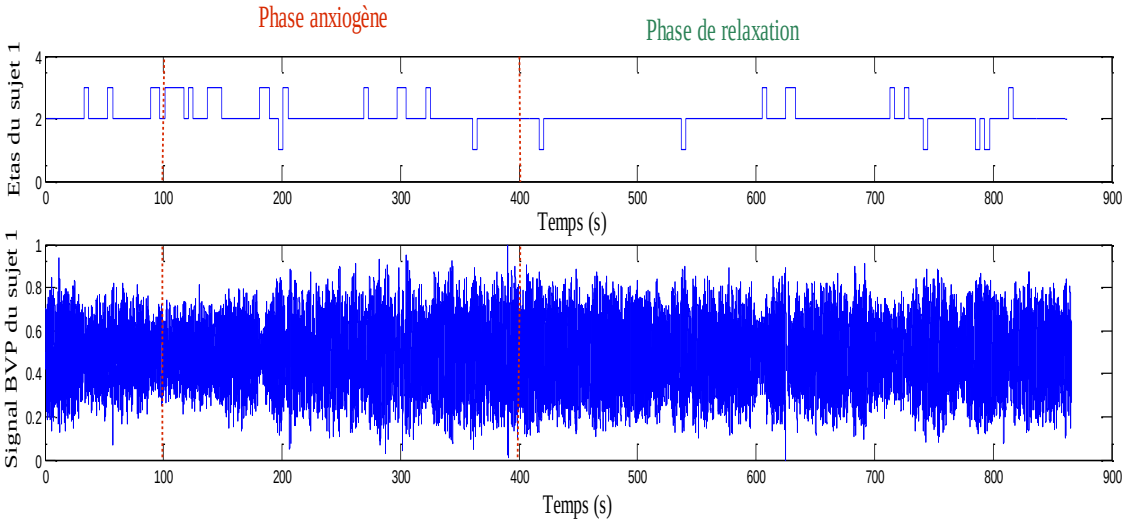


Figure 71. Etat du sujet 1 durant l'expérience.

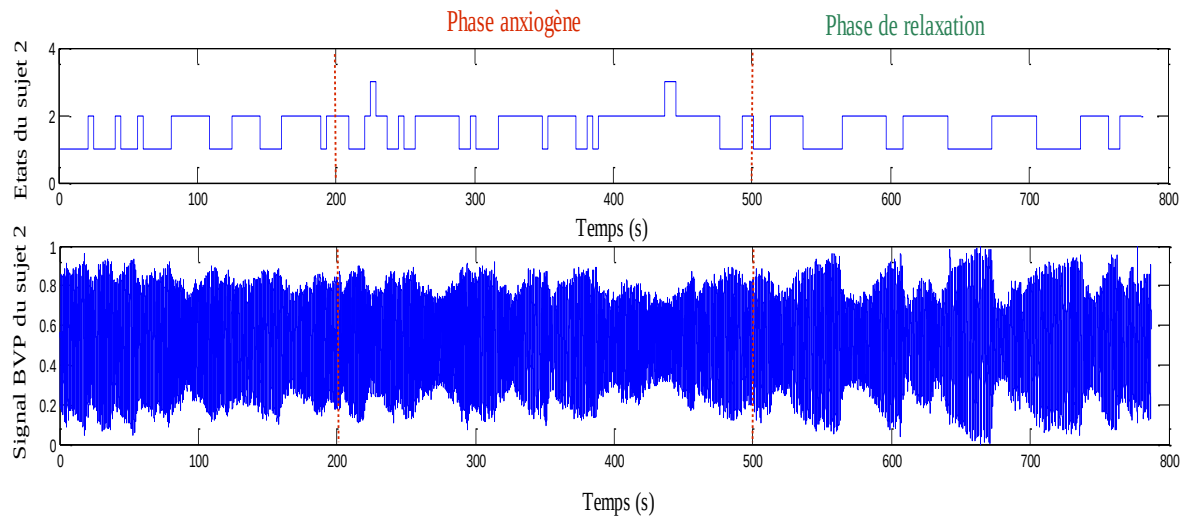


Figure 72. Etat du sujet 2 durant l'expérience.

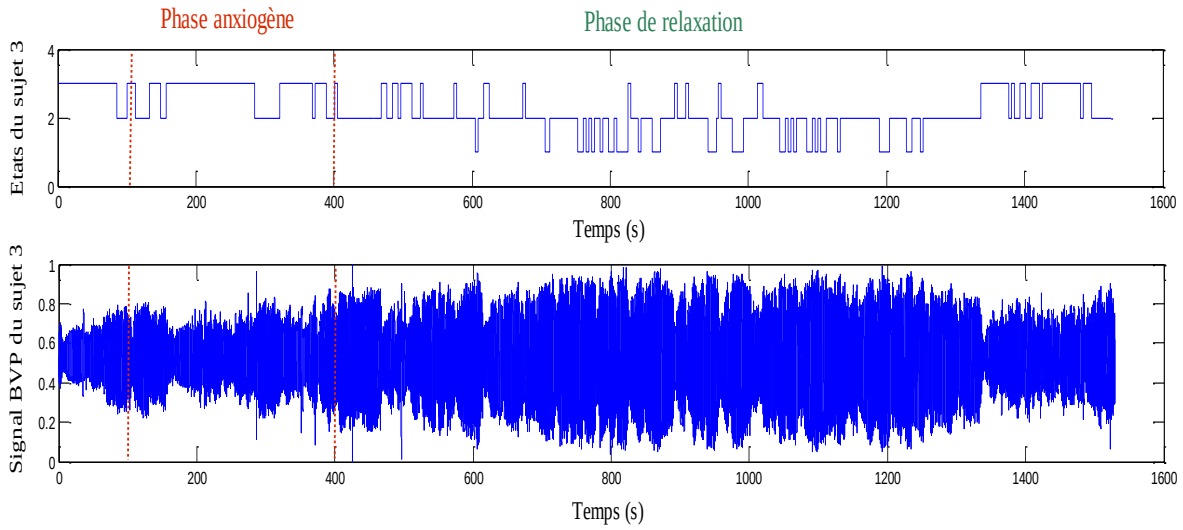


Figure 73. Etat du sujet 3 durant l'expérience.

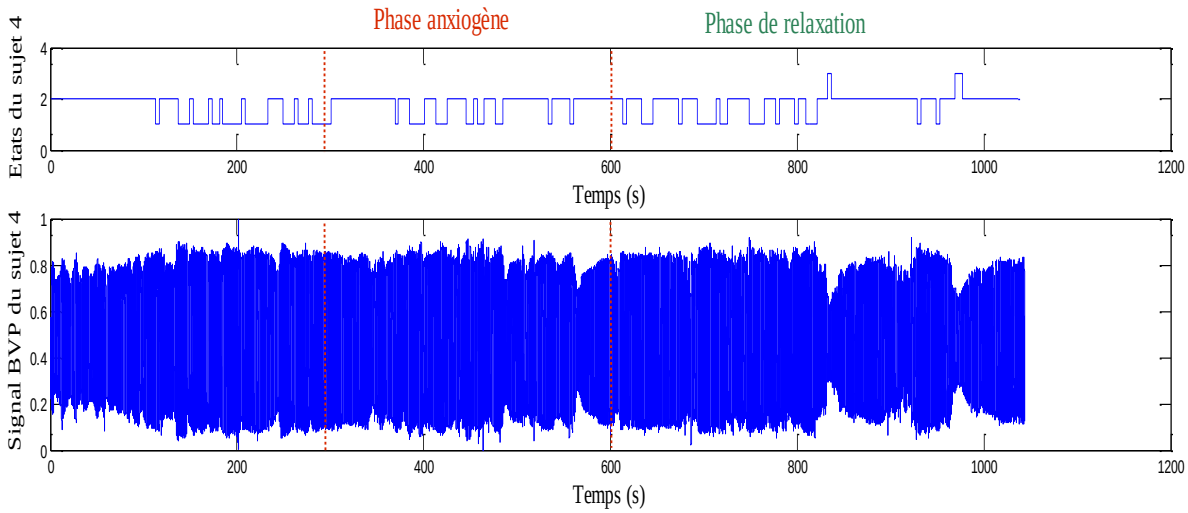


Figure 74. Etat du sujet 4 durant l'expérience.

