



RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ DE TLEMCEM
FACULTÉ DE TECHNOLOGIE

Département de Génie électrique et électronique
Spécialité Automatique
Option: Informatique industrielle

Mémoire de fin d'étude intitulé

**La reconnaissance automatique du stress d'une
personne via une webcam**

Présenté par:

Mr HASSANI Youcef

Soutenu le 04/07/2021 devant le jury

PRÉSIDENT : Mr A. Hadj Abdelkader Pr, Université de Tlemcen
EXAMINATEUR : Mr B. Benyahia MCA, Université de Tlemcen
ENCADRANTE : Mlle W. Handouzi MCB, Université de Tlemcen

2020/2021

Dédicace

Je tiens c'est avec grand plaisir que dédie ce modeste travail :

« A mes chère grande mère et mon grand-père »

« A mes chères sœur Yasmine et mon frère Mohammed »

« A mes chères parents ASSIA ET ABDELHAK »

« A ma très chère sœur Sarah »

Pour leur appui, leur encouragement et leur soutien tout au long de mon parcours universitaire.

Remerciements

On remercie mon Dieu ALLAH le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

Je voudrais dans un premier temps remercier, mon encadrante de mémoire Dr. HANDOUZI WAHIDA, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion et aussi ses conseils concernant mon style d'écriture, ils ont grandement facilité mon travail.

Je souhaite remercier mon Président de mémoire, Pr. HADJ ABDELKADER Amine, pour le temps qu'il a consacré à m'apporter les outils méthodologiques indispensables à la conduite de cette recherche. Son exigence m'a grandement stimulé.

J'exprime toute ma reconnaissance à monsieur l'examineur, Pr BENYAHIA Boumediène, d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Je remercie toutes les personnes, qui ont accepté de faire partie de mon expérience.

Je désire aussi remercier les professeurs de l'université de Tlemcen, qui m'ont fourni les outils nécessaires à la réussite de mes études universitaires.

Résumé

Dans ce travail, nous proposons la reconnaissance automatique du stress d'une personne via une webcam. La technologie PPG a été utilisée dans une large gamme de dispositifs médicaux disponibles dans le commerce pour mesurer la saturation en oxygène, le débit cardiaque, évaluer la fonction autonome, le type du stress et également détecter les maladies vasculaires périphériques.

A l'aide de l'expérience de la détection visage et de la fréquence cardiaque, nous avons sélectionné les principales caractéristiques pertinentes qui représentent le mieux la relation étroite entre le niveau de fréquence cardiaque et le type du stress.

Mots clés : Stress, La fréquence cardiaque (Fc), Photoplethysmographie (PPG), La détection du visage, Raspberry Pi3.

Table des matières

Dédicace	3
Remerciements	4
Résumé	5
Liste des Abréviations	13
Introduction générale	14
1 Généralités et revue bibliographique	15
1.1 Introduction	15
1.2 Généralités sur le stress	15
1.2.1 Qu'est ce que le stress ?	15
1.2.2 Manifestations du stress	16
1.2.3 Les causes du stress	18
1.3 Généralités sur le fonctionnement du rythme cardiaque	19
1.3.1 Système nerveux végétatif	20
1.3.2 Fréquence cardiaque	21

1.3.3	Variabilité de la fréquence cardiaque	24
1.4	Relation entre le stress et la fréquence cardiaque	25
1.4.1	Mesure de la Variabilité de la fréquence cardiaque	26
1.5	Revue bibliographique	27
1.6	Conclusion	30
2	Généralités sur la plethysmographie	31
2.1	Introduction	31
2.2	Définition photoplethysmographie	31
2.3	Mesure de la photopléthysmographie	32
2.4	Electrocardiogramme (ECG)	35
2.5	Différence entre PPG et ECG	38
2.6	Analyse des signaux photoplethysmographie (ppg)	39
2.6.1	Traitement des images nécessaire pour la mesure sans contact du PPG	39
2.6.2	Régulation des paramètres interface de la caméra numérique	40
2.6.3	Extraction du signal PPG	42
2.7	conclusion	44
3	Méthodologie	45
3.1	Introduction	45
3.2	Phase traitement des images	47
3.3	Phase extraction signal PPG	48
3.4	Phase détection des niveaux du stress	49
3.5	Phase système embarqué	50

TABLE DES MATIÈRES

3.5.1	Les accessoires utilisés	54
3.6	Servo moteur	60
3.7	Synthèse	64
3.8	Conclusion	64
4	Résultat et analyse	65
4.1	Introduction	65
4.1.1	Résultats du sujet 1	67
4.1.2	Résultats du sujet 2	68
4.1.3	Résultats du sujet 3	68
4.1.4	Résultats du sujet 4	69
4.1.5	Résultats du sujet 5	69
4.1.6	Résultats de sujet 6	70
4.1.7	Résultat de sujet 7	70
4.1.8	Résultats de sujet 8	71
4.1.9	Résultats de sujet 9	71
4.1.10	Résultat de sujet 10	72
4.2	Synthèse des résultats	72
	Conclusion générale	73
	Bibliographie	74

Table des figures

1.1	Réponses physiologiques au stress [50].	17
1.2	Différence entre systolique et diastolique [12].	19
1.3	Système nerveux autonome [21].	21
1.4	FC au repos chez les hommes, selon l'âge condition physique [12].	23
1.5	FC au repos chez les femmes, selon l'âge condition physique [12]. .	23
1.6	Variabilité de la fréquence cardiaque [47].	25
1.7	Exemple de représentation fréquentielle d'un signal de variabilité cardiaque avec les trois bandes de fréquences VLF, LF et HF [19]. .	26
2.1	Image d'un oxymètre de pouls monté au poignet [30].	33
2.2	Capteur de pouls à réflexion (capteur optique pour moniteur de fré- quence cardiaque) [34].	33
2.3	La forme d'onde du plethysmogramme [29].	34
2.4	Analyse des signaux photoplethysmography (ppg) [31].	34
2.5	représentation un électrocardiogramme normal, et chaque onde P, Q, R, S et T est signalée [48].	35

TABLE DES FIGURES

2.6	Exemple d'électrocardiogramme où les impulsions électriques synchrone avec le battement cardiaque sont indiquées(points verts) [25].	36
2.7	Electrocardiographe (Appareil d'ECG) [27].	37
2.8	relation entre intervalles de crête à crête (PPI) de PPG et Intervalles R-R (RRI) de ECG [33].	38
2.9	les channels système d'impulsions de PPG et ECG [46].	38
2.10	Vue d'ensemble du pipeline proposé d'estimation de la fréquence cardiaque et de la variabilité de la fréquence cardiaque [1].	39
2.11	Effet du panoramique et de l'inclinaison sur l'image d'une webcam [1].	40
2.12	Détection de visage [36].	41
2.13	Les Principales étapes de détection de visage	41
2.14	Un algorithme de vision par ordinateur enregistre le retour sur investissement en détectant la région du visage dans la séquence d'images vidéo et en émettant des signaux de couleur brute.[49]	42
2.15	Récupération de BVP à partir d'enregistrements de webcam [39]. . .	42
2.16	Exemple de signal photopléthysmographique extrait d'une webcam [1].	44
3.1	Détection du visage.	48
3.2	Le modèle de réflexion cutanée qui contient des réflexions spéculaires et diffuses, où seule la réflexion diffuse contient des informations pulsatiles [38].	48
3.3	Affichage les données signal de fréquence cardiaque (bpm)	49

TABLE DES FIGURES

3.4	Affichage des niveaux du stress	50
3.5	raspberry Pi 3	51
3.6	Schéma du Raspberry Pi 3	51
3.7	les caractéristiques du Raspberry Pi 3 [42].	52
3.8	Raspberry Pi 3 GPIO Pinout, Pin diagram [41].	53
3.9	alimentation externe de raspberry pi	55
3.10	La carte MicroSD est fournie avec un adaptateur	55
3.11	schéma de branchement la carte sd avec Raspberry Pi 3 [44].	56
3.12	webcam USB	56
3.13	clavier	57
3.14	la souris	57
3.15	Ecran HDMI	58
3.16	Le schéma principe de setup raspberry pi 3 avec les accessoires officiels	58
3.17	Activation la caméra dans raspberry pi configuration	59
3.18	Installation logiciel fswebcam	59
3.19	Configuration des fils de servo moteur	60
3.20	fréquence de signal pulsation servo moteur	60
3.21	temps pour rotation angle de servo moteur	61
3.22	calcule duty cycle du servo moteur	61
3.23	Servomoteur MG996R	62
3.24	Schéma principe de servo-moteurs avec raspberry pi 3	63
3.25	activation remote GPIO dans la raspberry pi configuration	63
3.26	Système de détection intégré	64

TABLE DES FIGURES

4.1	Résultats du sujet 1	67
4.2	Résultats du sujet 2	68
4.3	Résultats du sujet 3	68
4.4	Résultats du sujet 4	69
4.5	Résultats du sujet 5	69
4.6	Résultats du sujet 6	70
4.7	Résultats du sujet 7	70
4.8	Résultats du sujet 8	71
4.9	Résultats du sujet 9	71
4.10	Résultats du sujet 10	72

Listes des Abréviations

DSP	Densité Spectrale de puissance
VFC	La variabilité de la fréquence cardiaque
SNS	Le système nerveux sympathique
SNP	Le système nerveux parasympathique
SNA	Le système nerveux autonome
ECG	Électrocardiogramme
FC	La fréquence cardiaque
PPG	Photoplethysmography
ICA	Analyse des composants indépendants
POS	Plane orthogonal to the skin-tone

Introduction générale

«Réaction à toute forme de pression physique ou psychologique sur le corps et l'esprit, le stress est une constante dans nos vies. Si cette réponse permet d'échapper à une menace ponctuelle, elle devient un handicap lorsque les pressions qui la déclenchent sont constantes.» [1]

L'étude des comportements des individus (stress, états affectifs) est un sujet qui requiert de tenir compte de considérations éthiques relatives aux travaux impliquant des sujets humains et des informations à caractère hautement personnel [1].

L'influence négative du stress sur le comportement des individus limite leur capacité à réaliser leurs aspirations personnelles et professionnelles. L'anxiété ressentie de façon ponctuelle, par exemple dans une situation où notre performance est évaluée naturellement ; mais elle peut devenir un handicap et une souffrance dans le cas de troubles anxieux affectant le fonctionnement des individus au point de les empêcher de travailler ou d'établir et maintenir des relations sociales.

L'actuelle pandémie du coronavirus (covid-19) constitue une réalité particulière et inhabituelle ; le confinement avec la covid a fait que de nombreuses personnes vivent des réactions de stress.

Si le stress est inévitable comme le suggère Hans Selye dans la citation introduisant ce document, il est possible d'apprendre à contrôler nos réactions dans une situation stressante, de façon à ne pas laisser notre anxiété nous dominer [1].

Ce mémoire se compose de quatre chapitres. Dans le premier chapitre, nous allons définir en général le stress, rythme cardiaque, techniques de mesures du stress et dans lequel nous baserons sur la mesure de la fréquence cardiaque.

Dans le deuxième chapitre, nous présentons le principe des types techniques pour mesurer et savoir les méthodes de mesure le rythme cardiaque et aussi la reconnaissance faciale.

Le troisième chapitre présente la méthodologie dans lequel nous mettons en exergue la manière généralement de système étudié, aussi nous présentons avec Raspberry pi.

Les résultats des tests en temps réel et discussions seront présentés dans le quatrième chapitre. Nous terminerons ce travail par une conclusion générale.

Généralités et revue bibliographique

1.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons un aperçu des travaux existants sur la compréhension et la reconnaissance du stress, fonctionnement un rythme cardiaque et le principe de la variabilité de fréquence cardiaque.

1.2 Généralités sur le stress

1.2.1 Qu'est ce que le stress ?

Selon Lazarus et Folkman (1984, p. 19) : « Le stress est une relation particulière entre la personne et l'environnement, relation qui est évaluée par l'individu comme excédant ses ressources et menaçant son bien-être. ». C'est la réponse « Fight or Flight » un originellement décrit par le physiologiste Walter B. Cannon, une réaction du système nerveux orthosympathique à une situation compromettant la survie de l'individu afin de préparer le corps pour une réponse offensive ou défensive pour échapper au danger [1].

1.2.2 Manifestations du stress

Le stress peut se manifester à la fois par des signes et des symptômes émotionnels, mentaux et physiques.

Émotionnellement, une personne stressée peut se trouver surmenée, irritable, anxieuse, angoissée ou encore perdre l'estime d'elle-même.

Mentalement, les signes peuvent s'apparenter à un abus de pensées, à un état d'inquiétude constant, à des difficultés de concentration ou encore à des difficultés de prendre des décisions et à faire des choix.

Les symptômes physiques liés au stress sont tels que des maux de tête, des douleurs musculaires, des vertiges, des nausées, des troubles du sommeil, une fatigue intense ou encore des troubles de l'alimentation.

D'autres conséquences peuvent être associées à un état de stress chronique : le tabac, une augmentation des gestes et des comportements violents ou encore l'éviction des relations sociales.

En ce sens, le stress chronique n'est pas à négliger et se doit d'être identifié et soigné le plus tôt possible [4].

On s'intéresse à la manifestation physiologique du stress et beaucoup plus en détails de la fréquence cardiaque.

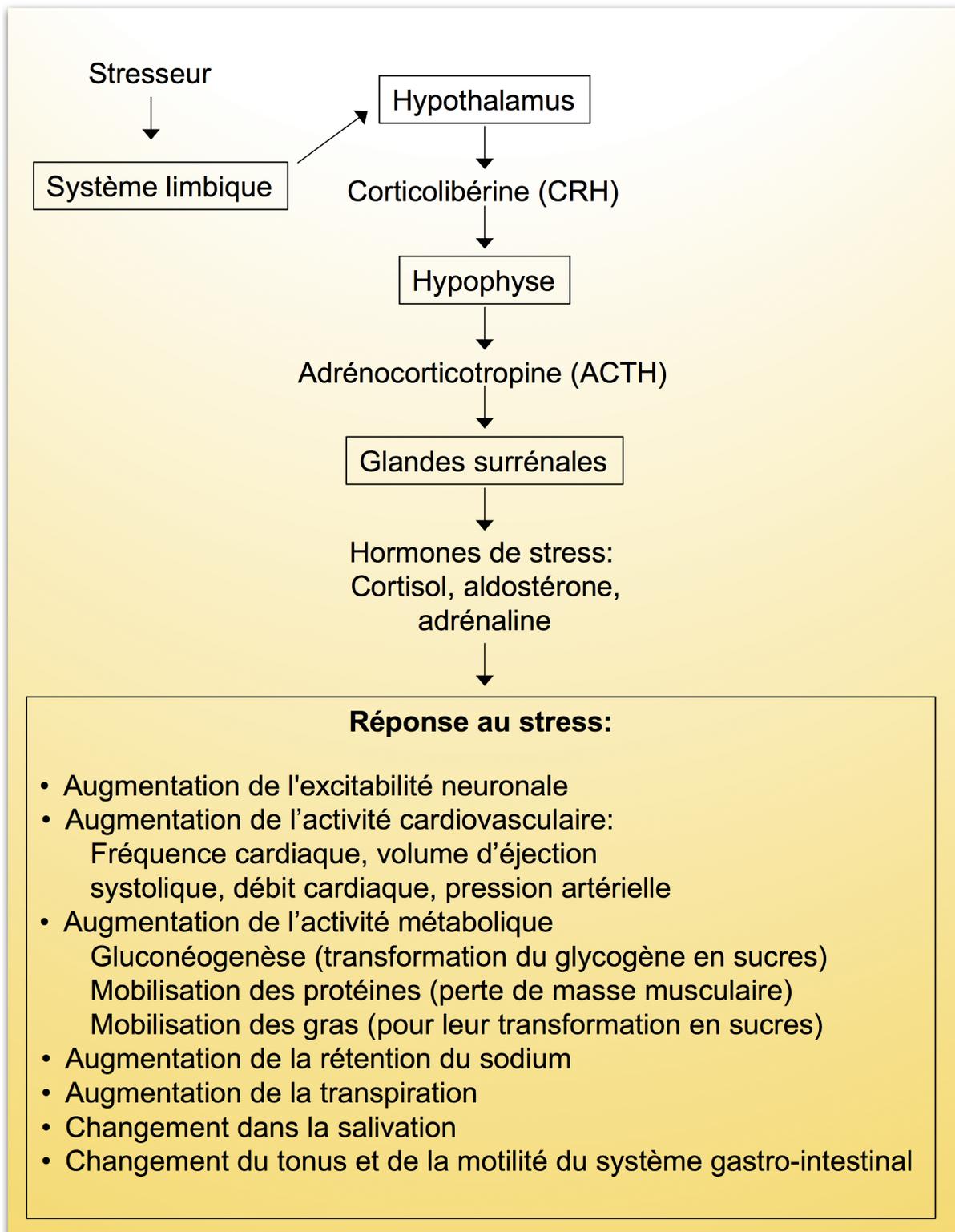


FIGURE 1.1: Réponses physiologiques au stress [50].

1.2.3 Les causes du stress

La réponse au stress est différente pour chaque personne ; dans cette section, nous intéressons aux éléments qui peuvent expliquer cette variabilité.

Nous tiendrons compte à la fois de la variabilité du stress ressenti et du stress exprimé par un individu, et du fait que ces deux mesures ne sont pas forcément égales [1]. Le stress est déclenché par des situations qui représentent un "danger" pour l'individu ou par des stressseurs. Ces situations de stress et/ou stressseurs peuvent s'apparenter par divers contextes en fonctions de l'âge de la personne.

Chez l'enfant et l'adolescent, ceux-ci peuvent se traduire par la confrontation à des situations violentes, abusives ou encore conflictuelles, comme dans le cas d'un divorce des parents.

Chez l'adulte, il s'agira davantage de situations stressantes dans la vie quotidienne et au travail, d'anxiété et de dépression. Des études ont notamment démontré qu'un état chronique de stress, chez l'adulte, était le plus souvent la conséquence d'un état anxieux sous-jacent.

L'exposition à des situations traumatiques peuvent également être à l'origine d'un stress chronique. On différencie alors l'état de stress aigu, de l'état de stress post-traumatique. Ces deux troubles sont la conséquence d'événements passés traumatisants : décès, accident, grave maladie, etc.

D'autres origines peuvent être également associées à une situation de stress : le tabagisme, l'utilisation de substances illicites, des troubles du sommeil ou encore de l'alimentation.

Il a notamment été souligné que les personnes présentant un stress chronique et confrontées à des situations de stress sur le long terme, présentaient un taux de mortalité plus élevé [4].

Le stress est une situation courante dans la vie quotidienne et peut toucher chaque personne.

Cependant, l'intensité du stress varie d'une personne à l'autre en fonction de sa personnalité et de sa capacité à gérer la situation stressante.

Les individus dépressifs et anxieux sont notamment plus à risque de faire face au stress quotidien.