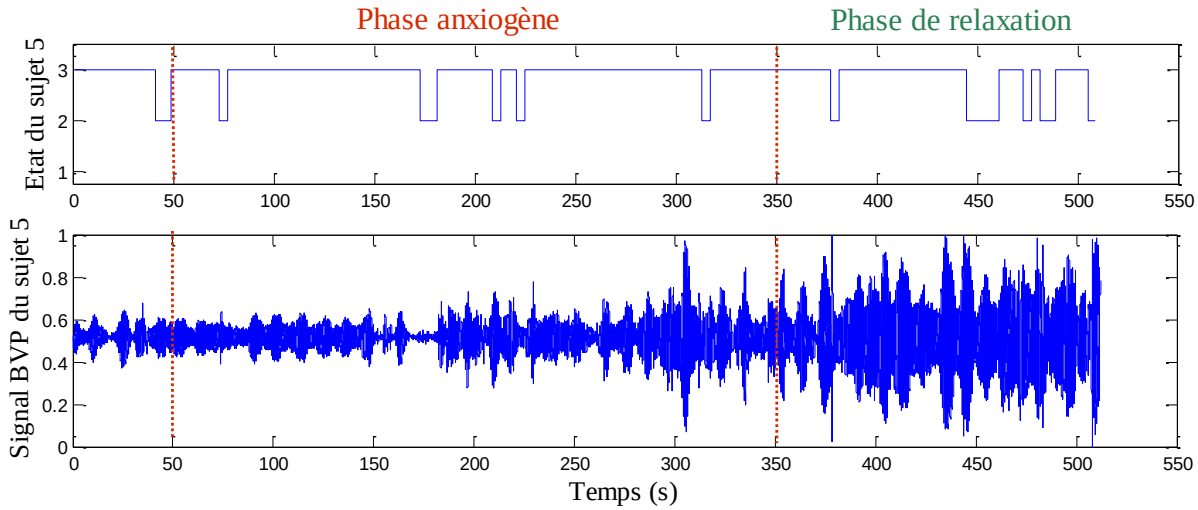


Figure 75. Etat du sujet 5 durant l'expérience.

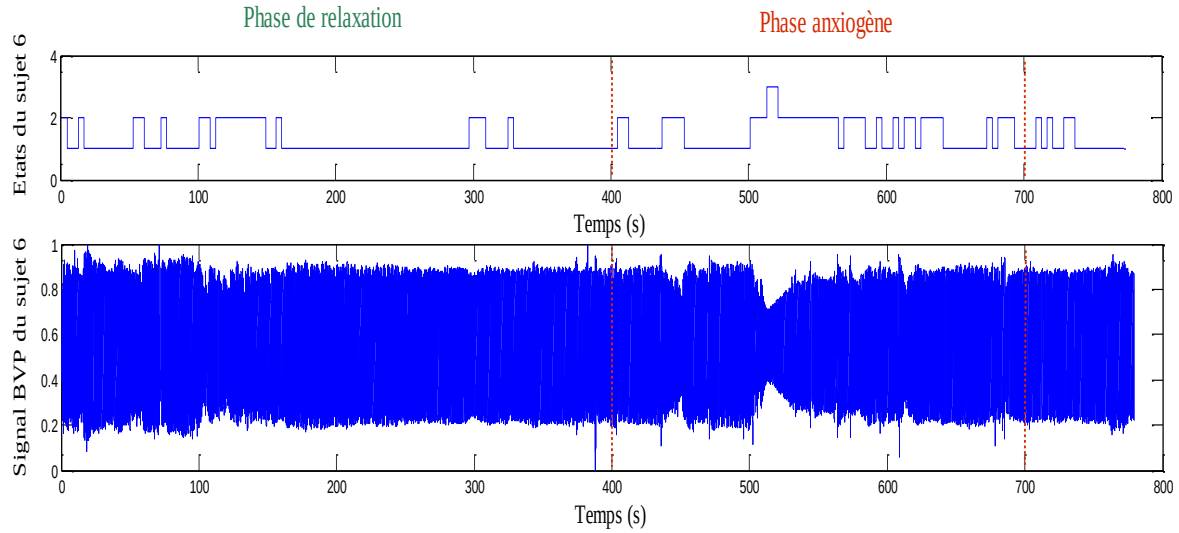


Figure 76. Etat du sujet 6 durant l'expérience.

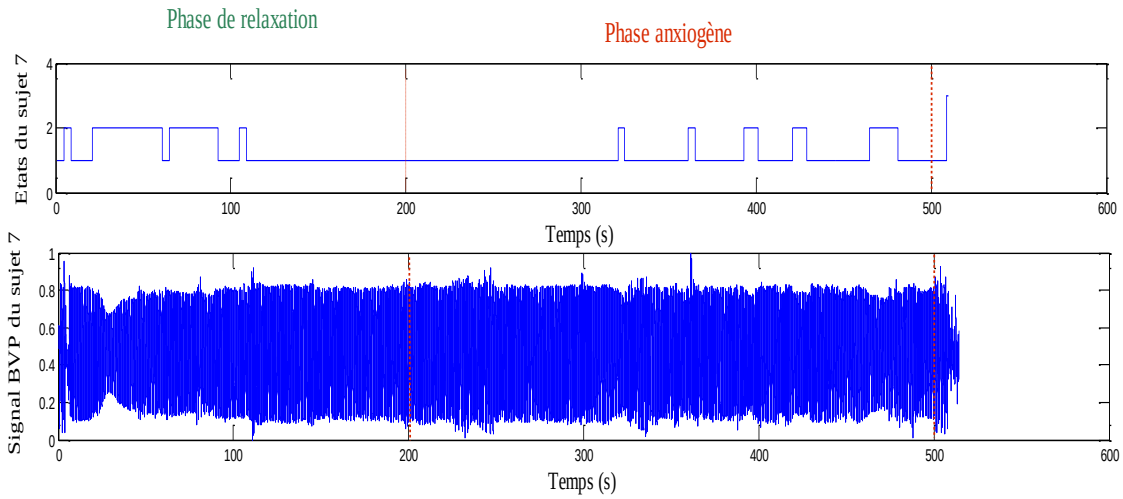


Figure 77. Etat du sujet 7 durant l'expérience.