Une situation de stress peut s'apparenter à : une pression routinière, au travail, à l'école, dans la famille ou encore pour tout autre responsabilité ;

Un stress provoqué par un changement soudain et imprévu, tel qu'un divorce, un changement de travail ou encore l'apparition d'une maladie ;

Un épisode traumatique : une catastrophe naturelle, un attentat, etc [4].

1.3 Généralités sur le fonctionnement du rythme cardiaque

Un rythme cardiaque sain se compose de deux phases :

La phase de remplissage (Diastole) : La diastole est la période au cours de laquelle le cœur se relâche après s'être contracté[13].Le sang pauvre en oxygène s'écoule de la circulation sanguine dans l'oreillette droite, à travers la valve, et dans le ventricule droit. En même temps, le sang riche en oxygène s'écoule des poumons dans l'oreillette gauche, à travers la valve et dans le ventricule gauche [12].

La phase de contraction (Systole) : La systole est la contraction des chambres du cœur. L'adjectif correspondant est systolique[14].Le muscle cardiaque se contracte, les valves entre les oreillettes et les ventricules se ferment, la pression dans les ventricules augmente et les valves semi-lunaires s'ouvrent. Par ce mécanisme, le sang pauvre en oxygène du ventricule droit est pompé vers les poumons et le sang riche en oxygène vers la circulation dans le corps. Pendant que les ventricules se vident, les oreillettes se remplissent déjà de sang neuf et le processus recommence depuis le début [12].

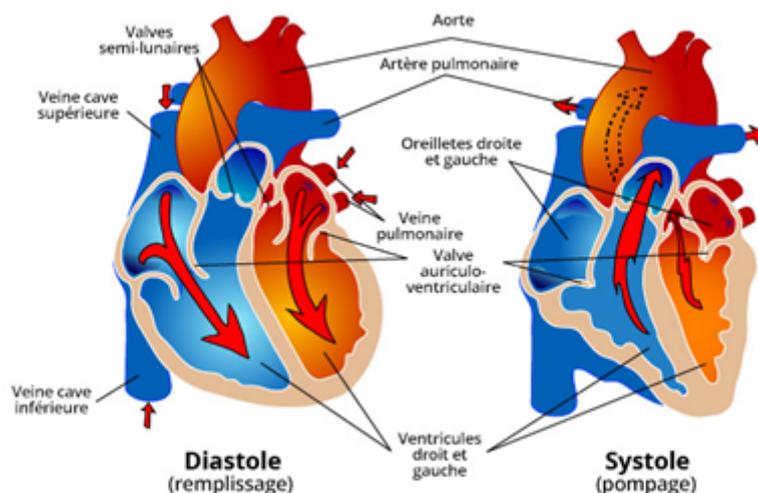


FIGURE 1.2: Différence entre systolique et diastolique [12].

1.3.1 Système nerveux végétatif

L'appellation qui définit le mieux le système nerveux végétatif est le « système nerveux autonome ». Il possède son propre mécanisme de gestion pour réguler le fonctionnement automatique des différents organes comme ceux du système digestif.

Grâce au système nerveux autonome, la pression artérielle, la circulation du sang que ce soit artérielle ou veineuse, l'excrétion et la sécrétion fonctionnent indépendamment de la volonté et de la conscience de l'individu [20].

a. Fonctionnement du système nerveux végétatif

Les commandes proviennent des centres régulateurs localisés dans le cerveau, dans le tronc cérébral et dans la moelle épinière. Ainsi, une partie du système neuro-végétatif appartient au système nerveux central et une autre au système nerveux périphérique.

Le système nerveux végétatif est composé du système nerveux sympathique et du système nerveux parasympathique.

- Le système nerveux sympathique (SNS)

Aussi appelé système nerveux orthosympathique, il correspond à la stimulation du processus physiologique, c'est-à-dire qu'il alerte l'organisme en le préparant à une réaction physique et intellectuelle active. C'est dans ce cas que les neurotransmetteurs appelés adrénaline et noradrénaline travaillent en accélérant le rythme cardiaque ainsi que l'activité respiratoire [20].

- Le système nerveux parasympathique(SNP)

Aussi appelé système vagal, ce type de système nerveux répond par inhibition, c'est-à-dire qu'il ralentit le fonctionnement des différents organes et stimule en revanche le système digestif. Beaucoup de ses fibres nerveuses partent du crâne.

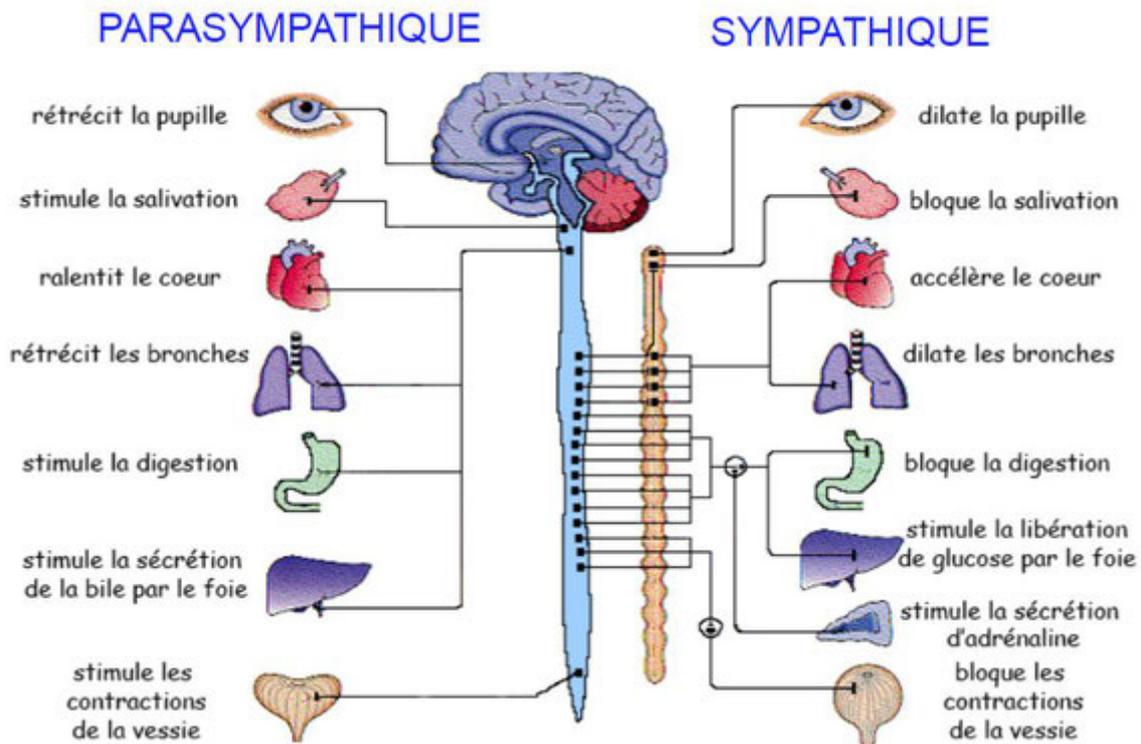


FIGURE 1.3: Système nerveux autonome [21].

Le SNA (système nerveux autonome) contrôle les muscles lisses, le muscle cardiaque et les glandes sudoripares.

Lorsque les gens sont confrontés au stress et à l'excitation émotionnelle, ces organes liés au SNA seront activés. Lorsque notre cerveau perçoit le stress, le SNS stimule l'hypothalamus et sécrète des hormones de stress pour réduire la digestion, augmenter la fréquence cardiaque.

Au cours de cette réponse au stress physique, notre corps libère beaucoup d'énergie. Lorsque le cerveau sent que le stress est terminé, le système nerveux parasympathique produit des hormones au niveau de base pour restaurer notre corps à un état de repos [21].

1.3.2 Fréquence cardiaque

La fréquence cardiaque est le nombre de battements cardiaques (ou pulsations) par unité de temps (généralement la minute). C'est une notion quantitative qui peut aussi se définir en nombre de cycles par seconde, par l'inverse de la période.

Par abus de langage, on confond souvent la fréquence cardiaque avec le rythme cardiaque ou le pouls. Le rythme cardiaque est une notion qualitative qui désigne la manière avec laquelle s'effectue une révolution cardiaque, la manière dont les cycles se succèdent. Le rythme cardiaque est le mécanisme à l'origine de la contraction des ventricules. Le pouls désigne quant à lui la perception au toucher de l'artère battante, permettant, certes d'évaluer les battements cardiaques, mais d'apporter également d'autres renseignements [15].

a. Les niveaux d'une fréquence cardiaque

La fréquence cardiaque décrit le nombre de battements mesurés par minute (bpm), ce nombre est un indicateur de la charge de travail de l'appareil cardiovasculaire.[12]

La fréquence cardiaque est classifiée en fonction qu'il soit faible, normale ou élevée :

- Bradycardie : fréquence cardiaque lente
- Normo fréquent : fréquence cardiaque normale
- Tachycardie : fréquence cardiaque élevée

- Une fréquence cardiaque normale

Une fréquence cardiaque normale est comprise entre 60 et 100 battements par minute (bpm) [16].

- Elle est légèrement plus élevée chez les femmes que chez les hommes
- Le cœur des enfants bat plus rapidement : chez le nouveau-né, entre 120 et 160 fois par minute.
- Au contraire, chez les sportifs, la fréquence cardiaque peut s'abaisser à des niveaux très faibles, jusqu'à 40 bpm.

Lorsqu'on pratique un exercice physique, la fréquence cardiaque augmente, et ce, d'autant que l'effort est soutenu. Les muscles sont ainsi mieux approvisionnés en oxygène et éléments nutritifs.

La fréquence cardiaque dépend de nombreux facteurs, notamment de l'âge et de la condition physique.

En état de repos, le rythme cardiaque est appelé "pouls au repos" ou "rythme cardiaque au repos" et donne des informations sur la condition du cœur.

Les valeurs standard du pouls au repos en fonction du sexe, de l'âge et de la condition physique sont indiquées dans le tableau ci-dessous [12].

HOMME / Condition physique	18-25 ans	26-35 ans	36-45 ans	46-55 ans	56-65 ans	65+ ans
Athlète	49-55	49-54	50-56	50-57	51-56	50-55
Excellente	56-61	55-61	57-62	58-63	57-61	56-61
Bonne	62-65	62-65	63-66	64-67	62-67	62-65
Au-dessus de la moyenne	66-69	66-70	67-70	68-71	68-71	66-69
Moyenne	70-73	71-74	71-75	72-76	72-75	70-73
En dessous de la moyenne	74-81	75-81	76-82	77-83	76-81	74-79
Mauvaise	82+	82+	83+	84+	82+	80+

FIGURE 1.4: FC au repos chez les hommes, selon l'âge condition physique [12].

FEMME / Condition physique	18-25 years	26-35 years	36-45 years	46-55 years	56-65 years	65+ years
Athlète	56-60	54-59	54-59	54-60	54-59	54-59
Excellente	61-65	60-64	60-64	61-65	60-64	60-64
Bonne	66-69	65-68	65-69	66-69	65-68	65-68
Au-dessus de la moyenne	70-73	69-72	70-73	70-73	69-73	69-72
Moyenne	74-78	73-76	74-78	74-77	74-77	73-76
En dessous de la moyenne	79-84	77-82	79-84	78-83	78-83	77-84
Mauvaise	85+	83+	85+	84+	84+	84+

FIGURE 1.5: FC au repos chez les femmes, selon l'âge condition physique [12].

- Bradycardie (une fréquence cardiaque faible)

Lorsqu'une fréquence cardiaque est inférieure à 60 bpm, on parle de bradycardie. Si elle est normale chez les sportifs ou chez les personnes âgées, elle peut également être liée à :

- la prise de certains médicaments comme les bêtabloquants, les inhibiteurs calciques utilisés pour traiter des troubles cardiaques, etc.
- une pathologie cardiaque ;
- une pathologie non cardiaque, comme l'hypothyroïdie ;
- de l'hypertension intracrânienne ;
- un déficit en potassium, etc [16].

- Tachycardie (une fréquence cardiaque élevée)

La tachycardie correspond au contraire à une augmentation de la fréquence cardiaque. En dehors de l'effort, elle peut être liée à :

- la fièvre ou un état inflammatoire ;
- une hyperthyroïdie ;
- une anémie ;
- une hypovolémie, c'est-à-dire une réduction du volume sanguin (en cas d'hémorragie par exemple) ;
- la prise de drogues ou de boissons excitantes comme le café ou l'alcool ;
- une embolie pulmonaire ;
- une pathologie cardiaque, etc [16].

1.3.3 Variabilité de la fréquence cardiaque

La variabilité de la fréquence cardiaque ou VFC (en anglais, heart rate variability ou HRV) est le degré de fluctuation de la durée des contractions du cœur, ou de l'intervalle entre deux contractions. Il s'agit d'une plus ou moins grande régularité, tandis que le rythme cardiaque s'intéresse à la fréquence des contractions.

La VFC est déterminée à partir du cœur lui-même (barorécepteurs) par diverses interactions en lien avec le système nerveux autonome. Une variabilité élevée indique une bonne capacité immédiate d'adaptation du cœur aux sollicitations, et est ainsi à la fois un signe et un facteur de santé.

La variabilité cardiaque est reconnue scientifiquement. Cette dernière « a été approuvée par la Société américaine de la rythmologie et la Société européenne de cardiologie » [17].

1.4 Relation entre le stress et la fréquence cardiaque

Le cœur bat de soixante à quatre-vingt-dix fois par minute, pompant ainsi le sang riche en oxygène et en nutriments vers les organes. Des impulsions électriques en provenance du nœud sinusal sont responsables d'un battement cardiaque continu. Le nœud sinusal est situé au sommet de l'oreillette droite et est un stimulateur naturel du cœur [12].

La fréquence à laquelle le cœur bat pour pomper le sang dans tout le corps s'appelle le rythme cardiaque.

Le stress intense a un effet très important sur le système nerveux autonome sympathique qui provoque une grande stimulation du cœur directement, de même que par l'intermédiaire d'hormones comme l'adrénaline. Ces changements accélèrent le rythme cardiaque, provoquent des arythmies cardiaques sévères ou encore peuvent provoquer une contraction des artères coronaires [50].

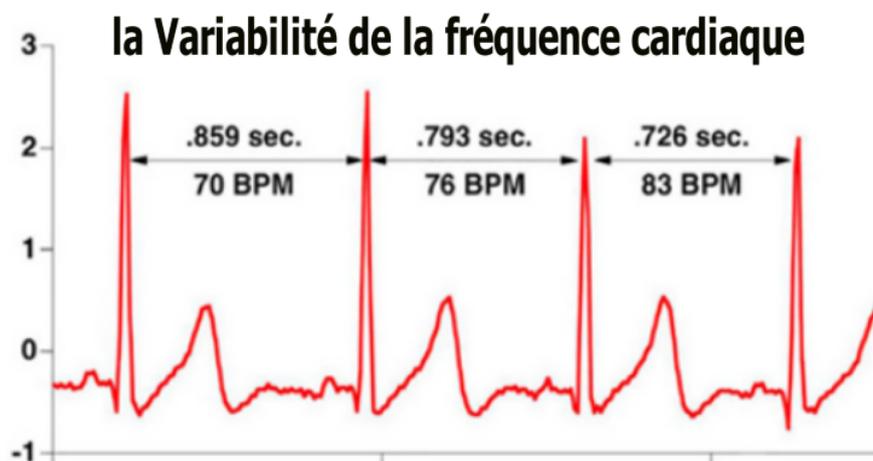


FIGURE 1.6: Variabilité de la fréquence cardiaque [47].

1.4.1 Mesure de la Variabilité de la fréquence cardiaque

Le rythme cardiaque augmente à l'inspiration et diminue à l'expiration, l'activité parasympathique étant diminuée pendant l'inspiration. La fluctuation de ce rythme caractérise la VFC.

On peut ainsi sur un sujet, soit en réalisant un électrocardiogramme, soit en utilisant un

cardiofréquencemètre d'une précision suffisante, évaluer la VFC en mesurant tout d'abord chaque intervalle R-R, l'analyse de la variabilité de la fréquence se fera ensuite par un traitement mathématique des données.

La méthode dite de « tilt test actif » de mesure de l'énergie spectrale à partir de l'analyse de la variabilité de la fréquence cardiaque est une méthode de référence .

La mesure de l'activité neuro-végétative, à partir de la VFC, est toujours réalisée dans des conditions standardisées, notamment, le matin à jeun. Le test de recueil des données de la fréquence cardiaque dure quinze minutes : l'enregistrement des intervalles R-R dure huit minutes en situation de repos en décubitus et sept minutes en orthostatisme [18].

Le spectre de puissance d'un enregistrement de variabilité de la fréquence cardiaque est constitué de multiples fréquences et les chercheurs ont pour habitude de découper cette DSP en trois bandes de fréquences différentes :

- Les très basses fréquences [0 ; 0,04] Hz appelées VLF.
- Les très basses fréquences [0,04 ; 0,15] Hz appelées LF.
- Les très basses fréquences [0,15 ; 0,40] Hz appelées HF [19].

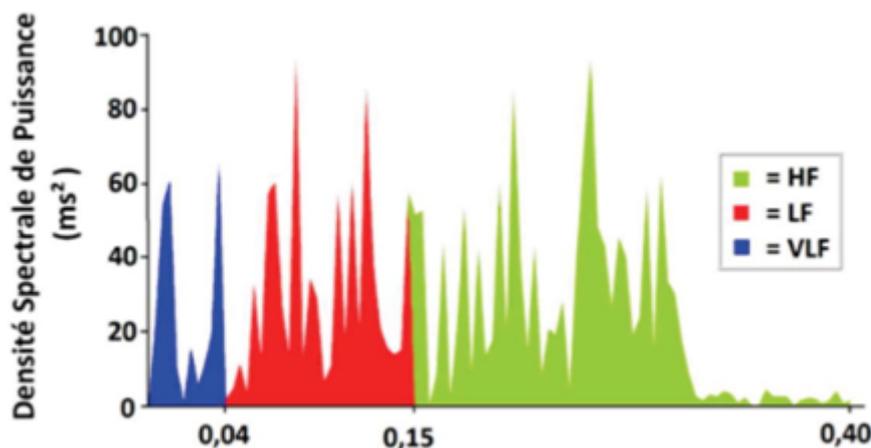


FIGURE 1.7: Exemple de représentation fréquentielle d'un signal de variabilité cardiaque avec les trois bandes de fréquences VLF, LF et HF [19].

La variabilité de la fréquence cardiaque est utilisée dans de multiples domaines d'application allant de l'économie (évolution de la bourse) à la météo (évolution de la température, des précipitations,...) en passant par la médecine (régulation hormonale,...) [19].

1.5 Revue bibliographique

Dans le travail de Soury Mariette qui a pour objectif la détection multimodale du stress pour la conception de logiciels de remédiation, il a utilisé la méthode de fusion et les décisions des modèles audio et il a trouvé confronter les auto-annotations aux annotations externes montrer leur non-concordance, résultat confortant la subjectivité de la perception du stress.

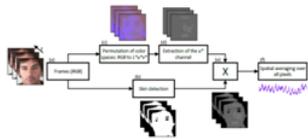
La courbe de stress dérivée de la webcam a été comparée à l'activité électrodermale pour quantifier le niveau de corrélation entre ces deux mesures qui a montré un très bon résultat dans les travaux de Monsieur Bousefsaf, Frédéric. Ce travail a été basé sur mesure sans contact de l'activité cardiaque par analyse du flux vidéo issu d'une caméra numérique : extraction de paramètres physiologiques et application à l'estimation du stress.

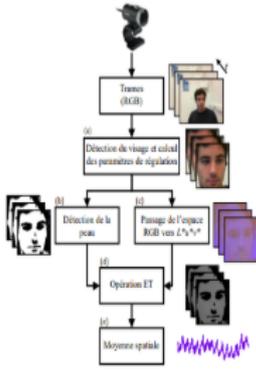
Dans une autre étude, Frédéric Bousefsaf a proposé quantification de l'activité mentale à partir d'une webcam en utilisant les amplitudes du flux sanguin et la variabilité de la fréquence cardiaque et a trouvé le résultat pour les 3 patients, les « scores KiMe² » et « score praticien » ont été corrélés.

Pour le patient n°1, une cotation de 2 a été notée par le praticien, car le patient n'avait réussi à monter les mains qu'au niveau de la bouche. Le score KiMe fut de 2 avec un pourcentage de validation de 100 %. Le logiciel indique également dans ces commentaires que le critère discriminant était la position des mains qui ont atteint la bouche, mais pas le sommet de la tête.

Le travail de Hamza Hamdi est d'utiliser des méthodes de classification pour évaluer la pertinence des outils d'acquisition proposés.

Tableau 1 : Synthèse de l'état de l'art

Auteur	Sujet	Méthode	Résultat
Soury, Mariette [1].	Détection multimodale du stress pour la conception de logiciels de remédiation.	La méthode de fusion	Confronter les auto-annotations aux annotations externes et montrer leur non-concordance, résultat confortant la subjectivité de la perception du stress.
Bousefsaf, Frédéric [7].	Mesure sans contact de l'activité cardiaque par analyse du flux vidéo issu d'une caméra numérique : extraction de paramètres physiologiques et application à l'estimation du stress.	Méthodes de traitement du signal et des images.	La courbe de stress dérivée de la webcam a été comparée à l'activité électrodermale pour quantifier le niveau de corrélation entre ces deux mesures.
Frédéric Bousefsaf, Choubeila Maaoui, Alain Pruski [8].	Détection automatique du stress humain sur la base des signaux photopléthysmographiques de webcam.		Les signaux de 12 sujets expérimentaux ont été collectés et 2376 vecteurs de caractéristiques ont été extraits, puisque chaque participant a généré des données sous trois segments sans stress et trois segments de stress.
Faiza ABDAT [9].	Reconnaissance automatique des émotions par données multimodales : expressions faciales et des signaux physiologiques.	Deux méthodes, l'une basée sur les composantes principales et l'autre basée sur l'information mutuelle.	Le signal physiologique varie largement en fonction des émotions et des personnes.

<p>Frédéric Bousefsaf Choubeila Maaoui, Alain Pruski [10].</p>	<p>Quantification de l'activité mentale à partir d'une webcam en utilisant les amplitudes du flux sanguin et la variabilité de la fréquence cardiaque.</p>		<p>Les courbes de stress de la webcam ont été comparées aux activités électrodermales pour les 3 patients, les «scores KiMe²» et «score praticien» ont été corrélés. Le score KiMe fut de 2 avec un pourcentage de validation de 100 %. Le logiciel indique également dans ces commentaires que le critère discriminant était la position des mains qui ont atteint la bouche, mais pas le sommet de la tête.</p>
<p>Pierre Gosselin Pasquale Roberge Marie-France Lavallée [11].</p>	<p>Le développement de la reconnaissance des expressions faciales émotionnelles du répertoire humain</p>	<p>Examiner la reconnaissance de huit expressions du répertoire, autres que celles déjà examinées dans notre étude antérieure, auprès d'enfants d'âge scolaire et déjeunes adultes.</p>	<p>Les résultats indiquent que l'exactitude des jugements augmente en fonction de l'âge pour les expressions de deux des quatre émotions : la surprise et le dégoût. L'analyse des erreurs de jugement montre que deux erreurs prédominent pendant l'enfance. La première consiste à interpréter les expressions de dégoût comme des expressions de colère et la seconde à interpréter les expressions de surprise comme des expressions de dégoût. Les résultats ne confirment pas les prédictions faites en rapport avec l'accentuation de l'expression faciale.</p>

1.6 Conclusion

Le stress peut être considéré comme un révélateur du malaise des sociétés industrielles évoluées où l'homme, privé de structures religieuses, familiales et sociales adéquates, et de la dimension spirituelle de l'existence, réduit à ses ressources individuelles psychologiques et physiques. Il est une réponse de l'organisme soumis aux contraintes de l'environnement.

On peut aussi également le définir comme étant un syndrome d'adaptation à un ensemble de perturbations émotionnelles.

Le stress a des conséquences biologiques, mentales et psychiques de l'action de ces agents « stressants » sur la santé des individus.

Généralités sur la plethysmographie

2.1 Introduction

Puisque le stress est d'abord une réaction physiologique, il existe des variations individuelles, socioculturelles et contextuelles dans l'expérience et l'expression du stress, nous pouvons chercher à mesurer le stress selon les variations physiologiques d'un individu.

Plusieurs études ont montré l'efficacité de ces mesures, en particulier les variations des rythmes cardiaque et respiratoire, la conductance de la peau, et le taux de cortisol présent dans le sang ou la salive, et pour la distinction des états émotionnels ou la reconnaissance du stress en laboratoire.

2.2 Définition photoplethysmographie

Un photoplethysmogramme (PPG) est un plethysmogramme obtenu optiquement qui peut être utilisé pour détecter les changements de volume sanguin dans le lit microvasculaire du tissu [28].

La Figure suivante présente des exemples des caractéristiques extraites et sa deuxième dérivée, le plethysmogramme d'accélération. Temps de crête, delta T, largeur d'impulsion et AI : indice d'augmentation La forme d'onde du plethysmogramme.

2.3 Mesure de la photoplethysmographie

Un PPG est souvent obtenu en utilisant un oxymètre de pouls qui illumine la peau et mesure les changements d'absorption de la lumière

Un oxymètre de pouls conventionnel surveille la perfusion de sang vers le derme et le tissu sous-cutané de la peau. À chaque cycle cardiaque, le cœur pompe le sang vers la périphérie.

Même si cette impulsion de pression est quelque peu atténuée au moment où elle atteint la peau, elle suffit à distendre les artères et les artérioles du tissu sous-cutané.

Si l'oxymètre de pouls est fixé sans comprimer la peau, une impulsion de pression peut également être vue à partir du plexus veineux, comme un petit pic secondaire [28].

Le changement de volume causé par l'impulsion de pression est détecté en éclairant la peau avec la lumière d'une diode électroluminescente (LED), puis en mesurant la quantité de lumière transmise ou réfléchi à une photodiode. Chaque cycle cardiaque apparaît comme un pic, comme le montre la figure.

Parce que le flux sanguin vers la peau peut être modulé par plusieurs autres systèmes physiologiques, le PPG peut également être utilisé pour surveiller la respiration, l'hypovolémie et d'autres conditions circulatoires [28].

De plus, la forme d'onde PPG diffère d'un sujet à l'autre et varie avec l'emplacement et la manière dont l'oxymètre de pouls est fixé.



FIGURE 2.1: Image d'un oxymètre de pouls monté au poignet [30].

En général, en regardant la période de fluctuation à partir de la forme d'onde obtenue par les mesures du capteur d'onde de pouls et en observant la pulsation (variation) en utilisant la fréquence cardiaque avec les ondes rouges et infrarouges, il est possible de mesurer la saturation artérielle en oxygène du sang (SpO_2).

En outre, l'utilisation des données des capteurs de pouls devrait permettre le calcul de divers signes vitaux tels que l'analyse de la VRC (niveau de stress) et l'âge vasculaire grâce à un échantillonnage à grande vitesse et des mesures de haute précision [34].

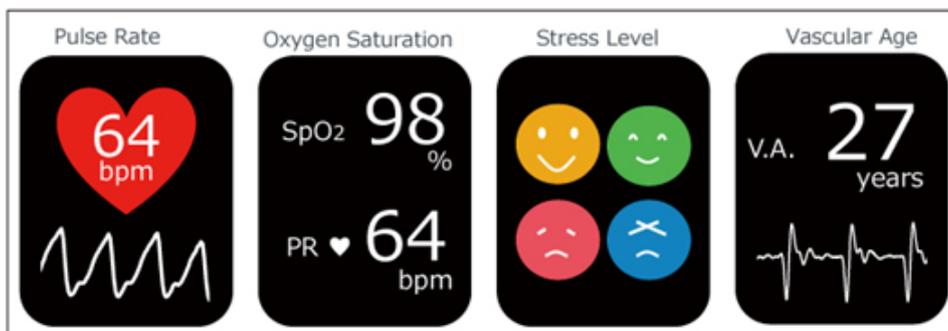


FIGURE 2.2: Capteur de pouls à réflexion (capteur optique pour moniteur de fréquence cardiaque) [34].

La forme d'onde du signal PPG décrit les variations de l'atténuation que l'énergie lumineuse subit sur son trajet lorsqu'elle est transmise ou réfléchiée dans les tissus biologiques. Sur la base de l'analyse de la figure, il est possible d'estimer certains paramètres, tels que l'amplitude de l'onde de pouls systole, l'amplitude de l'onde de pouls diastolique, l'intervalle de temps entre les battements (t_1), etc...

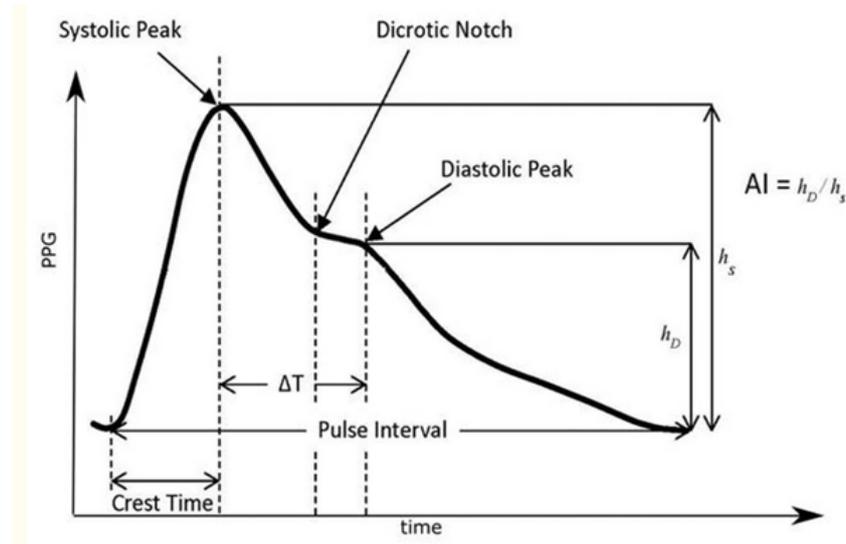


FIGURE 2.3: La forme d'onde du plethysmogramme [29].

Il est possible de déterminer la fréquence cardiaque instantanée (HR_{inst}) [31]. La HR_{inst} peut être calculée à partir de l'intervalle entre les battements (t_1); en utilisant l'équation suivante on peut calculer la VRC instantanée :

$$HR_{inst} = \frac{60}{t_1}$$

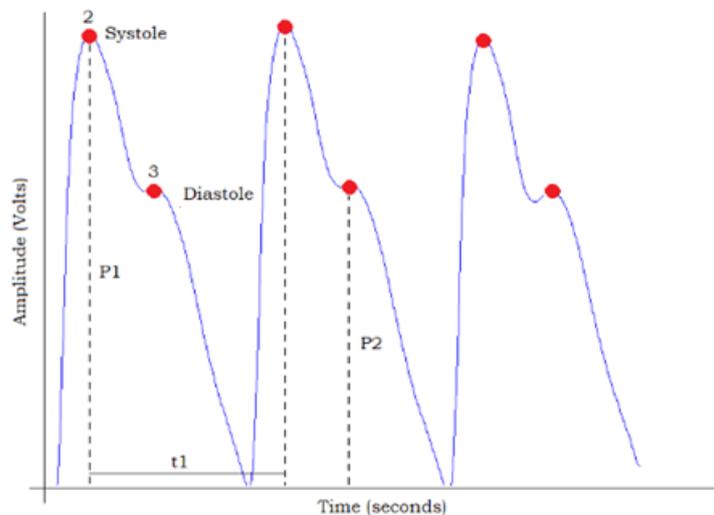


FIGURE 2.4: Analyse des signaux photoplethysmography (ppg) [31].

2.4 Electrocardiogramme (ECG)

Un électrocardiogramme (ECG) est un test qui étudie le fonctionnement du cœur en mesurant son activité électrique. À chaque battement cardiaque, une impulsion électrique (ou « onde ») traverse le cœur. Cette onde fait contracter le muscle cardiaque afin qu'il expulse le sang du cœur [22].

La manière la plus précise pour mesurer les intervalles R-R est d'utiliser un électrocardiogramme (ECG), un appareil que l'on retrouve chez les médecins généralistes ou cardiologues [23].

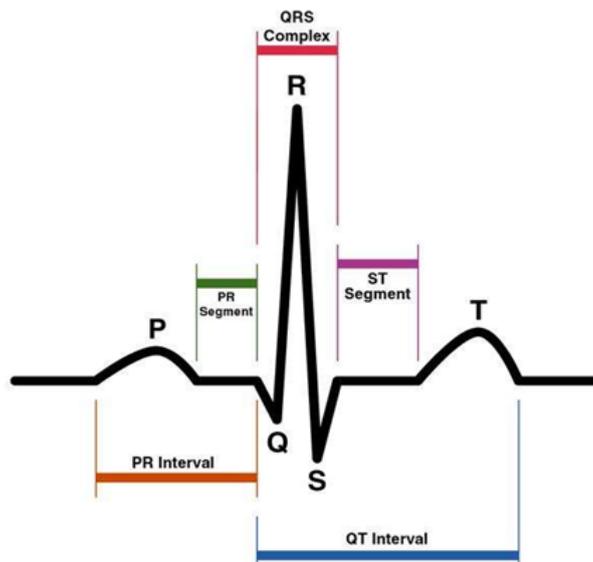


FIGURE 2.5: représentation un électrocardiogramme normal, et chaque onde P, Q, R, S et T est signalée [48].

Dans un tracé typique, on peut remarquer cinq ondes caractéristiques. On les appelle P, Q, R, S et T. L'illustration ci-dessous montre à quoi ressemble un électrocardiogramme normal :

- l'onde P marque la dépolarisation lors de la contraction des oreillettes ;
- l'intervalle PR indique le temps nécessaire à la transmission de l'influx électrique du nœud sinusal des oreillettes jusqu'aux muscles ventriculaires ;
- le complexe QRS marque la dépolarisation et la contraction ventriculaire ;
- l'intervalle QT correspond à la repolarisation ventriculaire globale ;
- l'onde T désigne la fin de la repolarisation ventriculaire [24].

Sur un enregistrement ECG, dont un exemple est indiqué sur la Figure suivante, une onde particulièrement proéminente, appelée onde R, est synchronisée avec chaque battement cardiaque [25].

L'intervalle de temps séparant deux battements successifs et donc, deux ondes R, est appelé «segment RR» dans le milieu médical et permet de calculer la fréquence cardiaque instantanée.

$$fc_n = \frac{f_s}{(R_n - R_{n-1})} \times 60$$

Où $R_n - R_{n-1}$ correspond au nombre d'échantillons séparant le $n-1$ ème et le n ème battement cardiaque et où f_s représente la fréquence d'échantillonnage utilisée :

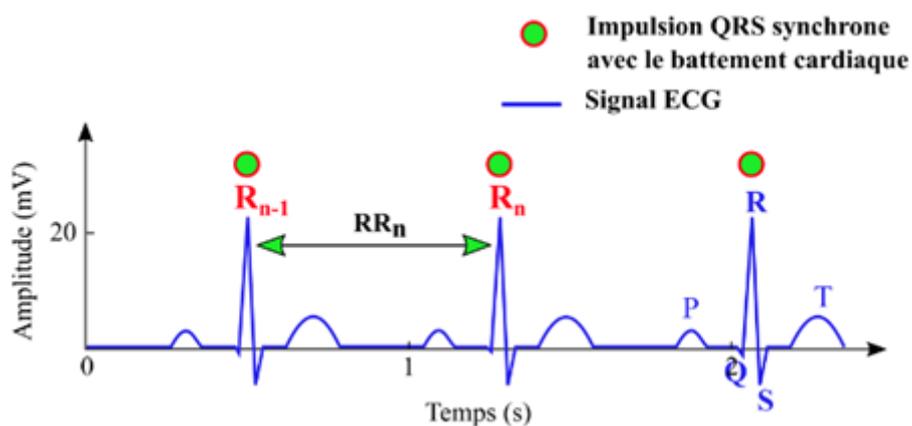


FIGURE 2.6: Exemple d'électrocardiogramme où les impulsions électriques synchrones avec le battement cardiaque sont indiquées (points verts) [25].

Pour qu'un ECG soit normal, plusieurs points doivent être réunis :

1. Le rythme cardiaque normal (provenant du nœud sinusal situé dans l'oreillette droite) est un rythme régulier avec une fréquence cardiaque comprise entre 50 et 100 battements par minute. En dessous de 50/minute, on parle de bradycardie et au-dessus de 100, il est question de tachycardie.
2. Chaque onde P doit être suivie d'un QRS, c'est ce qui permet de détecter d'éventuels troubles de la conduction entre les oreillettes et les ventricules.
3. L'espace entre deux QRS doit être toujours le même, c'est ce qui indique que le rythme cardiaque est régulier.
4. Les morphologies de l'onde P de l'oreillette et du complexe ventriculaire QRS doivent être normales [26].

L'électrocardiographe est l'appareil permettant de faire un électrocardiogramme.

L'électrocardioscope, ou scope, est un appareil affichant le tracé sur un écran.



FIGURE 2.7: Electrocardiographe (Appareil d'ECG) [27].

2.5 Différence entre PPG et ECG

On considère l'électrocardiogramme (ECG) comme la méthode de référence pour mesurer la fréquence cardiaque. Comparativement l'ECG et la ceinture thoracique analyse la dépolarisation du nœud sinusal alors que la technique PPG analyse le flux sanguin dans le derme à un point distant par photopléthysmographie [32].