Comparaison de l'autoévaluation et la reconnaissance automatique

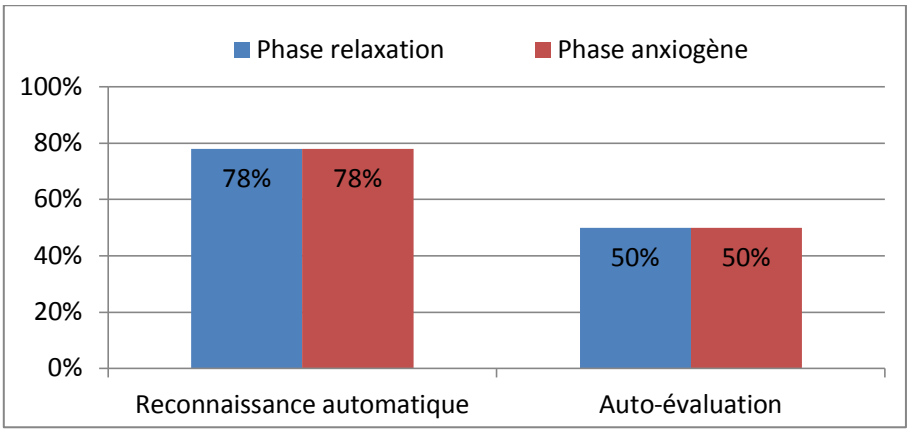


Figure 78. Comparaison entre l'autoévaluation et la reconnaissance automatique pour le sujet 1.

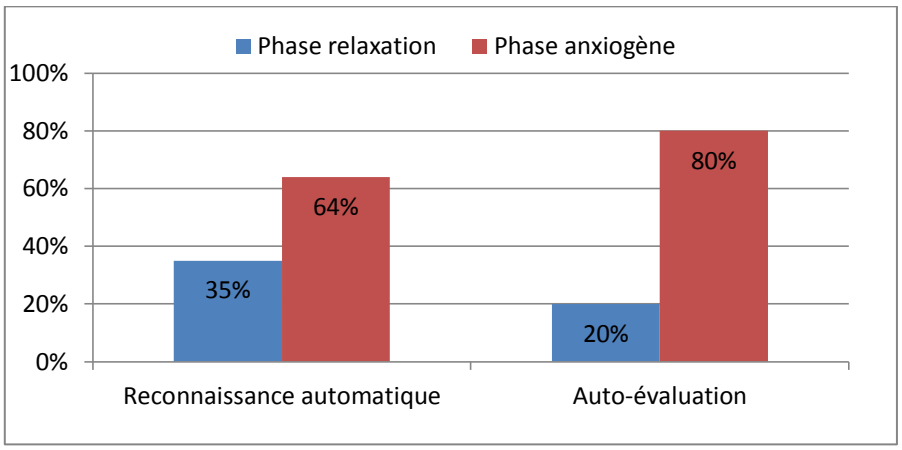


Figure 79. Comparaison entre l'autoévaluation et la reconnaissance automatique pour le sujet 2.

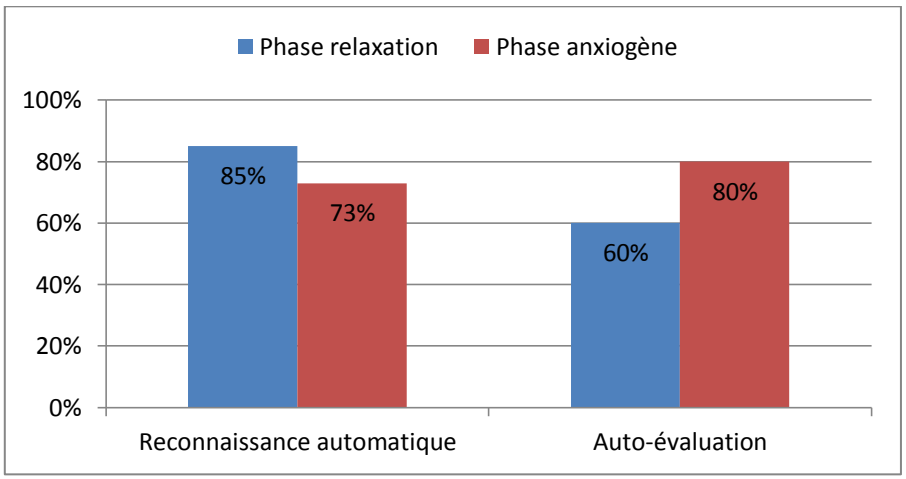


Figure 80. Comparaison entre l'autoévaluation et la reconnaissance automatique pour le sujet 3.

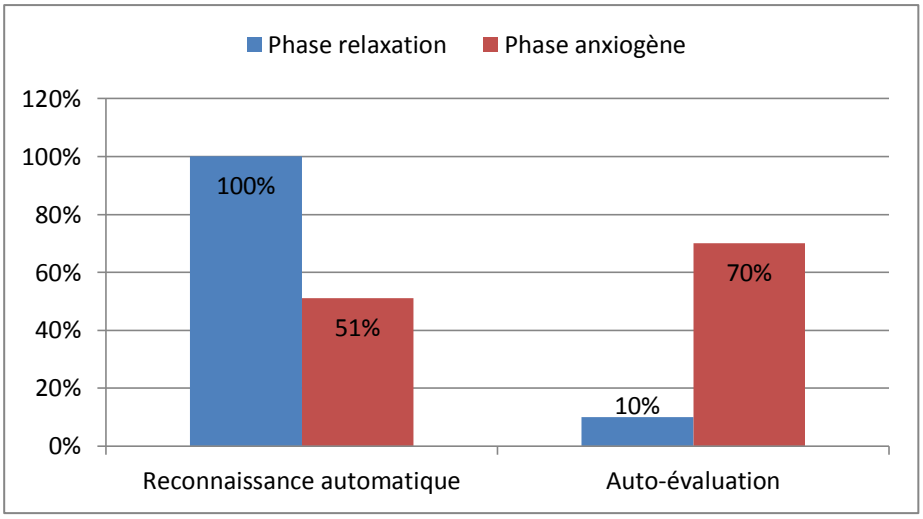


Figure 81. Comparaison entre l'autoévaluation et la reconnaissance automatique pour le sujet 4.

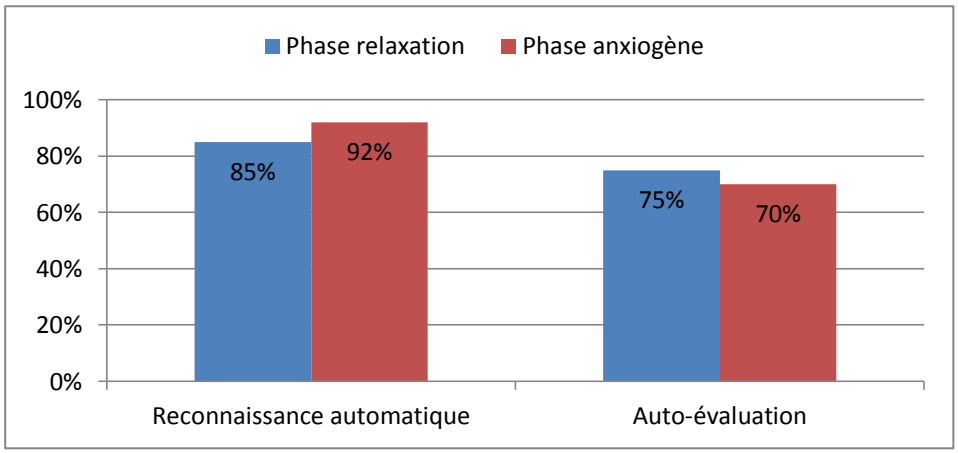


Figure 82. Comparaison entre l'autoévaluation et la reconnaissance automatique pour le sujet 5.