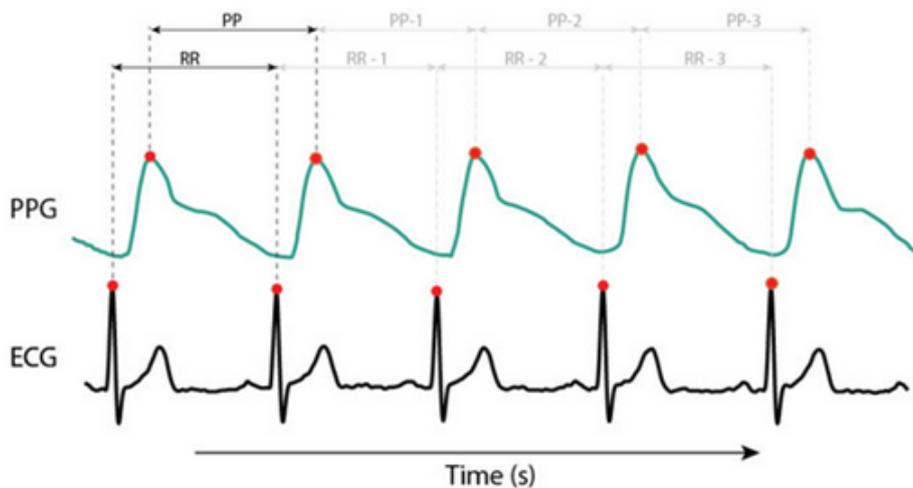


FIGURE 2.8: relation entre intervalles de crête à crête (PPI) de PPG et Intervalles R-R (RRI) de ECG [33].

Système d'impulsion de photopléthysmographie à 6 canaux

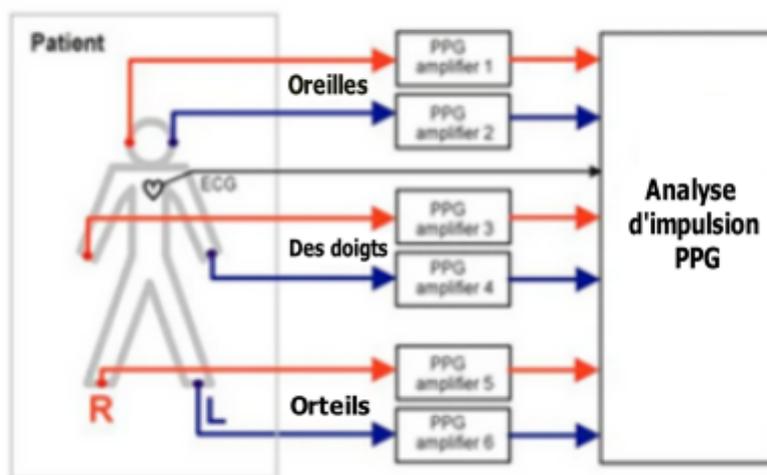


FIGURE 2.9: les channels système d'impulsions de PPG et ECG [46].

2.6 Analyse des signaux photoplethysmographie (ppg)

2.6.1 Traitement des images nécessaire pour la mesure sans contact du PPG

a. Caméra numérique (webcam pc)

Les webcams sont souvent associées à des caméras numériques de moins bonne qualité, même si les progrès technologiques dans ce domaine tendent à montrer que les webcams et les caméras embarquées deviennent des dispositifs de plus en plus performants.

La régulation des paramètres de la webcam est également nécessaire pour assurer le bon fonctionnement du filtre de détection des pixels appartenant à la peau. Elle a néanmoins été développée pour régler de manière adéquate l'image délivrée par la webcam afin de s'assurer que les signaux photopléthysmographiques mesurés sont de bonne qualité, notamment en ce qui concerne leur rapport signal sur bruit.

Les caméras numériques sont des dispositifs permettant d'acquérir des images à une vitesse de rafraîchissement qui peut être variable selon les appareils. Cet échantillonnage est calculé en trames par seconde (la dénomination dérivée de l'anglais fps, pour frames per second, est souvent utilisée). Une valeur importante est souvent associée à des caméras de meilleure performance [1].

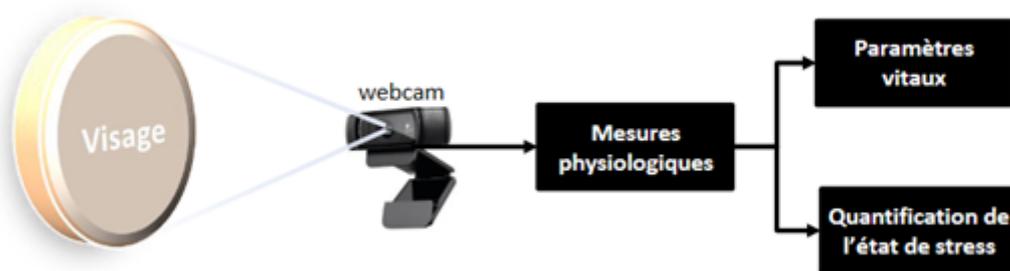


FIGURE 2.10: Vue d'ensemble du pipeline proposé d'estimation de la fréquence cardiaque et de la variabilité de la fréquence cardiaque [1].

2.6.2 Régulation des paramètres interface de la caméra numérique

b. Panoramique, inclinaison et zoom

Travailler avec des trames en haute définition ralentit l'acquisition et augmente les temps de calcul des algorithmes permettant d'analyser et traiter les images.

Utilisés principalement en vidéosurveillance, le panoramique, l'inclinaison (Tilt) et le zoom sont dédiés au contrôle à distance de la partie motorisée qui peut être couplée à certaines caméras.

Le zoom n'est en général pas optique mais numérique sur ces dispositifs : la caméra capture une image de résolution maximale et renvoie une image recadrée à la résolution courante.

Le panoramique gère la translation horizontale tandis que l'inclinaison dirige la translation verticale [1].

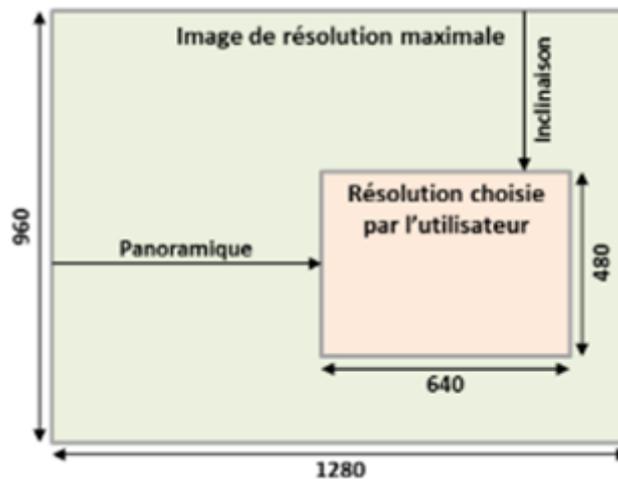


FIGURE 2.11: Effet du panoramique et de l'inclinaison sur l'image d'une webcam [1].

b. La détection de visage

La détection de visage consiste à déterminer la présence ou l'absence de visages dans une image et en cas de présence à déterminer sa localisation.

C'est une tâche préliminaire nécessaire et fondamentale à la plupart des techniques d'analyse du visage. Les techniques utilisées sont généralement issues du domaine de la reconnaissance des formes. En effet, le problème peut être vu comme la détection de caractéristiques communes à l'ensemble des visages humains : il s'agit de comparer une image à un modèle générique de visage et d'indiquer s'il y a ou non ressemblance.

La sortie d'un détecteur de visage indique le nombre de visages présents dans l'image. De plus, la plupart des détecteurs de visage actuels sont aussi des localisateurs de visages : ils renvoient une localisation des visages détectés (une boîte englobante par exemple).

Les principales difficultés sont la robustesse aux différentes identités, poses du visage, expressions faciales et aux variations d'illumination [35].



FIGURE 2.12: Détection de visage [36].

- Extraction de caractéristique : (appelée aussi indexation, représentation, modélisation, analyse), il faut extraire de l'image les informations qui seront sauvegardées en mémoire pour être utilisées plus tard dans la phase Décision.
- Localisation de visage : Le plus souvent la détection de visage inclut sa localisation ; elle vérifie la présence d'un ou de plusieurs visages dans une image et retourne leurs positions.
- Reconnaissance de visage : Elle retourne l'identité de la personne dans le cas de la reconnaissance et le droit d'accès dans le cas de la vérification.
- La poursuite du visage : Elle essaye de suivre un visage dans une séquence d'images (vidéo) et elle retourne périodiquement sa position dans une image qui appartient à la séquence.

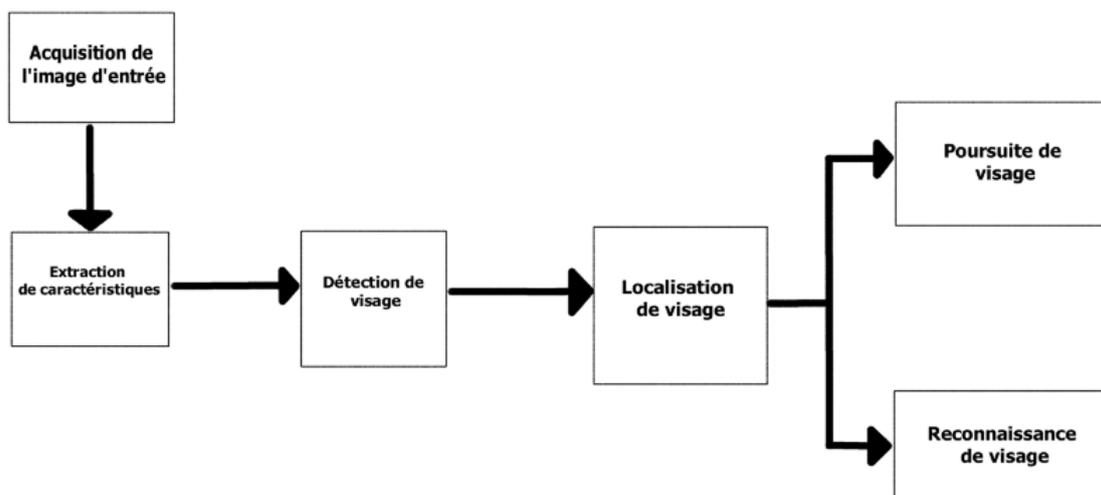


FIGURE 2.13: Les Principales étapes de détection de visage

c. La détection ROI

La détection du ROI est complétée par la détection de la région faciale dans chaque image vidéo. Un détecteur d'objet Viola-Jones a été implémenté pour détecter un visage dans les trames RVB. Les signaux bruts sont calculés en tant qu'intensité de pixel dans le ROI.

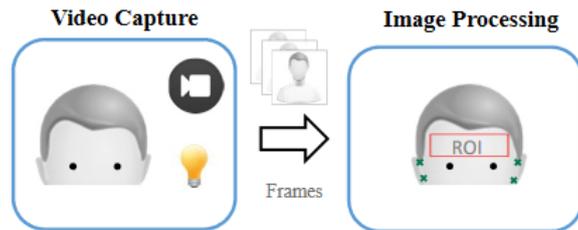


FIGURE 2.14: Un algorithme de vision par ordinateur enregistre le retour sur investissement en détectant la région du visage dans la séquence d'images vidéo et en émettant des signaux de couleur brute.[49]

2.6.3 Extraction du signal PPG

D'après la figure le ROI a ensuite été séparé en trois canaux RVB et moyenné spatialement sur tous les pixels du ROI pour donner un point de mesure rouge, bleu et vert pour chaque image et former les signaux bruts.

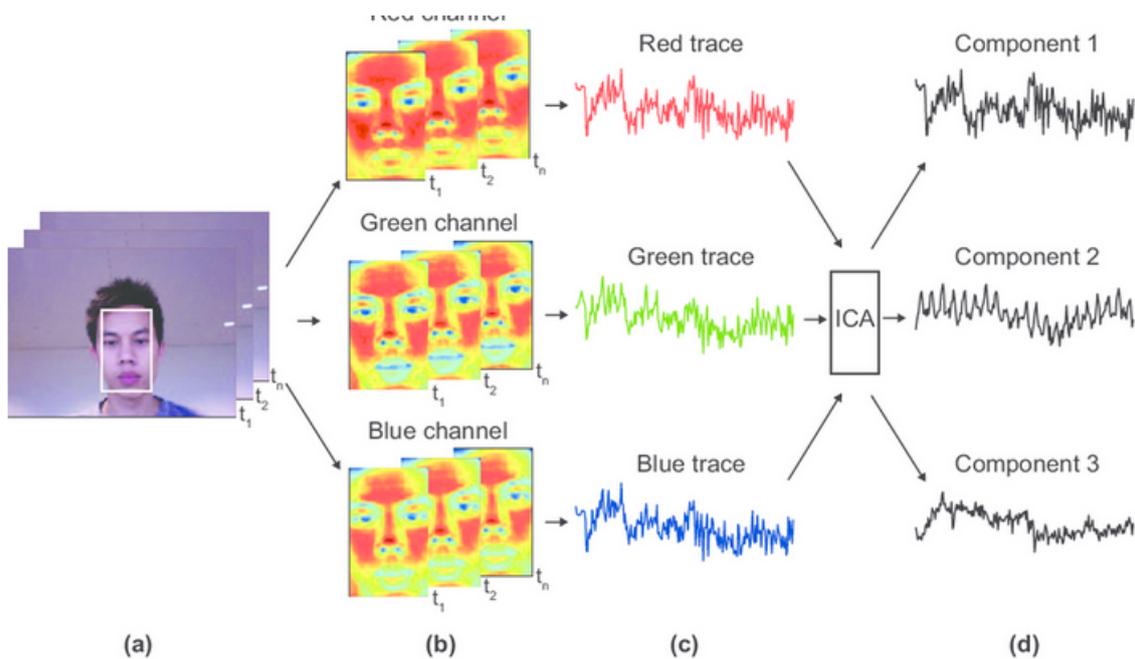


FIGURE 2.15: Récupération de BVP à partir d'enregistrements de webcam [39].

a. L'analyse des composants indépendants (ICA)

L'analyse des composants indépendants (ICA) est une technique statistique et de calcul permettant de révéler les facteurs cachés qui sous-tendent des ensembles de variables aléatoires, de mesures ou de signaux.

Une fois que les signaux bruts sont détendus et normalisés, l'ICA est appliqué pour séparer trois sources indépendantes. Dans cet exemple, le BVP est visible dans le deuxième signal source.

b. Les points de canaux (P.O.S) de RGB

Les couleurs sont généralement représentées avec plusieurs composantes, des canaux qui permettent de les décrire. En informatique, l'affichage (via un écran) se réalise par trois composantes de couleurs, les canaux rouge, vert et bleus (RVG ou RGB en anglais).

c. Le filtrage du signal

Le signal PPG est ensuite formé uniquement à partir des pixels appartenant à la peau avant d'être lissé par un algorithme qui repose sur la transformée en ondelettes continue.

La transformée en ondelettes continue (CWT, Continuous Wavelet Transform) est une implémentation de la transformée en ondelettes utilisant des échelles arbitraires ainsi que des ondelettes pratiquement arbitraires.

Traitement des données → Transformées → Ondelettes - continue

En principe la transformée en ondelettes continue fonctionne en utilisant directement la définition de la transformée en ondelettes.

La transformée en ondelettes est une technique de représentation temps-fréquence qui mesure la similarité entre un signal et une fonction analytique particulière (une ondelette). Elle est utilisée pour détecter les variations abruptes de fréquence dans les signaux non-stationnaires, là où la traditionnelle transformée de FOURIER atteint ses limites.

La densité spectrale de puissance moyenne d'un signal $x(t)$ est la transformée de Fourier de sa fonction d'autocorrélation, la relation de Wiener-Kintchine s'écrit :

$$s_x(\nu) = TF(K_x(\tau))$$

On peut écrire :

$$K_x(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} s_x(\nu) \times e^{j2\pi\nu\tau} d\nu.$$

où $K_x(\tau)$ est la TF inverse de $s_x(\nu)$

La puissance moyenne du signal est calculée à partir de la fonction d'autocorrélation :

$$K_x(0) = \int_{-\infty}^{+\infty} s_x(\nu) \cdot d\nu$$

Le signal est formé par une moyenne spatiale, une opération qui transforme un ensemble de pixels en un scalaire à l'instar d'une moyenne classique. La moyenne spatiale est calculée sur les intensités lumineuses de l'image combinée, en ne prenant en compte que les pixels différents de 0. Un ensemble de n trames donne un signal brut de n points. [1]

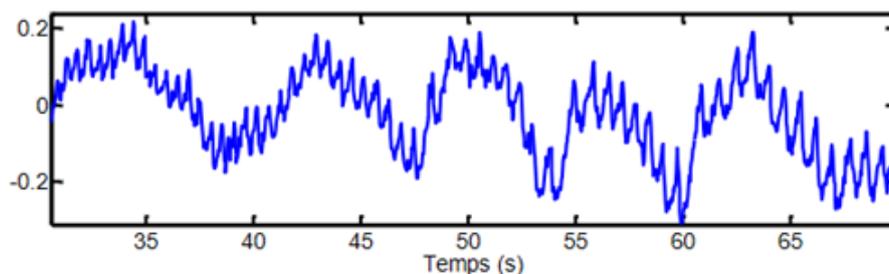


FIGURE 2.16: Exemple de signal photopléthysmographique extrait d'une webcam [1].

2.7 conclusion

Le VRC a été largement utilisé comme indicateur du stress, de la santé et de diverses maladies. La manière la plus précise pour mesurer les intervalles R-R est d'utiliser un électrocardiogramme (ECG). La photopléthysmographie (PPG) est une méthode de mesure optique simple et peu coûteuse qui est souvent utilisée à des fins de surveillance de la fréquence cardiaque.

Méthodologie

3.1 Introduction

Ce chapitre, nous appliquerons les principes que nous avons évoqués dans les chapitres précédents en synthétisant un système, Pour ce fait, nous avons choisis d'assimiler le stress à un rythme cardiaque.

Dans ce chapitre sera divisé en deux grandes parties :

- La première partie sera consacrée à l'extraction du rythme cardiaque avec logiciel spyder.
- La deuxième sera dédiée à l'extraction du rythme cardiaque avec raspberry pi.

Nous avons utilisé les méthodes pour proposer d'estimation de la fréquence cardiaque et de la variabilité de la fréquence cardiaque :

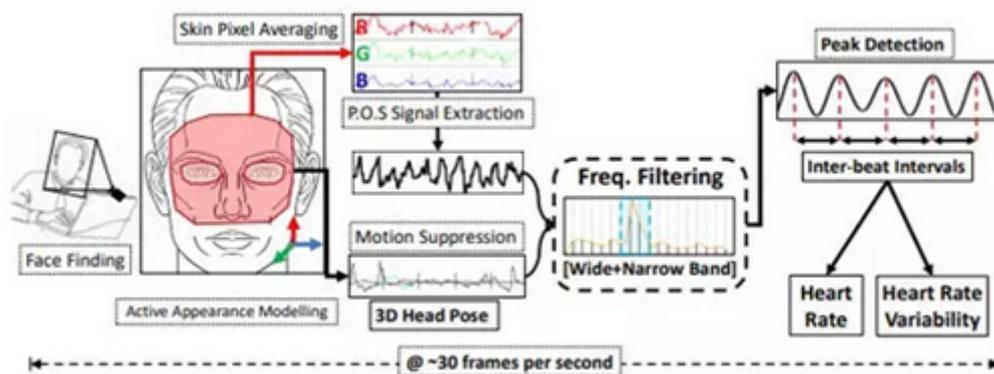
1. Détection de visage puis sélection la zone de visage, Le visage de l'image webcam capturée est détecté et modélisé afin de déterminer les repères du visage et l'orientation de la tête.

Par la suite, environ les deux tiers supérieurs du visage, où la plupart des vaisseaux sanguins sont concentrés, sont sélectionnés comme région d'intérêt. En-

suite il nous donne deux signaux :

2. les soustractions les points de canaux (P.O.S) de RGB : La moyenne des couleurs de chaque pixel (rouge, vert, bleu) de la région est mesurée dans le temps (réflexions spéculaires + diffuses).
3. Filtrage du signal : Le bruit des mouvements de la tête est détecté en ajustant le modèle facial, puis une fréquence cardiaque sans bruit est produite.

En détectant les pics, les intervalles inter-battements sont mesurés, puis les fréquences cardiaques et la variabilité de la fréquence cardiaque sont estimées.



Vue d'ensemble du pipeline proposé d'estimation de la FC et de la VFC [38]

- Anaconda
- Python 3.8 + opencv
- Spyder 4.1.5

Nous utilisons Anaconda pour éditer de notre programme, nommé Spyder et que l'on peut lancer en cliquant sur son icône. Par défaut, les affichages du programme se font dans la console python en bas à droite.

La bibliothèque utilisée principalement de notre programme est opencv, il nous permet de résoudre les problèmes de vision par ordinateur, d'images et de vidéos, comme la reconnaissance et la détection faciales, et converties toutes les structures de tableaux vers et à partir de tableaux Numpy, elle fournit une interface pour stocker et effectuer des opérations sur les données de mesure fréquence cardiaque.

Les programmes d'interface utilisé de opencv :

- `cv2.VideoCapture(camera)` : Pour créer un objet de capture vidéo qui est utile pour capturer des vidéos via webcam, puis vous pouvez effectuer les opérations souhaitées sur cette vidéo.
- `cv2.imshow()` : Pour afficher une image dans une fenêtre. La fenêtre s'adapte automatiquement à la taille de l'image.
- `cv2.imread()` : Pour lire une image.
- `cv2.IMREADCOLOR` : Charge une image couleur.
- `cv2.IMREADGRAYSCALE` : Charge l'image en niveaux de gris mode.
- `cv2.IMREADUNCHANGED` : Charge l'image en tant que telle, y compris alphachannel.
- `cv2.destroyAllWindows ()` : détruit simplement toutes les fenêtres que nous avons créées.
- `cv2.imwrite ()` : pour enregistrer une image.
- `cv2.waitKey()` : pour changer l'index de la caméra avec le nom du fichier vidéo. Aussi lors de l'affichage du cadre, utilisez le temps approprié.

3.2 Phase traitement des images

Le visage de l'image webcam capturée est détecté et modélisé afin de déterminer les repères du visage et l'orientation de la tête.

Ensuite détecté la partie du front du visage (région intérêt) pour mesure la fréquence cardiaque.

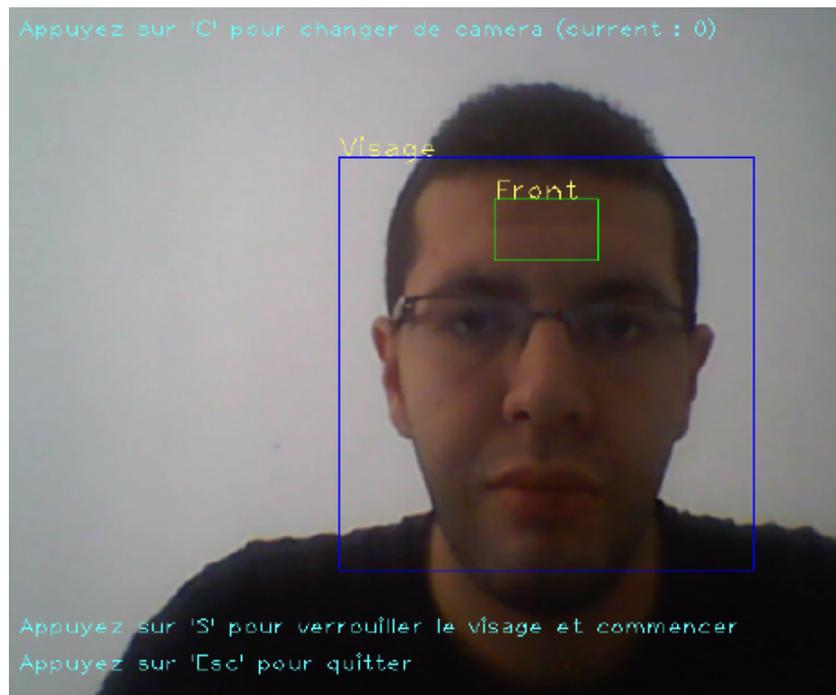


FIGURE 3.1: Détection du visage.

3.3 Phase extraction signal PPG

Détection à distance (remote PPG) mesure la variance des changements de réflexion de la lumière rouge, verte et bleue de la peau, comme le contraste entre la réflexion spéculaire et la réflexion diffuse. La réflexion spéculaire (en anglais, Specular reflection) est la réflexion de la lumière pure de la peau. La réflexion diffuse (en anglais, Diffuse reflection) est la réflexion qui reste de l'absorption et de la diffusion dans les tissus cutanés, qui varie en fonction des changements de volume sanguin [38].

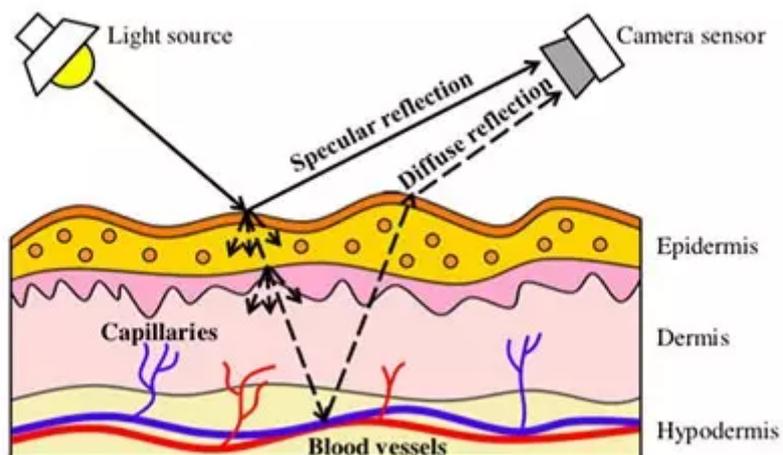


FIGURE 3.2: Le modèle de réflexion cutanée qui contient des réflexions spéculaires et diffuses, où seule la réflexion diffuse contient des informations pulsatiles [38].

Dans notre système, on utilise La densité spectrale de puissance moyenne d'un signal pour trouver la fréquence cardiaque, par la transformée de Fourier de sa fonction d'autocorrélation et par la relation de Wiener-Kintchine.

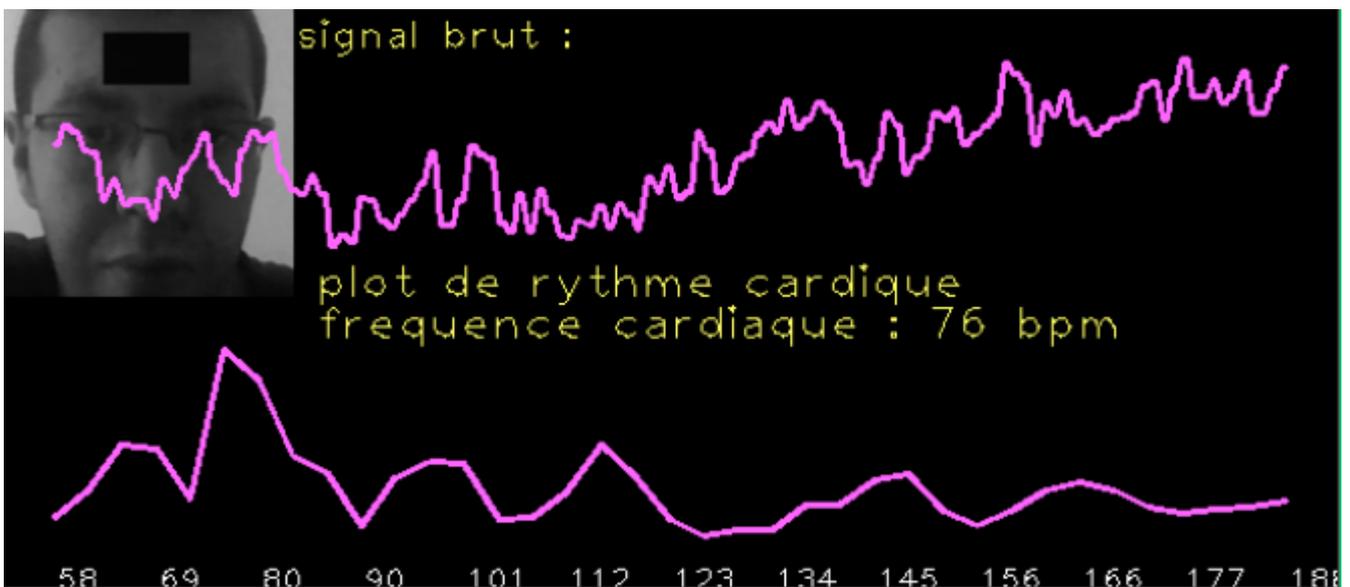


FIGURE 3.3: Affichage les données signal de fréquence cardiaque (bpm)

3.4 Phase détection des niveaux du stress

L'origine des agents stressants, leur accumulation, ainsi que la fréquence et l'intensité de l'exposition peuvent engendrer différentes formes de stress :

Pour le niveau fréquence cardiaque bradycardie, il est compris inférieur à 60 battements par minute(bpm) et donne le résultat calme. Pour le niveau fréquence cardiaque normale, il est compris entre 60 et 100 battements par minute (bpm) et donne le résultat normal. Pour le niveau fréquence cardiaque tachycardie, il est compris supérieur à 100 battements par minute (bpm) et donne le résultat stress.

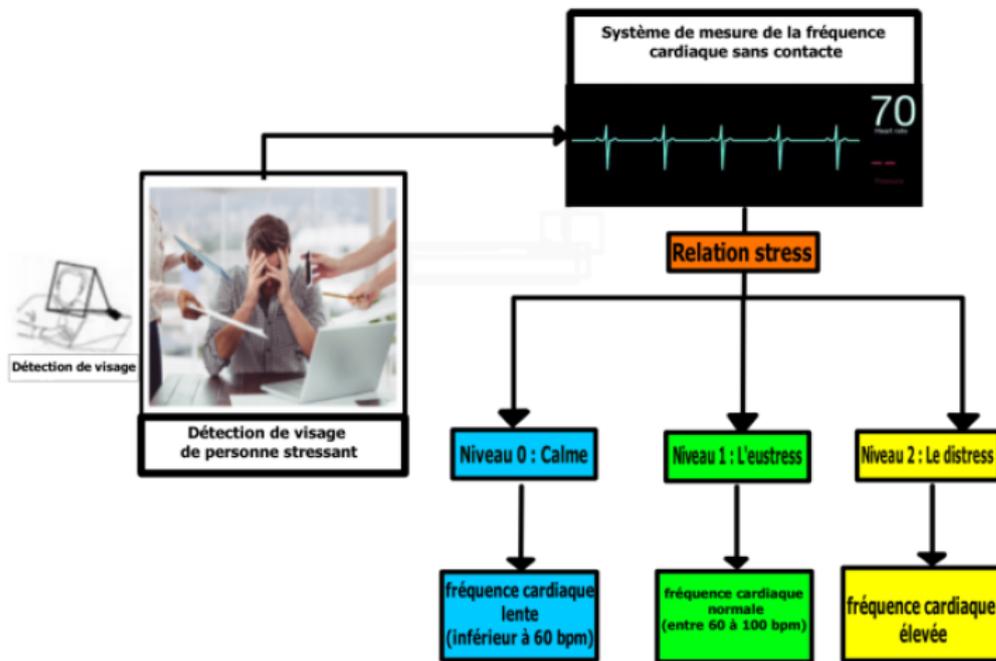


FIGURE 3.4: Affichage des niveaux du stress

3.5 Phase système embarqué

a. Raspberry Pi

Le Raspberry Pi est un nano-ordinateur monocarte à processeur ARM de la taille d'une carte de crédit conçu par des professeurs du département informatique de l'université de Cambridge dans le cadre de la fondation Raspberry Pi.

Raspberry Pi OS est un système d'exploitation libre et gratuit basé sur Debian optimisé pour

fonctionner sur les différents Raspberry Pi.

Il existe plusieurs variantes de Raspberry Pi OS : - Raspberry Pi OS with desktop and recommended software : avec environnement de bureau et logiciels recommandés (LibreOffice. . .).

- Raspberry Pi OS with desktop : avec environnement de bureau et avec seulement les logiciels nécessaires.

- Raspberry Pi OS Lite : sans environnement de bureau et avec seulement les logiciels nécessaires.

On peut installer raspberry os dans la carte sd. Raspberry Pi Imager est le moyen rapide et facile d'installer le système d'exploitation Raspberry Pi et d'autres systèmes d'exploitation sur une carte microSD.

b. Raspberry Pi 3

Dans notre projet nous utilisons le principe raspberry Pi 3.

Le Raspberry Pi 3 Model B est le premier modèle du Raspberry Pi de troisième génération. La vitesse d'horloge de Raspberry Pi 3 est 33 % plus rapide que le Raspberry Pi 2, ce qui permet d'avoir un gain d'environ 50-60 % de performance en mode 32 bits.



FIGURE 3.5: raspberry Pi 3

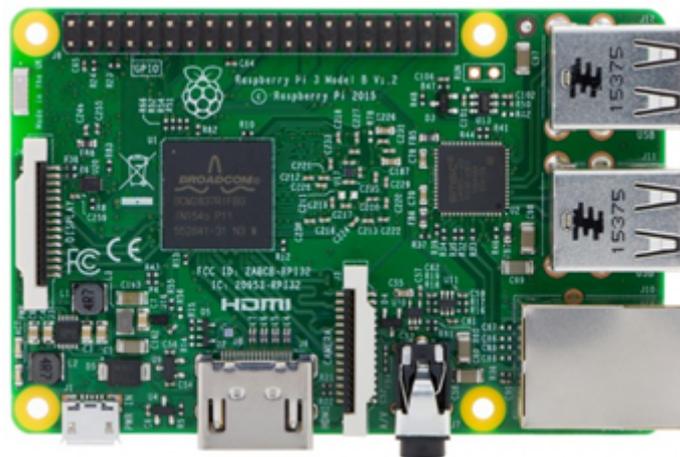


FIGURE 3.6: Schéma du Raspberry Pi 3

* Les caractéristiques du Raspberry Pi 3

Raspberry Pi 3 est basé sur :

- Processeur quadricœur Broadcom BCM2837 64 bits à 1,2 GHz.
- 1 Go de RAM.
- LAN sans fil BCM43438 et Bluetooth Low Energy (BLE) à bord.

- 100Base Ethernet.
- GPIO étendu à 40 broches.
- 4 ports USB 2.0 .
- Sortie stéréo 4 pôles et port vidéo composite.
- HDMI pleine taille.
- Port de caméra CSI : pour connecter une caméra Raspberry Pi.
- Port d'affichage DSI : pour connecter un écran tactile Raspberry Pi.
- Port Micro SD : pour charger votre système d'exploitation et stocker des données.
- Source d'alimentation micro USB commutée améliorée jusqu'à 2,5 A.

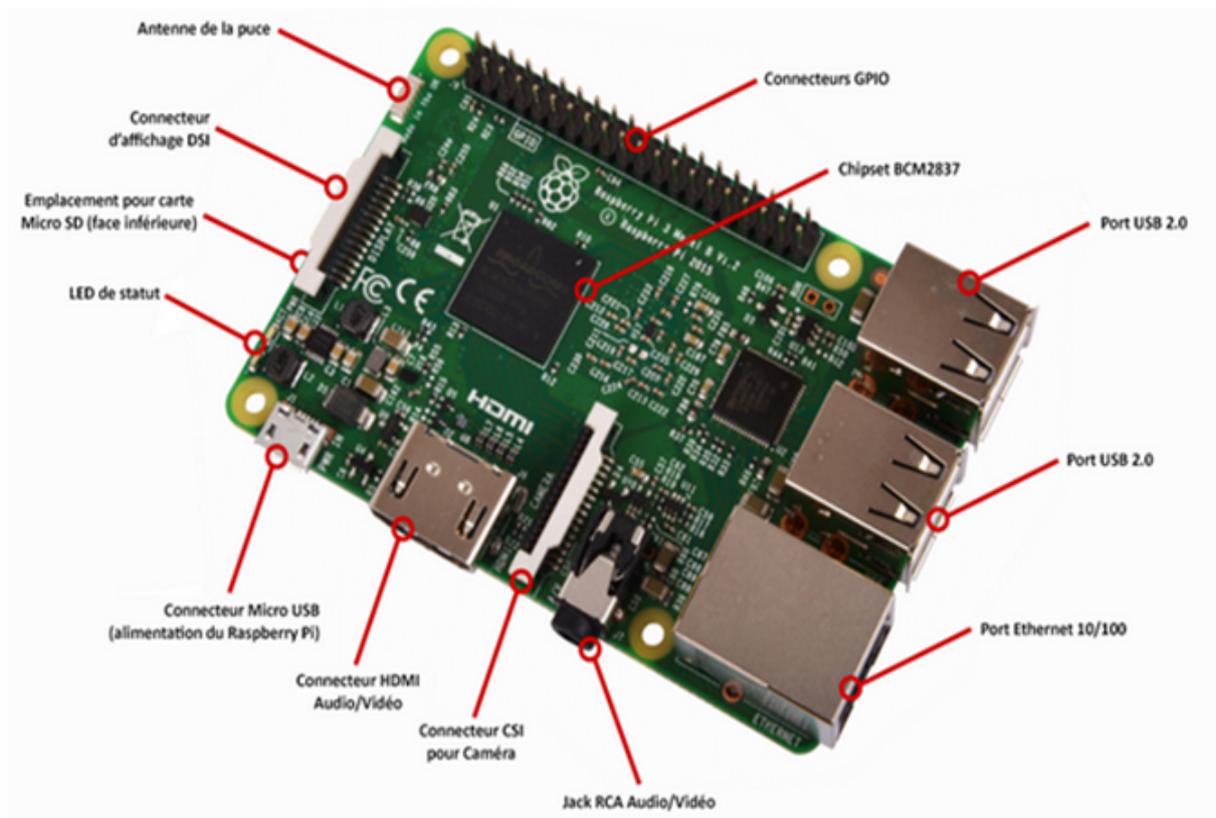


FIGURE 3.7: les caractéristiques du Raspberry Pi 3 [42].