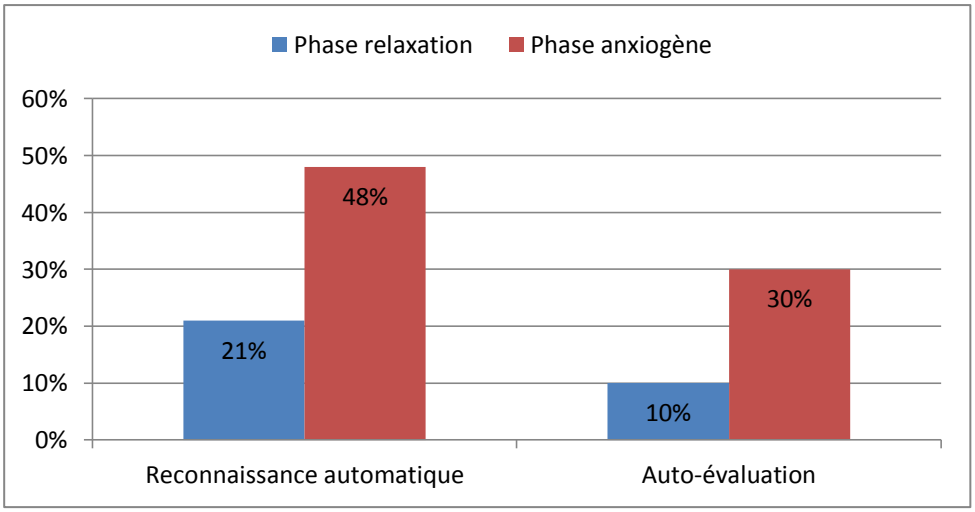


Figure 83. Comparaison entre l'autoévaluation et la reconnaissance automatique pour le sujet 6.

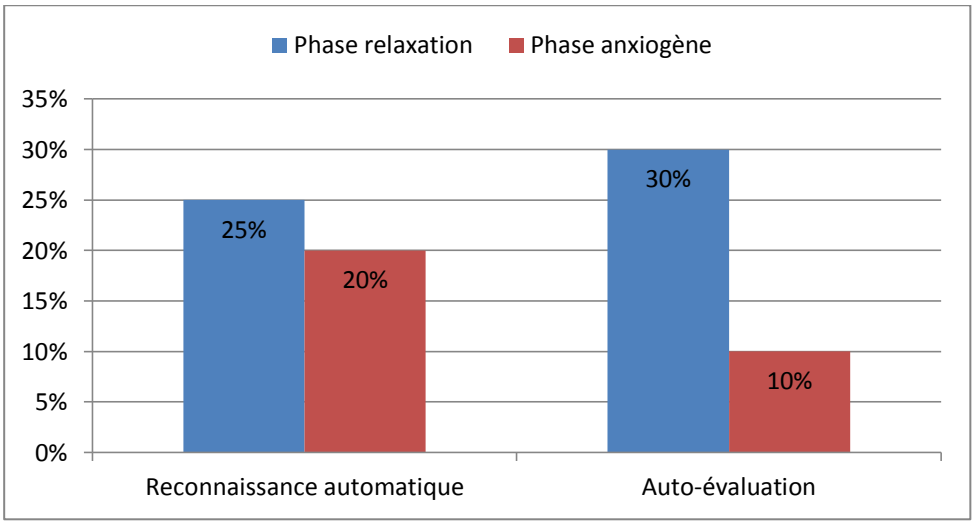


Figure 84. Comparaison entre l'autoévaluation et la reconnaissance automatique pour le sujet 7.

Bibliographie

[1] P. Petta, C. Pelachaud, and R. Cowie, *Emotion-Oriented Systems*, Springer Heidelberg Dordrecht London New York. 2011.

[2] F. Abdat, “Reconnaissance automatique des émotions par données multimodales : expressions faciales et signaux physiologiques,” Université de Metz, France, 2010.

[3] Paolo Petta · Catherine Pelachaud · Roddy Cowie, *Emotion-Oriented Systems*, Cognitive Technologies ISSN 1611-2482. 2011.

[4] A. P. Association, *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders DSM-IV-TR Fourth Edition (Text Revision)*. American Psychiatric Publishing, 1994.

[5] A. Moussaoui, “Etude, analyse et réalisation d’un système de choix automatique de scènes dans le cadre d’une thérapie par mise en situation virtuelle pour la phobie sociale,” Paul Verlaine, Metz, 2010.

[6] A. P. Association, *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders DSM-V- Five Edition*, American Psychiatric Publishing., vol. 5. American Psychiatric Association, 2013.

[7] G. Hottois, “Freud et la psychanalyse,” in *De la Renaissance à la Postmodernité: Une histoire de la philosophie moderne et contemporaine*, Bruxelles, 2005, pp. 281–308.

[8] W. Apollon, “Qu’est-ce que la psychanalyse.” [Online]. Available: http://www.gifric.com/Psychanalyse-quoi.htm. [Accessed: 30-Oct-2013].

[9] D. Stein, J. Ipser, and A. Van Balkom, “Pharmacotherapy for social anxiety disorder - Reviews,” *John Wiley & Sons, Ltd.*, 2009.

[10] T. Berghändler, R. Dieter Stieglitz, and N. Vriends, “La phobie sociale: étiologie, diagnostic et traitement,” vol. 7, pp. 225–230, 2007.

[11] Groupe d’experts, *Psychothérapie synthèse: Trois approches évaluées*, Inserm. France, 2004.

[12] M. HAAR, *“Introduction à La psychanalyse”, Freud : Analyse critique*. France: Hatier, 2001.

[13] D. C. Beidel and S. M. Turner, “Pharmacological Treatment of Social Anxiety Disorder,” in *Shy Children, Phobic Adults: Nature and Treatment of Social Anxiety Disorder*, Second., USA, 2007, pp. 173–199.

[14] B. O. Rothbaum, *Pathological anxiety: emotional processing in etiology and treatment*. USA, 2006.

[15] S. Roy, “L’utilisation de la réalité virtuelle en psychothérapie,” *Champ Psychosom.*, pp. 39–49, 2001.

[16] M. M. North, S. M. North, E. D, J. R. Coble, P. D, and P. D, “Virtual Reality Therapy - An Effective Treatment for Psychological Disorders,” *Int. J. VIRTUAL Real.*, vol. 3, p. 2—6, 1997.

[17] E. Malbos, L. Boyer, and C. Lançon, “L’utilisation de la réalité virtuelle dans le traitement des troubles mentaux,” *Presse Médicale*.

[18] J. TISSEAU, “Réalité Virtuelle : autonomie in virtuo,” Université de Rennes 1, France, 2001.

[19] P. Fuchs and P. de l’Ecole des Mines, *Le Traité de la Réalité Virtuelle*. 2006.

[20] S. Lambrey, R. Jouvent, J.-F. Allilaire, and A. Pélissolo, “Virtual reality therapies in the treatment of phobic disorders,” *Elseivier Masson Fr.*, pp. 44–46, 2010.

[21] P. Renaud, S. Bouchard, and R. Proulx, “Behavioral avoidance dynamics in the presence of a virtual spider,” *IEEE Trans. Inf. Technol. Biomed. Publ. IEEE Eng. Med. Biol. Soc.*, vol. 6, no. 3, pp. 235–243, Sep. 2002.

[22] G. Robillard, S. Bouchard, T. Fournier, and P. Renaud, “Anxiety and Presence during VR Immersion: A Comparative Study of the Reactions of Phobic and Non-phobic Participants in Therapeutic Virtual Environments Derived from Computer Games,” *Cyberpsychol. Behav.*, vol. 6, no. 5, pp. 467–476, Oct. 2003.

[23] S. Roy, E. Klinger, P. Légeron, F. Lauer, I. Chemin, and P. Nugues, “Definition of a VR-based protocol to treat social phobia,” *Cyberpsychology Behav. Impact Internet Multimed. Virtual Real. Behav. Soc.*, vol. 6, no. 4, pp. 411–420, août 2003.

[24] M. M. North, S. M. North, and J. R. Coble, “Virtual environment psychotherapy: A case study of fear of flying disorder,” *Presence Teleoperators Virtual Environ.*, vol. 6, no. 1, pp. 87–105, 1997.

[25] B. K. Wiederhold, D. P. Jang, R. G. Gevirtz, S. I. Kim, and M. D. Wiederhold, “The treatment of fear of flying: a controlled study of imaginal and virtual reality graded exposure therapy,” *Inf. Technol. Biomed. IEEE Trans. On*, vol. 6, no. 3, pp. 218–223, 2002.

[26] R. A. Klein, “Virtual Reality Exposure Therapy in the Treatment of Fear of Flying,” *J. Contemp. Psychother.*, vol. 30, no. 2, pp. 195–207, 2000.

[27] P. M. Emmelkamp, M. Bruynzeel, L. Drost, and C. A. van der Mast, “Virtual reality treatment in acrophobia: a comparison with exposure in vivo,” *Cyberpsychology Behav. Impact Internet Multimed. Virtual Real. Behav. Soc.*, vol. 4, no. 3, pp. 335–339, juin 2001.

[28] P. Renaud, S. Bouchard, and R. Proulx, “Behavioral avoidance dynamics in the presence of a virtual spider,” *IEEE Trans. Inf. Technol. Biomed. Publ. IEEE Eng. Med. Biol. Soc.*, vol. 6, no. 3, pp. 235–243, Sep. 2002.

[29] B. O. Rothbaum, L. F. Hodges, D. Ready, K. Graap, and R. D. Alarcon, “Virtual reality exposure therapy for vietnam veterans with posttraumatic stress disorder,” *J Clin Psychiatry, 62(8) :617–22*, 2001.

[30] J. Wald and S. Taylor, “Preliminary research on the efficacy of virtual reality exposure therapy to treat driving phobia.,” *Cyberpsychol Behav 6(5):459–65*, 2003.

[31] H. R. M. Bruce, *A Virtual Reality Claustrophobia Therapy System*. 2009.

[32] C. Botella, R. M. Baños, C. Perpiñá, H. Villa, M. Alcañiz, and A. Rey, “Virtual reality treatment of claustrophobia: a case report,” *Behav. Res. Ther.*, vol. 36, no. 2, pp. 239–246, février 1998.

[33] C. W. Lack and E. A. Storch, “The use of computers in the assessment and treatment of obsessive–compulsive disorder,” *Comput. Hum. Behav.*, vol. 24, no. 3, pp. 917–929, mai 2008.

[34] G. Optale, G. Riva, C. Pianon, A. Nasta, and G. Viggiano, “Male sexual algorithm and virtual reality,” *European Journal of Medical Sexology - Revue Européenne de Sexologie Médicale*, pp. 22–25, 2000.

[35] M. M. North, S. M. North, and J. R. Coble, “Virtual reality therapy : an effective treatment for psychological disorders,” *Stud Health Technol Inf.*, vol. 44, pp. 59–70, 1997.

[36] M. M. North, S. M. North, and J. R. Coble, “Virtual Reality Therapy : An effective Treatment for the Fear of Public Speaking,” *Int. J. VIRTUAL Real.*, vol. 3, no. 2, pp. 1–7, 1998.

[37] M. M. North, S. M. North, and J. R. Coble, “Virtual reality therapy: an effective treatment for phobias,” *Stud. Health Technol. Inform.*, vol. 58, pp. 112–119, 1998.

[38] D.-P. Pertaub, M. Slater, and C. Barker, “An Experiment on Public Speaking Anxiety in Response to Three Different Types of Virtual Audience,” *Presence Teleoperators Virtual Environ.*, vol. 11, no. 1, pp. 78, 68, février 2002.

[39] M. M. North, C. M. Schoeneman, and J. R. Mathis, “Virtual Reality Therapy: case study of fear of public speaking,” *Stud. Health Technol. Inform.*, vol. 85, pp. 318–320, 2002.

[40] B. Herbelin, F. Riquier, F. Vexo, and D. Thalmann, “Virtual Reality in Cognitive Behavioral Therapy : a preliminary study on Social Anxiety Disorder,” 2002.

[41] J. M. Lee, J. H. Ku, D. P. Jang, D. H. Kim, Y. H. Choi, I. Y. Kim, and S. I. Kim, “Virtual reality system for treatment of the fear of public speaking using image-based rendering and moving pictures,” *Cyberpsychology Behav. Impact Internet Multimed. Virtual Real. Behav. Soc.*, vol. 5, no. 3, pp. 191–195, juin 2002.

[42] S. R. Harris, R. L. Kemmerling, and M. M. North, “Brief virtual reality therapy for public speaking anxiety,” *Cyberpsychology Behav. Impact Internet Multimed. Virtual Real. Behav. Soc.*, vol. 5, no. 6, pp. 543–550, Dec. 2002.

[43] P. Anderson, B. O. Rothbaum, and L. F. Hodges, “Virtual reality in the treatment of social anxiety: Two case reports,” *Cogn. Behav. Pract.*, vol. 10, no. 3, pp. 240–247, 2003.

[44] L. K. James, C.-Y. Lin, A. Steed, D. Swapp, and M. Slater, “Social anxiety in virtual environments: results of a pilot study,” *Cyberpsychology Behav. Impact Internet Multimed. Virtual Real. Behav. Soc.*, vol. 6, no. 3, pp. 237–243, Jun. 2003.

[45] C. Botella, R. Baños, V. Guillén, C. Perpiña, M. Alcañiz, and A. Pons, “Telepsychology: Public Speaking Fear Treatment on the Internet,” 05-Jul-2004. [Online]. Available: http://www.liebertonline.com/doi/abs/10.1089/109493100452228. [Accessed: 01-Nov-2009].

[46] E. Klinger, S. Bouchard, P. Légeron, S. Roy, F. Lauer, I. Chemin, and P. Nugues, “Virtual reality therapy versus cognitive behavior therapy for social phobia: a preliminary controlled study,” *Cyberpsychology Behav. Impact Internet Multimed. Virtual Real. Behav. Soc.*, vol. 8, no. 1, pp. 76–88, février 2005.

[47] H. Grillon, F. Riquier, B. Herbelin, and D. Thalmann, “Virtual Reality as Therapeutic Tool for Behavioural Exposure in the Ambit of Social Anxiety Disorder Treatment,” 2006, pp. 105–112.