*** Fonctionnement du Raspberry Pi 3**

Les Raspberry Pi 3 requièrent au minimum pour fonctionner :

- Un support de stockage mémoire compatible :(carte SD ou micro SD selon le modèle) contenant un système d’exploitation adapté (on voit section Système d’exploitation). La documentation Raspberry Pi recommande au moins une carte microSD de 4 Go pour Raspberry Pi OS Lite, une carte microSD de 8 Go pour Raspberry Pi OS et une carte microSD de 16 Go pour Raspberry Pi OS Full.
- Une source d’alimentation électrique adaptée : Soit via un système de piles ou de batteries, soit via un transformateur électrique délivrant la bonne tension et l’intensité minimum préconisé. Le Raspberry Pi est compatible avec de nombreuses alimentations, micro-USB étant par exemple une norme pour les téléphones mobiles récents en Europe.

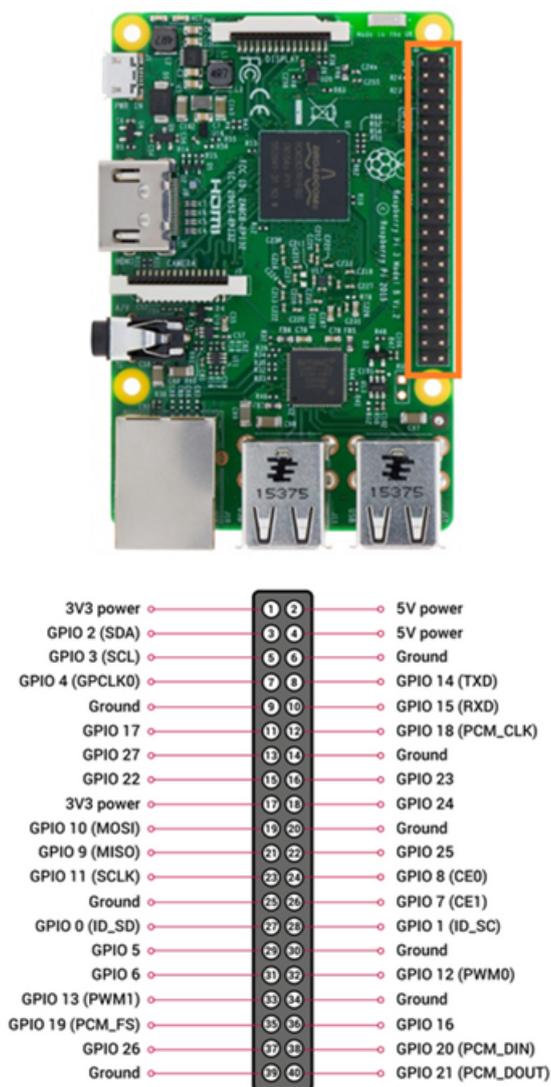


FIGURE 3.8: Raspberry Pi 3 GPIO Pinout, Pin diagram [41].

* Broches d'alimentation Raspberry Pi 3

La carte se compose de deux broches 5V, deux broches 3V3 et 9 broches de masse (0V), qui ne sont pas configurables.

5V : Les broches 5v fournissent directement l'alimentation 5v provenant de l'adaptateur secteur. Cette broche peut être utilisée pour alimenter le Raspberry Pi, et elle peut également être utilisée pour alimenter d'autres appareils 5v.

3.3V : La broche 3v est là pour offrir une alimentation 3.3v stable aux composants d'alimentation et pour tester les LED.

GND : La terre est communément appelée GND. Toutes les tensions sont mesurées par rapport à la tension GND [42].

En plus de fonctions d'entrée et de sortie, les broches GPIO peuvent être utilisées pour d'autres fonctions alternatives, dont certaines sont disponibles sur toutes les broches, d'autres sur des broches spécifiques[43].

1. PWM (modulation de largeur d'impulsion) :. • Logiciel PWM disponible sur toutes les broches. • Matériel PWM disponible sur GPIO12, GPIO13, GPIO18, GPIO19
2. SPI : • SPI0 : MOSI (GPIO10); MISO (GPIO9); SCLK (GPIO11); CE0 (GPIO8), CE1 (GPIO7) • SPI1 : MOSI (GPIO20); MISO (GPIO19); SCLK (GPIO21); CE0 (GPIO18); CE1 (GPIO17); CE2 (GPIO16)
3. I2C : • Données : (GPIO2); Horloge (GPIO3) • Données EEPROM : (GPIO0); horloge EEPROM (GPIO1)
- 4) Série : • TX (GPIO14); RX (GPIO15)

3.5.1 Les accessoires utilisés

a. Une alimentation micro-USB 5 Vcc

L'alimentation USB a également été améliorée sur ce Raspberry Pi 3. Si l'on retrouve toujours la norme USB 2.0, les ports alimenteront maintenant plus facilement nos disques durs externes.

L'alimentation est également différente, la fondation Raspberry recommande 5V 2.5A pour la version 3 de son mini PC, contre 5V 2A pour le modèle Pi 2.



FIGURE 3.9: alimentation externe de raspberry pi

b. Une carte micro-SD de 16 GB ou plus

La carte SD est un élément clé du Raspberry Pi ; il fournit le stockage initial pour le système d'exploitation et les fichiers. Le stockage peut être étendu grâce à de nombreux types de périphériques connectés par USB.



FIGURE 3.10: La carte MicroSD est fournie avec un adaptateur

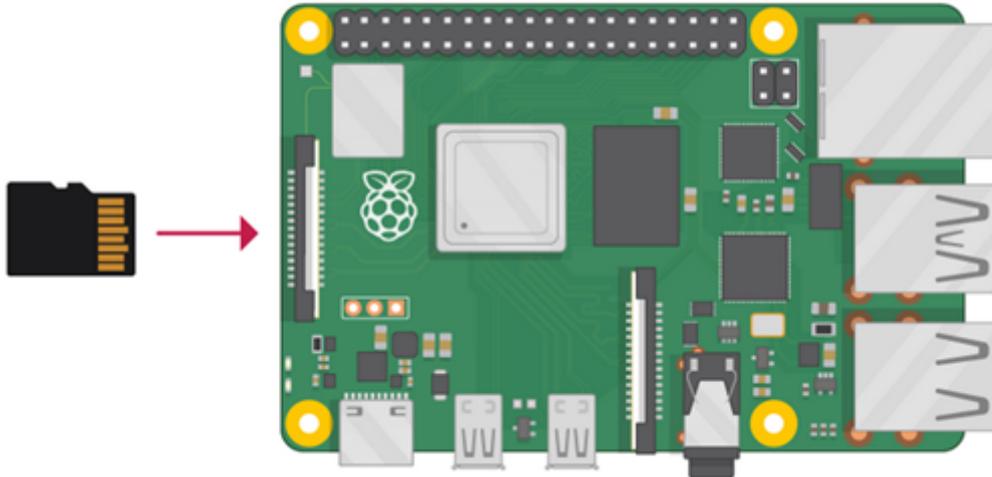


FIGURE 3.11: schéma de branchement la carte sd avec Raspberry Pi 3 [44].

c. Webcam USB

Une caméra de surveillance Raspberry Pi peut être une alternative bon marché aux variantes courantes comme les caméras IP. Un module de caméra Raspberry Pi idéal représente les webcams normales qui peuvent également être utilisées, connectées via USB [47].



FIGURE 3.12: webcam USB

d. Clavier et la souris

On branche un clavier et une souris, on peut utiliser des périphériques classiques en USB pour contrôler le Raspberry Pi 3.



FIGURE 3.13: clavier



FIGURE 3.14: la souris

e. Ecran HDMI

Le sigle HDMI signifie High Definition Multimedia Interface (Interface multimédia haute-définition). C'est une norme numérique qui permet de relier une source vidéo/audio (lecteur DVD, ordinateurs, etc.) à un écran HD.

On utilise le câble HDMI pour connecter raspberry pi 3 avec écran HDMI et pour servir simplement à avoir un affichage.



FIGURE 3.15: Ecran HDMI

*** Schéma principe de raspberry pi 3 avec les accessoires officiels**

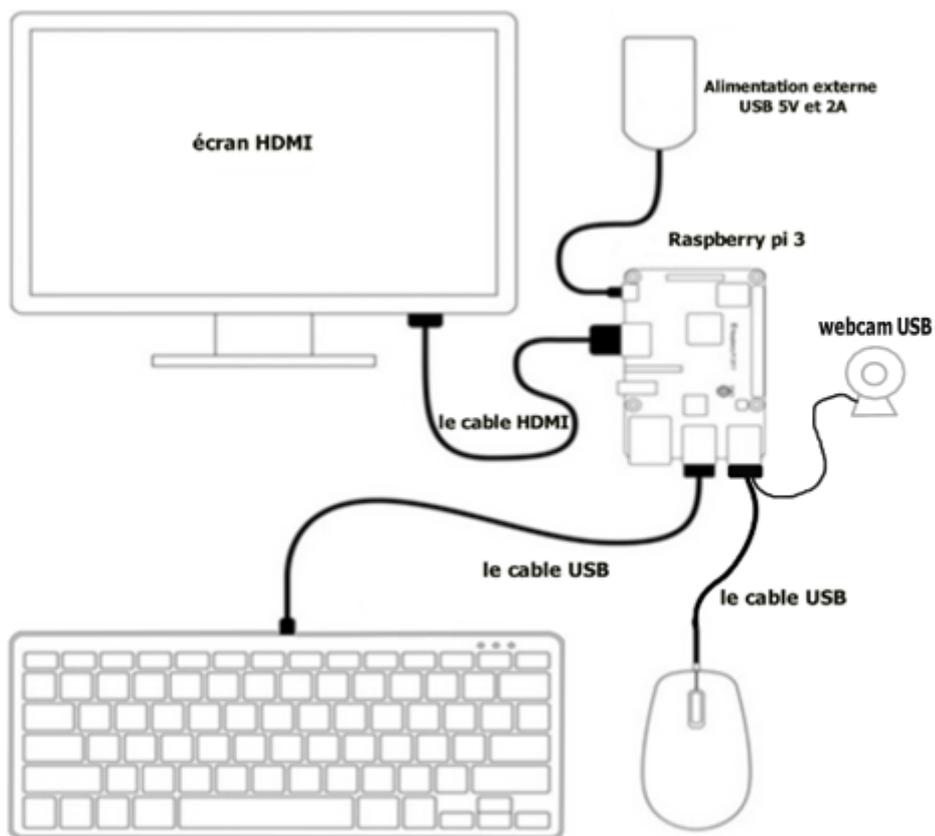


FIGURE 3.16: Le schéma principe de setup raspberry pi 3 avec les accessoires officiels

* Installation webcam USB dans raspberry pi 3

Dans notre projet, on branche webcam USB avec raspberry pi et on active camera dans raspberry pi configuration :

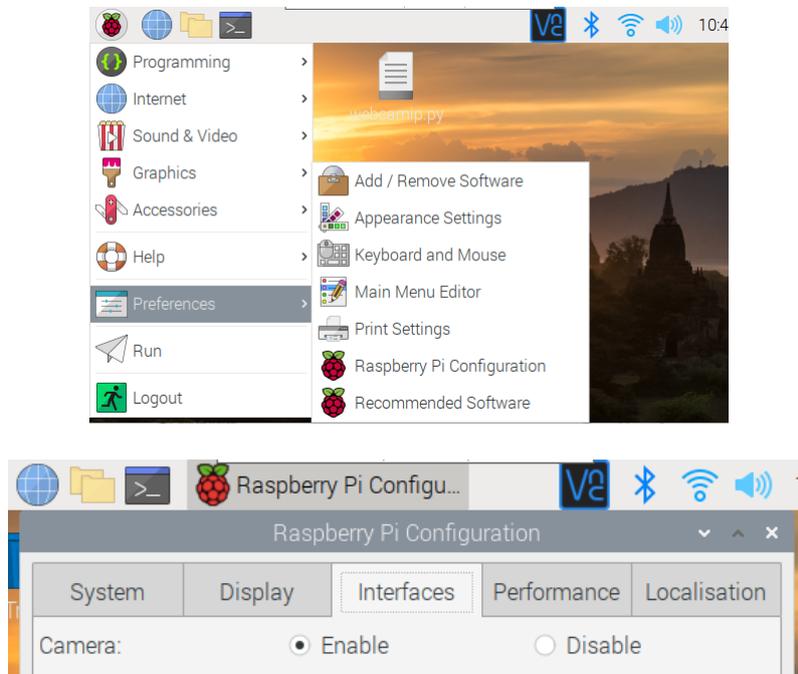
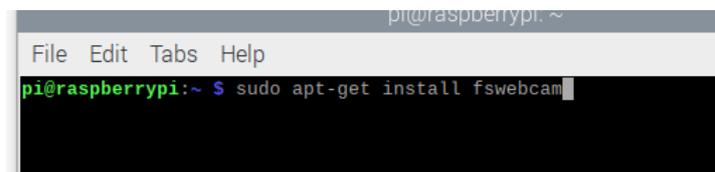


FIGURE 3.17: Activation la caméra dans raspberry pi configuration

Nous avons installé logiciel fswebcam qui permet de reconnaitre le webcam usb et utiliser dans raspberry pi os, on a cliqué sur le programme terminal :



On a cliqué sur l'entrée puis logiciel fswebcam est installé :

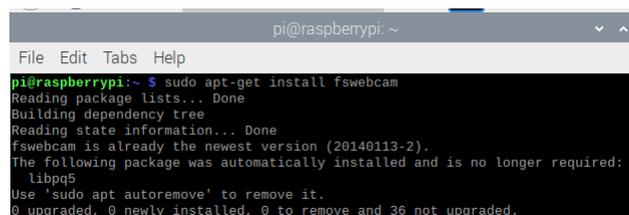


FIGURE 3.18: Installation logiciel fswebcam

3.6 Servo moteur

Un servomoteur est un actionneur rotatif ou un actionneur linéaire qui permet un contrôle de haute précision et à haute réponse de la position angulaire ou linéaire, de la vitesse et de l'accélération.

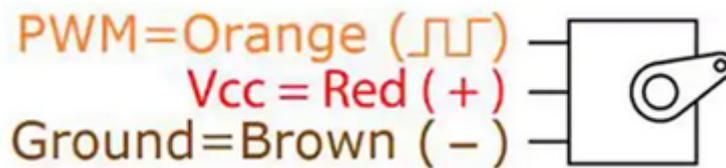


FIGURE 3.19: Configuration des fils de servo moteur

1- Fréquence

Le servo s'attend à ce que des impulsions continues se déplacent ou maintiennent sa position. La fréquence (ou temps de répétition, ou temps de cycle) est le nombre de fois qu'une impulsion positive est envoyée au servo dans une unité de temps (qui est généralement mesurée en secondes); 50 Hz = impulsion positive 50 fois par seconde; c'est-à-dire $1/50 = 0,02$ seconde = 20 ms (période de temporisation). Cela signifie que toutes les 20 millisecondes, le servo attend une impulsion pour conserver sa position angulaire correspondante.

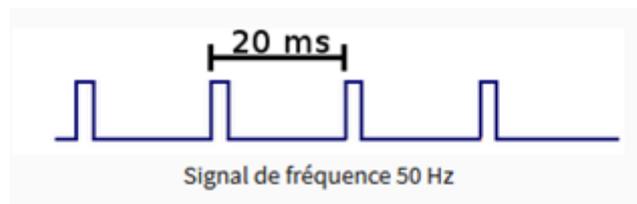


FIGURE 3.20: fréquence de signal pulsation servo moteur

2- Duty cycle

Le « Duty cycle » est la largeur de l'impulsion positive (onde carrée) et un facteur décisif pour la position angulaire du servo. Par exemple, si vous avez un servo avec un virage à 180° , alors 90° est la position centrale du servo avec 0° étant le minimum et 180° , étant le maximum.

En théorie, le servo sera sur son :

- Position initiale (0 degré) lorsqu'une impulsion de 1 ms est appliquée à son terminal de données .
- Position neutre (90 degrés) lorsqu'une impulsion de 1,5 ms est appliquée à sa borne de données.
- Position finale (180 degrés) lorsqu'une impulsion de 2 ms est appliquée à son terminal de données.

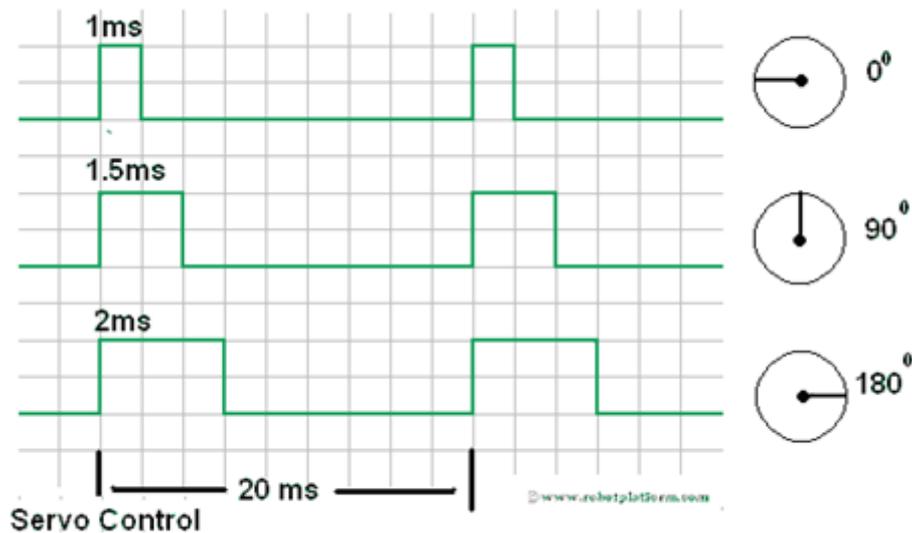


FIGURE 3.21: temps pour rotation angle de servo moteur

3- Duty cycle pour le servo moteur

Pour programmer une position d'asservissement à l'aide de Python, il sera très important de connaître le "Duty Cycle" correspondant pour les positions ci-dessus :

- Position initiale ==> (0 degré) Largeur d'impulsion ==> 1ms ==> Duty Cycle = 1ms/20ms ==> 2,0%
- Position neutre (90 degrés) Largeur d'impulsion de 1,5 ms ==> Duty Cycle = 1,5ms/20ms ==> 7,5%
- Position finale (180 degrés) Largeur d'impulsion de 2 ms ==> Duty Cycle = 2ms/20ms ==> 10%

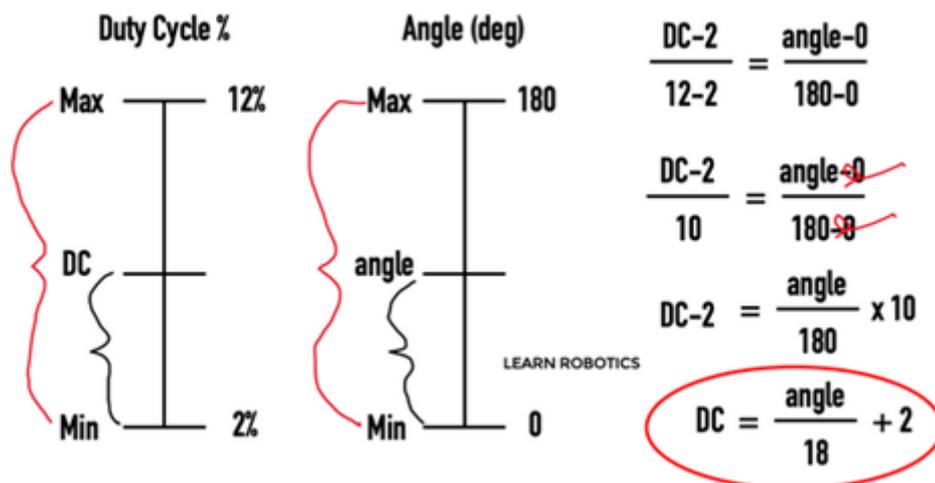


FIGURE 3.22: calcule duty cycle du servo moteur

3.7 Synthèse

Voici ces particularité suivant, on a rassemblé le bras manipulateur avec le webcam usb, la manipulation ou le contrôle de tout cela se fait avec l'ordinateur portable.

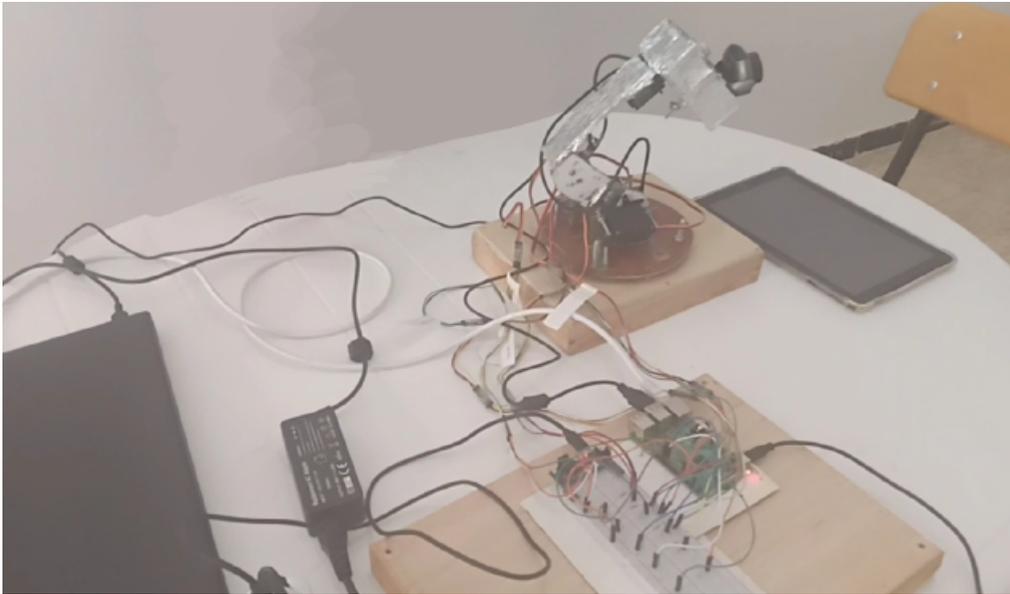


FIGURE 3.26: Système de détection intégré

3.8 Conclusion

Les conseils et les astuces permettent de détecter et de gérer son état de stress pour la reconnaissance des signes du stress (émotionnels, physiques et mentaux) ,la discussion avec ses proches et/ou son médecin. la pratique d'activité physique quotidienne et la socialisation , des exercices de relaxation, comme des exercices de respirations par exemple et aussi pour identifier et définir ses objectifs et ses priorités .

On Reste en contact à la fois avec sa famille, ses amis et l'ensemble des personnes de son quotidien .[4]

Résultat et analyse

4.1 Introduction

Le but de notre travail, c'est le développement du système de reconnaissance faciale qui fait la mesure du rythme cardiaque et qui donne la classification du stress.

Nous avons développé et permis de récupérer l'information photopléthysmographique sur le visage d'un individu à partir d'un ordinateur avec la webcam du pc dans la première partie et d'un moniteur ou écran HDMI avec webcam USB à l'aide de Raspberry pi dans la deuxième partie.

Après la compilation, on voit dans l'écran d'affichage un petit rectangle vert sur le front (ROI) puis on observe la mesure de la fréquence cardiaque.

Le visage est automatiquement détecté dans l'image source en utilisant l'algorithme originellement proposé par VIOLA et JONES.

Le zoom numérique de la caméra est contrôlé pour que le visage remplisse au mieux la trame source afin d'augmenter au maximum le nombre de pixels qui contiennent l'information PPG.

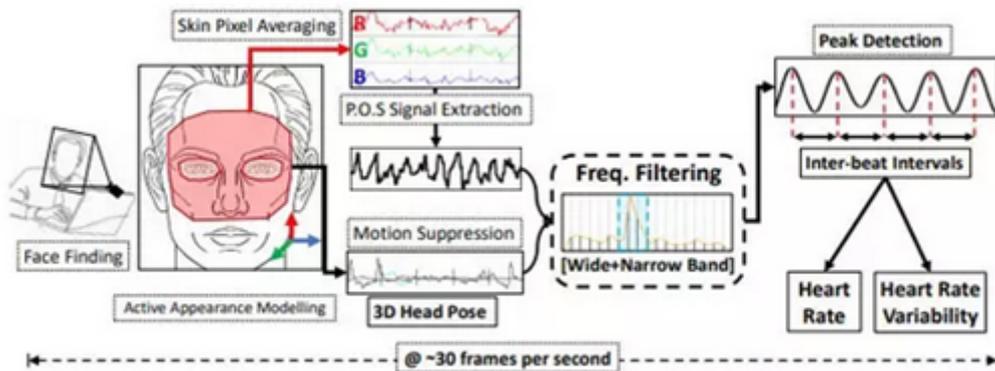
Le tracé en haut, c'est le signal brut et le tracé du bas, c'est le signal fréquence cardiaque (en unité Bpm).

Les opérations de filtrage ont été développées afin de lisser les signaux pour qu'ils puissent être facilement interprétés par la suite, notamment en vue de quantifier l'activité cardiaque et les amplitudes du signal PPG.

Pour le niveau de la fréquence cardiaque bradycardie, il est inférieur à 80 battements par minute (bpm) et donne le résultat calme (normale).

Pour le niveau fréquence cardiaque (stress1), il est compris entre 80 et 100 battements par minute (bpm) et donne le résultat stress 1.

Pour le niveau fréquence cardiaque tachycardie, il est supérieur à 100 battements par minute (bpm) et donne le résultat stress niveau 2.



On va montrer les résultats en temps réel sur différents sujets, on rappelle qu'on a fait un système de détection du rythme cardiaque en temps réel par traitement image et par la technologie photopléthysmographie (ppg). Nous allons présenter sur différents sujets (homme, femme, enfant).

4.1.1 Résultats du sujet 1

Le premier teste j'ai fait sur moi-même, je me sentais assez calme, j'ai fait la capture, alors mon rythme cardiaque était à 81 battements par minute ce qui est normal dans mon cas, habituellement j'ai ce rythme cardiaque donc mon système a donné un bon résultat.

En regardant aussi le signal du rythme cardiaque on remarque qu'il n'y a pas beaucoup de changement.

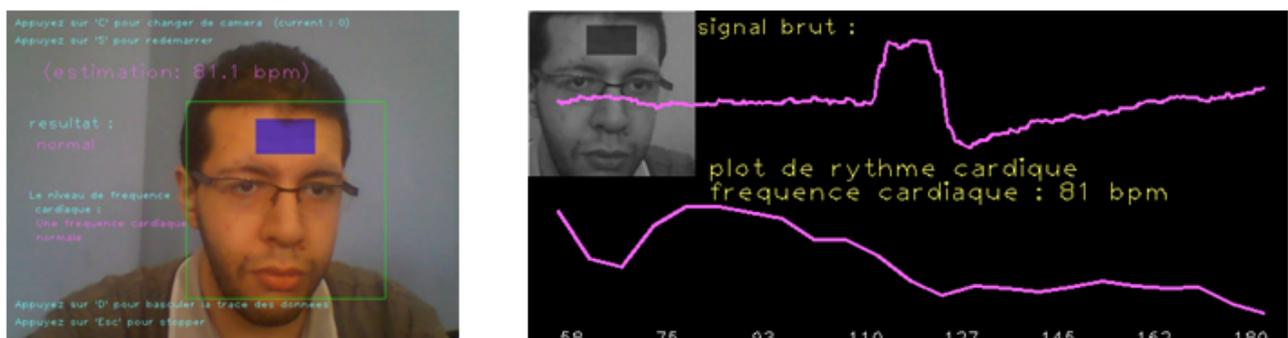


FIGURE 4.1: Résultats du sujet 1

4.1.2 Résultats du sujet 2

Au début, nous avons posé question Pour une femme "Dans quel état vous sentez vous ? (calme ou stressé), elle nous a dit qu'elle été dans un état calme.

La mesure de son rythme cardiaque est égale à 55 Battement par minute ce qu a donné le résultat calme.

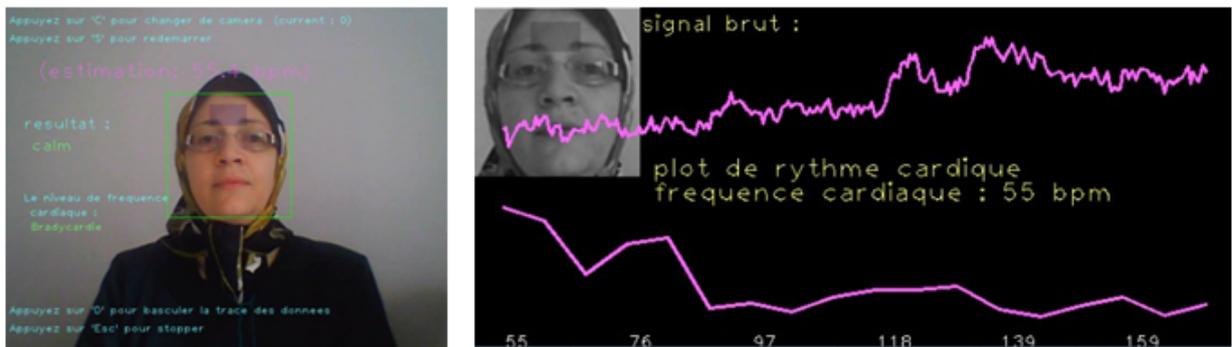


FIGURE 4.2: Résultats du sujet 2

4.1.3 Résultats du sujet 3

Le troisième teste, on a posé la question à une petite fille, dans quel état tu te sens ?, elle a répondu qu'elle était bien calme. donc on a mesuré son rythme cardiaque qui a donné 53 bpm ainsi le résultat est aussi calme.

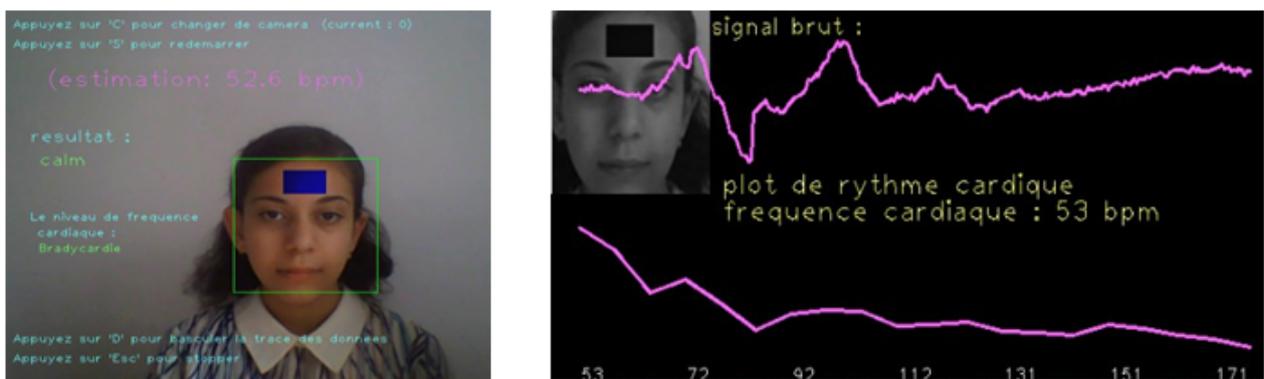


FIGURE 4.3: Résultats du sujet 3

4.1.4 Résultats du sujet 4

Au début, nous avons posé la question au sujet "Dans quel état vous sentez vous ? (calme ou stressé), il nous a dit qu'il été dans un état calme.

La mesure de son rythme cardiaque est égale à 59 bpm et il nous donne aussi le resultat calme.

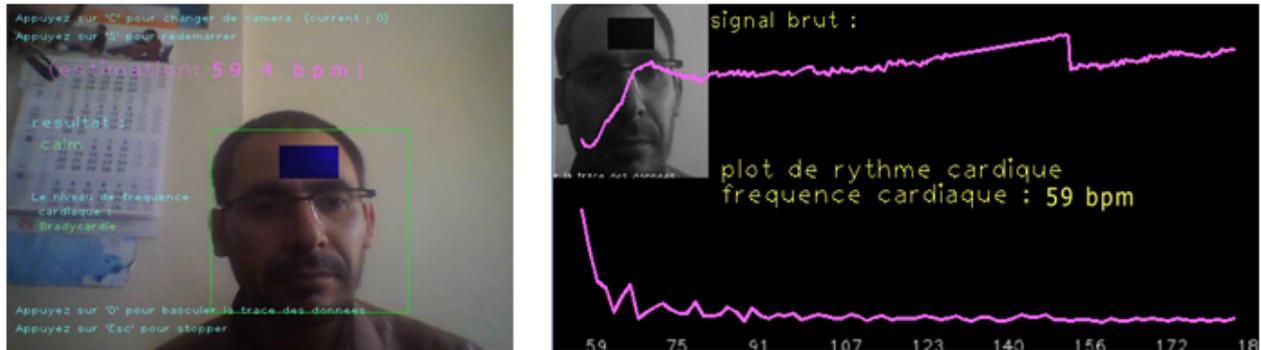


FIGURE 4.4: Résultats du sujet 4

4.1.5 Résultats du sujet 5

Le cinquième teste, nous avons posé question au sujet "Dans quel état vous sentez vous ? (calme ou stressé), il nous a dit qu'il été dans un état calme.

Donc on a fait la mesure de son rythme cardiaque qui est égale à 70 bpm et il nous donne le résultat calme.

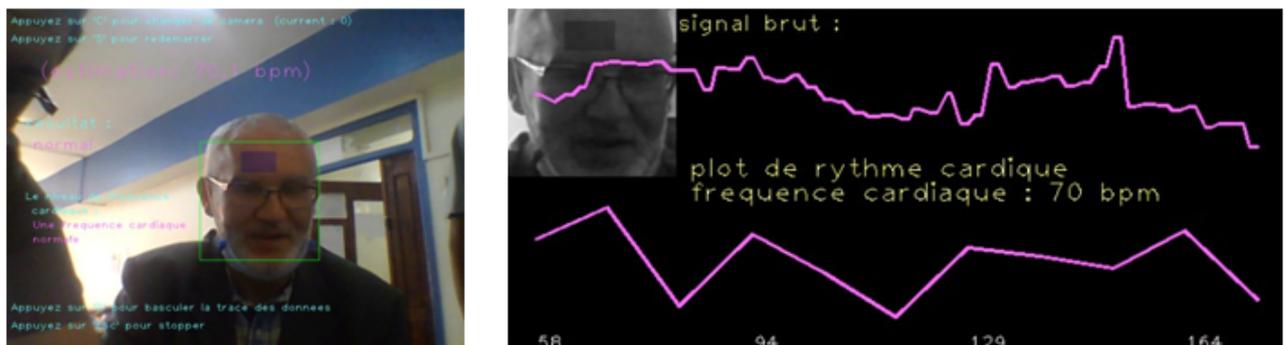


FIGURE 4.5: Résultats du sujet 5

4.1.6 Résultats de sujet 6

Le sixième teste, nous avons posé question au sujet "Dans quel état vous sentez vous? (calme ou stressé), il nous a dit qu'il été dans un état calme.

La mesure d'analyse signal de son rythme cardiaque qui est égale à 66 bpm et il nous donne aussi le resultat calme.

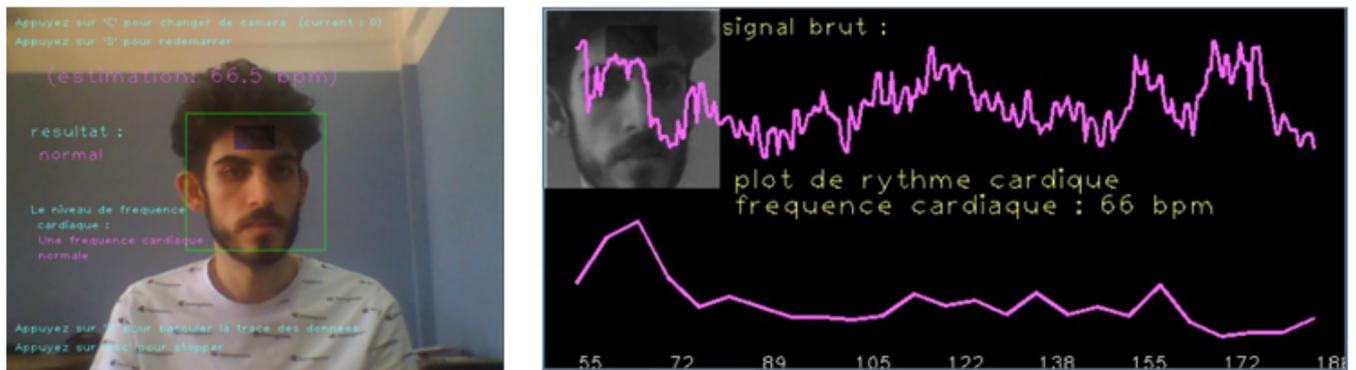


FIGURE 4.6: Résultats du sujet 6

4.1.7 Résultat de sujet 7

Le septième teste, nous avons posé question au sujet "Dans quel état vous sentez vous? (calme ou stressé), il nous a dit qu'il été dans un état calme donc on faisant la mesure de son rythme cardiaque qui est égale à 72 bpm. En regardant les signaux, alors on remarque qu'il n'ya pas beaucoup de changement.



FIGURE 4.7: Résultats du sujet 7

4.1.8 Résultats de sujet 8

Le huitième texte, nous avons posé question au sujet "Dans quel état vous sentez vous ? (calme ou stressé), il nous a dit qu'il été dans un état calme donc on a fait la mesure de son rythme cardiaque qui est égale à 59 bpm et il nous a donné aussi le résultat calme.