[48] H. Grillon, F. Riquier, B. Herbelin, and D. Thalmann, “Virtual Reality as Therapeutic Tool in the Confines of Social Anxiety Disorder Treatment,” *Int. J. Disabil. Hum. Dev.*, vol. 5, no. 3, pp. 243–250, 2006.

[49] M. Safir, H. Wallach, and M. Bar-Zvi, “Virtual reality cognitive-behavior therapy for public speaking anxiety: one-year follow-up.,” *Behav Modif*, vol. 36, no. 2, 2012.

[50] Erica K. Yuen, James D. Herbert, Evan M. Forman, Elizabeth M. Goetter, Adrienne S. Juarascio, Stephanie Rabind, Christina Goodwind, Stéphane Bouchard, “Acceptance based behavior therapy for social anxiety disorder through videoconferencing,” *J. Anxiety Disord.*, vol. 27, no. 4, pp. 389–397, 2013.

[51] P. R. Kleinginna and A. M. Kleinginna, “A categorized list of emotion definitions, with suggestions for a consensual definition,” pp. 345–379, 1981.

[52] A. Ortony, G. L. Clore, and A. Collins, *The Cognitive Structure of Emotions*. Cambridge University Press, 1990.

[53] H. Gunes and M. Pantic, “Automatic, dimensional and continous emotion recognition,” *IGI Publ.*, vol. 1, no. 1, 2010.

[54] P. Ekman, “An argument for basic emotions,” *Cogn. Emot.*, vol. 6, no. 3, pp. 200, 169, 1992.

[55] M. M. Bradley, “Emotion and Motivation,” in *Handbook of Psychophysiology*, J. T. Cacioppo, L. G. Tassinary, and G. G. Berntson, Eds. New York: Cambridge University Press, 2000, pp. 602–642.

[56] M. M. Bradley and P. J. Lang, “Measuring emotion: the Self-Assessment Manikin and the Semantic Differential.,” *J Behav Ther Exp Psychiatry*, vol. 25, no. 1, pp. 59, 49, Mar. 1994.

[57] C. Belzung, “Généralités: Notions de base,” in *Biologie des émotions*, 1re Edition., 484 vols., De Boeck, 2007.

[58] A. Rivière et B. Godet, “L’affective Computing : rôle adaptatif des émotions dans l’interaction Homme - Machine,” Travail d’Etude et de Recherche (TER), Maîtrise de sciences cognitives, 2003.

[59] P. Ekman, *Darwin and Facial Expression: A Century of Research in Review*. ISHK, 2006.

[60] C. Busso, Z. Deng, S. Yildirim, M. Bulut, C. M. Lee, A. Kazemzadeh, S. Lee, U. Neumann, and S. Narayanan, “Analysis of emotion recognition using facial expressions, speech and multimodal information,” State College, PA, USA, 2004, pp. 205–211.

[61] R. Cowie, E. Douglas-Cowie, J. G. Taylor, S. Ioannou, M. Wallace, and S. Kollias, “An intelligent system for facial emotion recognition,” presented at the Multimedia and Expo, 2005. ICME 2005. IEEE International Conference on, 2005, p. 4 pp.

[62] M. Paleari, R. Benmokhtar et B. Huet, “Evidence theory-based multimodal emotion recognition.,” *Springer-Verl. Berl. Heidelb. 2009 Eds MMM 2009 LNCS 5371 2009*, 2009.

[63] P. Ekman and E. L. Rosenberg, *What the Face Reveals: Basic and Applied Studies of Spontaneous Expression Using the Facial Action Coding System (FACS)*. Oxford University Press, 1997.

[64] K. R. Scherer, “Vocal communication of emotion: A review of research paradigms,” *Speech Commun.*, vol. 40, no. 1–2, pp. 227–256, 2003.
[65] J. Russel, J.A. Bachorowski, J.M. Fernandez-Dols, “Facial and vocal expressions of emotion,” *Annu Rev Psychol*, pp. 329–349, 2003.
[66] Z. Zeng, and M. Pantic, “A Survey of Affect Recognition Methods: Audio, Visual, and Spontaneous Expressions,” *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 31, no. 1, 2009.
[67] P. Petta, C. Pelachaud, and R. Cowie, *Emotion-Oriented Systems: The Humaine Handbook*. Springer, 2011.
[68] C. D. Katsis, N. S. Katertsidis, and D. I. Fotiadis, “An integrated system based on physiological signals for the assessment of affective states in patients with anxiety disorders,” *Biomed. Signal Process. Control*, vol. 6, no. 3, pp. 261–268, juillet 2011.
[69] H. Y. Ping, L. N. Abdullah, A. A. Halin, and P. S. Sulaiman, “A Study of Physiological Signals-based Emotion Recognition Systems,” *Int. J. Comput. Technol.*, vol. 11, no. 1, pp. 2189–2196, Sep. 2013.
[70] M. M. Bradley and P. J. Lang, “Measuring emotion: the Self-Assessment Manikin and the Semantic Differential,” *J. Behav. Ther. Exp. Psychiatry*, vol. 25, no. 1, pp. 49–59, Mar. 1994.
[71] R. C. Aitken, “Measurement of feelings using visual analogue scales.,” *Proc. R. Soc. Med.*, vol. 62, no. 10, pp. 989–993, Oct. 1969.
[72] P. Lang, M. Bradley, and B. Cuthbert, “International affective picture system (IAPS): Affective ratings of pictures and instruction manual,” 2008.
[73] R. A. Stevenson and T. W. James, “Affective auditory stimuli: Characterization of the International Affective Digitized Sounds (IADS) by discrete emotional categories,” *Behav. Res. Methods*, vol. 40, no. 1, pp. 315–321, Feb. 2008.
[74] J. J. Gross and R. W. Levenson, “Emotion elicitation using films,” *Cogn. Emot.*, vol. 9, no. 1, pp. 87–108, 1995.
[75] M. Annerstedt, P. Jönsson, M. Wallergård, G. Johansson, B. Karlson, P. Grahn, Å. M. Hansen, and P. Währborg, “Inducing physiological stress recovery with sounds of nature in a virtual reality forest — Results from a pilot study,” *Physiol. Behav.*, vol. 118, no. 0, pp. 240–250, juin 2013.
[76] M. Slater, Pertaub, and A. Steed, “Public Speaking in Virtual Reality: Facing an Audience of Atavars,” 1999.
[77] M. Slater, D.-P. Pertaub, C. Barker, and D. M. Clark, “An Experiment on Public Speaking Anxiety in Response to Three Different Types of Virtual Audience,” *Cyberpsychology Behav. Impact Internet Multimed. Virtual Real. Behav. Soc.*, vol. 9, no. 5, pp. 627–633, Oct. 2006.
[78] B. Herbelin, F. Riquier, F. Vexo, and D. Thalmann, “Virtual Reality in Cognitive Behavioral Therapy : a preliminary study on Social Anxiety Disorder,” 2002.
[79] S. Roy, E. Klinger, P. Légeron, F. Lauer, I. Chemin, and P. Nugues, “Definition of a VR-based protocol to treat social phobia,” *Cyberpsychology Behav. Impact Internet Multimed. Virtual Real. Behav. Soc.*, vol. 6, no. 4, pp. 411–420, Aug. 2003.
[80] M. Slater, A. Sadagic, M. Usoh, and R. Schroeder, “Small Group Behaviour in a Virtual and Real Environment: A Comparative Study,” vol. 9, pp. 37–51, 2000.
[81] E. Klinger, S. Bouchard, P. Légeron, S. Roy, F. Lauer, I. Chemin, and P. Nugues, “Virtual reality therapy versus cognitive behavior therapy for social phobia: a preliminary controlled study,” *Cyberpsychology Behav. Impact Internet Multimed. Virtual Real. Behav. Soc.*, vol. 8, no. 1, pp. 76–88, Feb. 2005.
[82] H. Grillon, F. Riquier, B. Herbelin, and D. Thalmann, “Use of Virtual Reality as Therapeutic Tool for Behavioral Exposure in the Ambit of Social Anxiety Disorder Treatment.,” 2006.
[83] A. Moussaoui, A. Pruski, and B. Cherki, “Emotion regulation for social phobia treatment using virtual reality,” in *HuMaN07*, Timimoun, 2007.