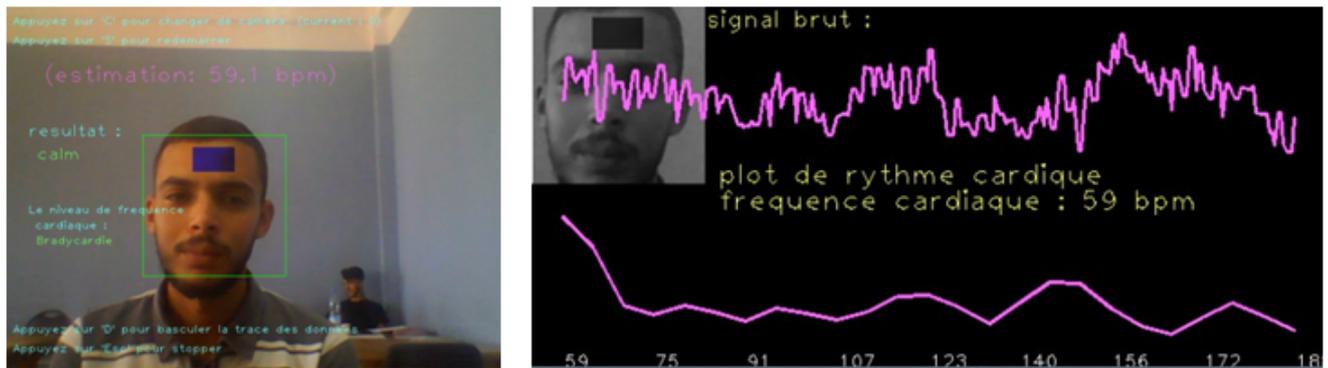


FIGURE 4.8: Résultats du sujet 8

4.1.9 Résultats de sujet 9

Le neuvième texte, on a posé la question à un ami étudiant, est ce qu'il se sent stressé, il se sent calm, donc on a fait la mesure de son rythme cardiaque qui est égale à 55 bpm qu'il a donné aussi le résultat calme.



FIGURE 4.9: Résultats du sujet 9

4.1.10 Résultat de sujet 10

Le dixième texte, on a posé la question à une jeune femme "Dans quel état vous sentez vous ? (calme ou stressé), elle nous a dit qu'elle se trouve dans un état calme, donc on a fait la mesure d'analyse signal de son rythme cardiaque qui est égale à 67 bpm et il nous a donné ainsi le résultat calme.

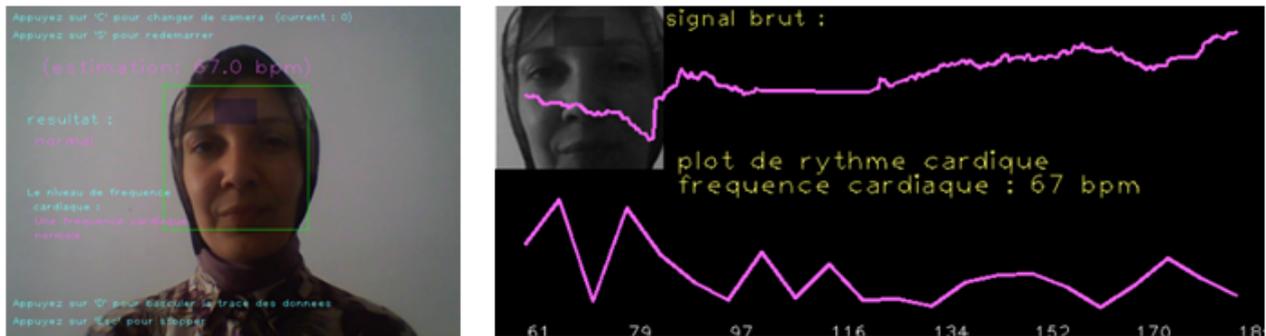


FIGURE 4.10: Résultats du sujet 10

4.2 Synthèse des résultats

Dans ces tests, on a essayé de prendre une large gamme des sujets (homme, femme, enfant), pour voir est ce qu'on est bien dans la gamme qui donne des résultats normaux.

Malheureusement, on n'a pas trouvé des sujets qui était dans un état stressé pour tester notre système.

On prévoit dans le futur d'utiliser dans des endroits comme l'hôpital par exemple et tester ou mesurer le rythme cardiaque des passions qui se sont vraiment stressé, pour voir la différence ou le changement par rapport a notre système.

Conclusion générale

Le stress est une réaction nature de physiologique et psychologique à une situation perçue comme menaçante pour l'individu stressé considéré comme un révélateur du malaise des sociétés industrielles évoluées où l'homme, privé de structures religieuses, familiales et sociales adéquates, et de la dimension spirituelle de l'existence.

Dans le domaine de la psychophysiologie ou de l'informatique affective, les données physiologiques sont analysées pour reconnaître des états de stress. Il est ici très intéressant d'utiliser des périphériques déportés car il a été montré que l'instrumentation en contact a tendance à gêner le sujet.

Des recherches récentes montrent qu'il est possible de mesurer la photopléthysmographie sur le visage d'une personne en utilisant la lumière du jour couplée à une simple webcam du marché.

Il est important de noter que les caméras numériques sont très répandues de nos jours et que leur cout ne cesse de diminuer. Ces différents critères rendent l'utilisation de ces technologies très attractive pour la mesure des fonctions vitales.

Computer Vision (CV) permet à Raspberry Pi de voir les choses. Concrètement, cela signifie que Raspberry Pi avec la caméra numérique peut analyser une image, rechercher des éléments d'intérêt et même reconnaître des visages et du texte.

La télémédecine et la santé à domicile sont des thématiques où il est tout à fait intéressant d'intégrer ce type de système. Le patient peut ainsi mesurer de manière régulière et autonome ses données vitales.

Bibliographie

- [1] M. Soury, « Détection multimodale du stress pour la conception de logiciels de remédiation », phd-thesis, Université Paris Sud - Paris XI, 2014. Consulté le : mars 23, 2021. [En ligne]. Disponible sur : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01082865>
- [2] Seana, « Qu'est-ce que le stress et quels en sont les différents types? » <https://www.freeletics.com/fr/blog/posts/quest-ce-que-le-stress-et-quels-en-sont-les-differents-types/> (consulté le juin 27, 2021).
- [3] P. Légeron, « Le stress professionnel », Inf. Psychiatr., vol. Volume 84, no 9, p. 809-820, 2008.
- [4] « Le stress - Causes, symptômes et conseils anti stress », <https://www.passeportsante.net/>, avr. 26, 2017. https://www.passeportsante.net/fr/Maux/Problemes/Fiche.aspx?doc=stress_pm (consulté le juin 27, 2021).
- [5] Actistress, « Bon stress ou mauvais stress, Lionel Pages fondateur d'Actistress répond », Actistress : Prévention et Traitement du stress par la méthode de la reincorporation active, juill. 30, 2020. <https://actistress.com/fr/magazine/blog/bon-stress-ou-mauvais-stress-realite-ou-fiction/> (consulté le juin 27, 2021).
- [6] C. Voirol et D. Laurier, « La gestion de la Présence au travail », janv. 2008. doi : 10.13140/RG.2.1.1590.3207.
- [7] F. Bousefsaf, « Mesure sans contact de l'activité cardiaque par analyse du flux vidéo issu d'une caméra numérique : extraction de paramètres physiologiques et application à l'estimation du stress », phdthesis, Université de Lorraine, 2014. Consulté le : mars 23, 2021. [En ligne]. Disponible sur : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01751131>

BIBLIOGRAPHIE

- [8] C. Maaoui, F. Bousefsaf, et A. Pruski, « Automatic human stress detection based on webcam photoplethysmographic signals », *J. Mech. Med. Biol.*, vol. 16, p. 1650039, juin 2016, doi : 10.1142/S0219519416500391.
- [9] F. Khalfi, « Reconnaissance automatique des émotions par données multimodales : expressions faciales et des signaux physiologiques », phdthesis, Université Paul Verlaine - Metz, 2010. Consulté le : avr. 06, 2021. [En ligne]. Disponible sur : <https://hal.univ-lorraine.fr/tel-01748925>
- [10] F. Bousefsaf, C. Maaoui, et A. Pruski, Quantification de l'activité mentale à partir d'une webcam en utilisant les amplitudes du flux sanguin et la variabilité de la fréquence cardiaque. 2014.
- [11] P. Gosselin, P. Roberge, et M.-F. Lavallée, « Le développement de la reconnaissance des expressions faciales émotionnelles du répertoire humain », *Enfance*, vol. 48, no 4, p. 379-396, 1995, doi : 10.3406/enfan.1995.2144.
- [12] « Cœur en bonne santé – fréquence cardiaque et style de vie | CardioSecur ». <https://www.cardiosecur.com/fr/magazine/articles-specialises/notions-de-base-sur-le-coeur/coeur-en-bonne-sante> (consulté le mai 15, 2021).
- [13] « Diastole — Wikipédia ». <https://fr.wikipedia.org/wiki/Diastole> (consulté le juin 27, 2021).
- [14] « Systole — Wikipédia ». <https://fr.wikipedia.org/wiki/Systole> (consulté le juin 27, 2021).
- [15] « Fréquence cardiaque », Wikipédia. avr. 24, 2021. Consulté le : juin 27, 2021. [En ligne]. Disponible sur : https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fr%C3%A9quence_cardiaque&oldid=182246441
- [16] « Fréquence cardiaque : définition, normes et mesures - Ooreka ». <https://defibrillateur.ooreka.fr/astuce/voir/453221/frequence-cardiaque> (consulté le juin 27, 2021).
- [17] « Variabilité de la fréquence cardiaque », Wikipédia. févr. 11, 2021. Consulté le : juin 27, 2021. [En ligne]. Disponible sur : https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Variabilit%C3%A9_de_la_fr%C3%A9quence_cardiaque&oldid=179801672
- [18] J. Marsac, « Heart rate variability : a cardiometabolic risk marker with public health implications », no 1, p. 12, 2013.
- [19] Damien Saboul. Apports de la variabilité de la fréquence cardiaque dans l'évaluation de la charge d'entraînement et le suivi d'athlètes : aspects méthodologiques et applications pratiques. Médecine humaine

BIBLIOGRAPHIE

- et pathologie. Université Claude Bernard - Lyon I, 2013. Fran cais.<NNT : 2013LYO10083>.<tel-01265039>
- [20] « Qu'est-ce que le système nerveux végétatif? », CeREN ®, oct. 10, 2018. <https://www.training-neurosensoriel.fr/quest-ce-que-le-systeme-nerveux-vegetatif/> (consulté le juin 27, 2021).
- [21] cohérence cardiaque, « Pratique de la cohérence cardiaque », Bien-être et Mieux-être. <http://www.devenir-zen.fr/se-soigner/la-coherence-cardiaque/> (consulté le juin 27, 2021).
- [22] « Électrocardiogramme (ECG) | Fondation des maladies du cœur », Fondation des maladies du cœur et de l'AVC du Canada. <https://www.coeuretavc.ca/fr-ca/heart-disease/tests/electrocardiogram/> (consulté le juin 27, 2021).
- [23] « Utiliser la variabilité de la fréquence cardiaque pour suivre les effets de l'entraînement », Run-Motion, l'appli running, déc. 19, 2017. <https://run-motion.com/variabilite-frequence-cardiaque-effets-entrainement/> (consulté le juin 27, 2021).
- [24] Futura, « Électrocardiogramme », Futura. <https://www.futura-sciences.com/sante/definitions/medecine-electrocardiogramme-3353/> (consulté le juin 27, 2021).
- [25] ZinebBENJELLOUN,"Contribution à l'Amélioration des Performances d'une Chaîne de Mesure de la Fréquence Cardiaque en Milieu Bruité ",DOCTEUR DE L'UNIVERSITE D'AIX-MARSEILLE ,Micro et Nanoélectronique,Aix-Marseille Université,2017
- [26] « ECG : principes du test, interprétation d'un électrocardiogramme ». <https://sante.journaldesfemmes.fr/fiches-anatomie-et-examens/2571593-ecg-test-normal-interpretation-electrocardiogramme/> (consulté le juin 27, 2021).
- [27] « Electrocardiographe (Appareil d'ECG) Cardiovit AT1 3 pistes ». <https://www.socimed.com/electrocardiographe-ecg-3010-digitale-a-3-chaines-10025.html> (consulté le juin 27, 2021).
- [28] « Photoplethysmogram - Wikipedia ». <https://fr.xcv.wiki/wiki/Photoplethysmogram> (consulté le juin 27, 2021).
- [29] T. Y. Euliano et al., « Photoplethysmography and Heart Rate Variability for the Diagnosis of Preeclampsia », *Anesth. Analg.*, vol. 126, no 3, p. 913-919, mars 2018, doi : 10.1213/ANE.0000000000002532.

BIBLIOGRAPHIE

- [30] oxymétrie de pouls, modèle 2011 https://www.wikiwand.com/fr/Oxymétrie_colorimtrique
- [31] J. L. Moraes, M. X. Rocha, G. G. Vasconcelos, J. E. Vasconcelos Filho, V. H. C. de Albuquerque, et A. R. Alexandria, « Advances in Photoplethysmography Signal Analysis for Biomedical Applications », *Sensors*, vol. 18, no 6, p. E1894, juin 2018, doi : 10.3390/s18061894.
- [32] Johan Cassirame Phd, "Cardiofréquences optiques, comment ça marche ?, Différence ECG – PPG" <https://training.mtraining.fr/content/119-cardiofrequencemetre-optique-comment-cela-marche->
- [33] « The clinical importance of Heart Rate Variability | Research | Blog », Empatica. <https://www.empatica.com/blog/the-clinical-importance-of-heart-rate-variability.html> (consulté le juin 27, 2021).
- [34] « Pulse sensor | Electronics Basics | ROHM ». <https://www.rohm.com/electronics-basics/sensor/pulse-sensor> (consulté le juin 27, 2021).
- [35] Hugo Mercier, « Outils informatiques d'analyse des expressions faciales en langue dessinées », Doctorat de l'Université Paul Sabatier – Toulouse III, spécialité Informatique, 2007
- [36] « La détection de visage avec les MobileVision API | Android-dev.fr ». http://www.android-dev.fr/la_detection_de_visage_avec_les_mobilevision_api (consulté le juin 27, 2021).
- [37] DIHA Sadia, LEKADIR Amina, « Réseaux Bayésiens appliqués à la reconnaissance automatique d'objets colorés », université MOULOUD MAMMERI, Tizi-Ou, Sciences et Technologies, Commande des systèmes.
- [38] Mayuko Kanemura, What is RPPG? | Noldus », What is RPPG? | Noldus, 2019. <https://www.noldus.com/blog/what-is-rppg> (consulté le juin 27, 2021).
- [39] Daniel McDuff, Picard, Rosalind, "Non-contact, automated cardiac pulse measurements using video imaging and blind source separation", *Optics express*, 2010
- [40] « Introduction : Fonctionnement du Raspberry Pi 3 ». <https://d-clics.laligue24.org/tutoriel/raspberry/51-introduction-fonctionnement-du-raspberry-pi-3> (consulté le juin 27, 2021)
- [41] « GPIO - Raspberry Pi Documentation ». <https://www.raspberrypi.org/documentation/usage/gpio/> (consulté le juin 27, 2021).

BIBLIOGRAPHIE

- [42] A. Negi, « Raspberry Pi 3 GPIO Pinout, Pin diagram and Specs in detail (Model B) », eTechnophiles, déc. 23, 2020. <https://www.etechnophiles.com/raspberry-pi-3-gpio-pinout-pin-diagram-and-specs-in-detail-model-b/> (consulté le juin 27, 2021).
- [43] « Raspberry – Les GPIO – Chez Pascal ». <https://gagnebin.tech/raspberry/raspberry-les-gpio/> (consulté le juin 27, 2021).
- [44] « Premiers pas avec le Raspberry Pi - Connecte ton Raspberry Pi | Raspberry Pi Projects ». <https://projects.raspberrypi.org/fr-FR/projects/raspberry-pi-getting-started/3> (consulté le juin 27, 2021).
- [45] « Caméra de sécurité Raspberry Pi avec webcam », Raspberry Pi Tutorials. <https://raspberrypi-tutorials.fr/camera-de-securite-raspberry-pi-avec-webcam/> (consulté le juin 27, 2021).
- [46] M. Bentham, G. Stansby, et J. Allen, « Innovative Multi-Site Photoplethysmography Analysis for Quantifying Pulse Amplitude and Timing Variability Characteristics in Peripheral Arterial Disease », *Diseases*, vol. 6, no 3, p. 81, sept. 2018, doi : 10.3390/diseases6030081.
- [47] Alfredo Valdés, La variabilité de fréquence cardiaque, 2020 <https://www.hsnstore.fr/blog/sports/fitness/la-variabilite-de-la-frequence-cardiaque-vfc/>
- [48] Jonathan, « Archives des électrocardiogramme », ENTRAIDE ESI IDE. <http://entraide-esi-ide.com/tag/electrocardiogramme/> (consulté le juin 27, 2021).
- [49] K. Zhou, S. Krause, T. Blocher, et W. Stork, « Enhancing Remote-PPG Pulse Extraction in Disturbance Scenarios Utilizing Spectral Characteristics », in 2020 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW), Seattle, WA, USA, juin 2020, p. 1130-1138. doi : 10.1109/CVPRW50498.2020.00148.
- [50] D. M. Juneau et al., “Le stress et ses effets sur le cœur,” Observatoire de la prévention, Aug. 21, 2017. <https://observatoireprevention.org/2017/08/21/stress-effets-coeur/>.

Résumé

Dans ce travail, nous proposons la reconnaissance automatique du stress d'une personne via une webcam. La technologie PPG a été utilisée dans une large gamme de dispositifs médicaux disponibles dans le commerce pour mesurer la saturation en oxygène, le débit cardiaque, évaluer la fonction autonome, le type de stress et également détecter les maladies vasculaires périphériques.

A l'aide de l'expérience du détection visage et de la fréquence cardiaque, nous avons sélectionné les principales caractéristiques pertinentes qui représentent le mieux la relation étroite entre le niveau de fréquence cardiaque et le type du stress.

Mots-clés : Rythme cardiaque, Un électrocardiogramme (ECG), Stress, La fréquence cardiaque(Fc), Photopléthysmogramme (PPG), La détection de visage.

Abstract

In this work, we propose the automatic recognition of a person's stress via a webcam. PPG technology has been used in a wide variety of commercially available medical devices to measure oxygen saturation, cardiac output, assess autonomic function, and also detect peripheral vascular disease. Using the experience of face detection and heart rate, we selected the main relevant characteristics that best represent the close relationship between heart rate level and type of stress.

Keywords : Heartbeat, An electrocardiogram (ECG), Stress, Heart rate (Fc), Photoplethysmogram (PPG), Face detection.

ملخص

في هذا العمل ، نقترح التعرف التلقائي على ضغوط الشخص عبر كاميرا الويب ، وقد تم استخدام التكنولوجيا في مجموعة واسعة من الأجهزة الطبية المتاحة تجاريا لقياس تشبع الأكسجين والنباتج القلبي وتقييم الوظيفة اللاإرادية وأيضا اكتشاف الأوعية الدموية الطرفية المرضى .

باستخدام تجربة اكتشاف الوجه ومعدل ضربات القلب ، اخترنا الميزات الرئيسية ذات الصلة التي تمثل أفضل علاقة وثيقة بين مستوى معدل ضربات القلب ونوع التوتر.

الكلمة المفتاحية : معدل ضربات القلب ، رسم القلب ، الإجهاد ، معدل ضربات القلب ، التصوير الضوئي ، كشف الوجه.