[84] E. Klinger, “Apports de la réalité virtuelle à la prise en charge de troubles cognitifs et comportementaux,” PhD Thesis, Telecom Paris, école nationale supérieur des télécommunications, 2006.
[85] S. V. Ioannou, A. T. Raouzaiou, V. A. Tzouvaras, T. P. Mailis, K. C. Karpouzis, and S. D. Kollias, “Emotion recognition through facial expression analysis based on a neurofuzzy network,” *Neural Netw.*, vol. 18, no. 4, pp. 423–435, May 2005.
[86] F. Abdat, C. Maaoui, and A. Pruski, “Reconnaissance d’expressions faciales en temps réel à partir d’une séquence vidéo,” *Sci. Technol. Pour Handicap*, vol. 3, no. 1, pp. 63–93, Jun. 2009.
[87] P. M. Chavan, M. C. Jadhav, and et al., “Real Time Emotion Recognition through Facial Expressions for Desktop Devices,” *Int. J. Emerg. Sci. Eng. IJESE*, vol. 1, no. 7, pp. 104–108, 2013.
[88] J. A. Russel, J.-A. Bachorowski, and J.-M. Fernandez-Dols, “Facial and vocal expressions of emotion,” *Annu Rev Psychol*, pp. 329–349, 2003.
[89] Z. Zeng, M. Pantic, G. I. Roisman, and T. S. Huang, “A Survey of Affect Recognition Methods: Audio, Visual, and Spontaneous Expressions,” *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 31, no. 1, pp. 39–58, 2009.
[90] P. Laukka, D. Neiberg, M. Forsell, I. Karlsson, and K. Elenius, “Expression of affect in spontaneous speech: Acoustic correlates and automatic detection of irritation and resignation,” *Comput. Speech Lang.*, vol. 25, no. 1, pp. 84–104, Jan. 2011.
[91] K. R. Scherer, “Vocal markers of emotion: Comparing induction and acting elicitation,” *Comput. Speech Lang.*, vol. 27, no. 1, pp. 40–58, Jan. 2013.
[92] H. Gunes and M. Piccardi, “Bi-modal emotion recognition from expressive face and body gestures,” *J. Netw. Comput. Appl.*, vol. 30, no. 4, pp. 1334–1345, Nov. 2007.
[93] I. B. Ozer, Tiehan Lu, and W. Wolf, “Design of a real-time gesture recognition system: high performance through algorithms and software,” *IEEE Signal Process. Mag.*, vol. 22, no. 3, pp. 57–64, 2005.
[94] L. Kessous, G. Castellano, and G. Caridakis, “Multimodal emotion recognition in speech-based interaction using facial expression, body gesture and acoustic analysis,” *J. Multimodal User Interfaces*, vol. 3, no. 1–2, pp. 33–48, Mar. 2010.
[95] S. R. Vrana, B. N. Cuthbert, and P. J. Lang, “Fear Imagery and Text Processing,” *Psychophysiology*, vol. 23, no. 3, pp. 247–253, 1986.
[96] K. H. Kim, S. W. Bang, and S. R. Kim, “Emotion recognition system using short-term monitoring of physiological signals,” *Med. Biol. Eng. Comput.*, vol. 42, no. 3, pp. 419–427, May 2004.
[97] J. A. Healey and R. W. Picard, “Detecting Stress During Real-World Driving Tasks using Physiological Sensors,” *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 6, no. 2, pp. 156–166, Jun. 2005.
[98] J. Wagner, J. Kim, and E. Andre, “From Physiological Signals to Emotions: Implementing and Comparing Selected Methods for Feature Extraction and Classification,” in *IEEE International Conference on Multimedia and Expo, 2005. ICME 2005*, 2005, pp. 940–943.
[99] L. Li and J. Chen, “Emotion Recognition Using Physiological Signals from Multiple Subjects,” in *International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing, 2006. IIH-MSP ’06*, 2006, pp. 355–358.
[100] J. Kim and E. Andre, “Emotion recognition based on physiological changes in music listening,” *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 30, no. 12, pp. 2067–2083, 2008.
[101] C. Maaoui and A. Pruski, “Emotion Recognition through Physiological Signals for Human-Machine Communication,” in *CuttingEdgeRobotics2010*, Vedran Kordic, 2010, pp. 317–332.
[102] Byoung-Jun Park, Eun-Hye Jang, Myung-Ae Chung, and Sang-Hyeob Kim, “Design of prototype-based emotion recognizer using physiological signals,” *ETRI J.*, vol. 35, no. 5, pp. 869–879, Oct. 2013.
[103] K. E. Habib, K. P. Weld, K. C. Rice, J. Pushkas, M. Champoux, S. Listwak, E. L. Webster, A. J. Atkinson, J. Schulkin, C. Contoreggi, G. P. Chrousos, S. M. McCann, S. J. Suomi, J. D. Higley, and P. W. Gold, “Oral administration of a corticotropin-releasing hormone receptor antagonist

significantly attenuates behavioral, neuroendocrine, and autonomic responses to stress in primates," *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, vol. 97, no. 11, pp. 6079–6084, May 2000.
[104] E. Peper, R. Harvey, I.-M. Lin, H. Tylova, and D. Moss, "Is there more to blood volume pulse than heart rate variability respiratory sinus arrhythmia, and cardiorespiratory synchrony?," *Biofeedback*, vol. 35, no. 2, pp. 54–61, 2007.
[105] P. J. Lang, "The emotion probe. Studies of motivation and attention," *Am. Psychol.*, vol. 50, no. 5, pp. 372–385, May 1995.
[106] A. Bhavani Sankar, D. Kumar, and K.Seethalakshmi, "Enhanced Method for Extracting Features of Respiratory Signals and Detection of Obstructive Sleep Apnea Using Threshold Based Automatic Classification Algorithm," *Int. J. Comput. Sci. Emerg. Technol.*, vol. 1, no. 4, 2010.
[107] S. D. Kreibig, "Autonomic nervous system activity in emotion: a review," *Biol. Psychol.*, vol. 84, no. 3, pp. 394–421, Jul. 2010.
[108] L. IzsÓ and E. Láng, "Heart period variability as mental effort monitor in Human Computer Interaction," *Behav. Inf. Technol.*, vol. 19, no. 4, pp. 297–306, 2000.
[109] C. Médigue, A. Girard, D. Laude, A. Monti, M. Wargon, and J. L. Elghozi, "Relationship between pulse interval and respiratory sinus arrhythmia: a time- and frequency-domain analysis of the effects of atropine," *Pflüg. Arch. Eur. J. Physiol.*, vol. 441, no. 5, pp. 650–655, Feb. 2001.
[110] M. Brennan, M. Palaniswami, and P. Kamen, "Poincaré plot interpretation using a physiological model of HRV based on a network of oscillators," *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.*, vol. 283, no. 5, pp. H1873–1886, Nov. 2002.
[111] M. Cannesson, C. Besnard, P. G. Durand, J. Bohe, and D. Jacques, "Relation between respiratory variations in pulse oximetry plethysmographic waveform amplitude and arterial pulse pressure in ventilated patients," *Crit. Care*, vol. 9, no. 5, pp. R562–R568, 2005.
[112] X. Chen and R. Mukkamala, "Selective quantification of the cardiac sympathetic and parasympathetic nervous systems by multisignal analysis of cardiorespiratory variability," *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.*, vol. 294, no. 1, pp. H362–371, Jan. 2008.
[113] T. J. M. Overbeek, A. van Boxtel, and J. H. D. M. Westerink, "Respiratory sinus arrhythmia responses to induced emotional states: effects of RSA indices, emotion induction method, age, and sex," *Biol. Psychol.*, vol. 91, no. 1, pp. 128–141, Sep. 2012.
[114] K. H. Chon, S. Dash, and K. Ju, "Estimation of Respiratory Rate From Photoplethysmogram Data Using Time #x2013;Frequency Spectral Estimation," *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 56, no. 8, pp. 2054–2063, 2009.
[115] J. L. Semmlow, *Biosignal and Medical Image Processing*. CRC Press, 2004.
[116] R. G. Heimberg, K. J. Horner, H. R. Juster, S. A. Safren, E. J. Brown, F. R. Schneier, and M. R. Liebowitz, "Psychometric properties of the Liebowitz Social Anxiety Scale," *Psychol. Med.*, vol. 29, no. 1, pp. 199–212, Jan. 1999.
[117] S.-N. Yao, F. Fanget, E. Albuisson, M. Bouvard, I. Jalenques, and J. Cottraux, "L'anxiété sociale chez les phobiques sociaux: Valiation de l'échelle d'anxiété sociale de Liebowitz (version Francaise). [Social anxiety in social phobics: Validation of Liebowitz's social anxiety scale--French version.]," *Encéphale Rev. Psychiatr. Clin. Biol. Thérapeutique*, vol. 25, no. 5, pp. 429–435, 1999.
[118] T. Yasuharu, "Takanashi Yasuharu," *Wikipédia*. 17-Dec-2013.
[119] M. Bergounioux, *Mathématiques pour le traitement du signal: Cours et exercices corrigés*. Dunod, 2010.
[120] V. N. Vapnik, "An overview of statistical learning theory," *IEEE Trans. Neural Netw.*, vol. 10, no. 5, pp. 988–999, 1999.
[121] T. W. Schubert, "The sense of presence in virtual environments:," *Z. Für Medien.*, vol. 15, no. 2, pp. 69–71, Apr. 2003.

Résumé

La détection et l'évaluation des émotions sont des domaines qui suscitent un grand intérêt par de nombreuses communautés tant au niveau des sciences humaines que des sciences exactes. Dans cette thèse nous nous intéressons à la reconnaissance de l'anxiété sociale qui est une peur irrationnelle ressentie par une personne lors de toute forme de relation sociale. L'anxiété peut être révélée par un ensemble de traits physiques et physiologiques tels que l'intonation de la voix, les mimiques faciales, l'augmentation du rythme cardiaque, le rougissement… etc. L'avantage de l'utilisation des mesures physiologiques est que les individus ne peuvent pas les manipuler, c'est une source continue de données et chaque émotion est caractérisée par une variation physiologique particulière.

Dans ce travail, nous proposons un système de mesure d'anxiété basé sur l'utilisation d'un seul signal physiologique « signal de pression sanguine volumique (Blood volume pulse BVP)». Le choix d'un seul capteur limite la gêne des sujets due au nombre de capteurs. De ce signal nous avons sélectionné des paramètres pertinents représentant au mieux les relations étroites du signal BVP avec le processus émotionnel de l'anxiété. Cet ensemble de paramètres est classé en utilisant les séparateurs à vastes marges SVM.

Les travaux engagés dans le domaine de la reconnaissance des émotions utilisent fréquemment, pour support d'information, des données peu fiables ne correspondant pas toujours aux situations envisagées. Ce manque de fiabilité peut être dû à plusieurs paramètres parmi eux la subjectivité de la méthode d'évaluation utilisée (questionnaire, auto-évaluation des sujets, …etc.). Nous avons développé une approche d'évaluation objective des données basée sur les dynamiques des paramètres sélectionnés. La base de données utilisée a été enregistrée dans notre laboratoire dans des conditions réelles acquises sur des sujets présentant un niveau d'anxiété face aux situations sociales et qui ne sont pas sous traitement psychologique. L'inducteur utilisé est l'exposition à des environnements virtuels représentant quelques situations sociales redoutées. L'étape d'évaluation, nous a permis d'obtenir un modèle de données fiable pour la reconnaissance de deux niveaux d'anxiété. Ce modèle a été testé dans une clinique spécialisée dans les thérapies cognitives comportementales (TCC) sur des sujets phobiques.

Les résultats obtenus mettent en lumière la fiabilité du modèle construit notamment pour la reconnaissance des niveaux d'anxiété sur des sujets sains ou sur des sujets phobiques ce qui constitue une solution au manque de données dont souffrent les différents domaines de reconnaissances.

Mots-clés

Anxiété, traitement du signal, évaluation des données, pression sanguine volumique, sélection des paramètres, réalité virtuelle.

Abstract

Detection and evaluation of emotions are areas of great interest in many communities both in terms of human and exact sciences. In this thesis we focus on social anxiety recognition, which is an irrational fear felt by a person during any form of social relationship. Anxiety can be revealed by a set of physical and physiological traits such as tone of voice, facial expressions, increased heart rate, flushing ... etc. The interest to the physiological measures is motivated by them robustness to avoid the artifacts created by human social masking, they are a continuous source of data and each emotion is characterized by a particular physiological variation.

In this work, we propose a measurement system based on the use of a single physiological signal "Blood volume pulse BVP". The use of a single sensor limits the subjects' discomfort. From the BVP signal we selected three relevant features which best represents the close relationship between this signal and anxiety status. This features set is classified using support vector machine SVM.

The work undertaken in the field of emotion recognition frequently use, for information support, unreliable data do not always correspond to the situations envisaged. This lack of reliability may be due to several parameters among them the subjectivity of the evaluation method used (self-evaluation questionnaire, subjects…etc.). We have developed an approach to objective assessment of data based on the dynamics of selected features. The used database was recorded in our laboratory under real conditions acquired in subjects with a level of anxiety during social situations and who are not under psychological treatment. The used stimulus is the exposition to virtual environments representing some feared social situations. After the evaluation stage, we obtained a reliable model for the recognition of two levels of anxiety. The latter was tested in a clinic specializing in cognitive behavioral therapy (CBT) on phobic subjects.

The results highlight the reliability of the built model specifically for the recognition of anxiety levels in healthy subjects or of phobic subjects, what constitutes a solution to the lack of data affecting different areas of recognition.

Keywords

Anxiety recognition, signal processing, data evaluation, blood volume pulse, features selection, virtual reality.