

Résumé des travaux de thèse

Le sujet des travaux de recherche présentés dans cette thèse de doctorat concerne la conception et le développement de méthodes de traitement du signal et des images permettant de mesurer des signaux physiologiques d'une personne située à distance du capteur. Les différents procédés proposés dans ce travail sont rattachés à l'ingénierie biomédicale et cherchent à répondre à des besoins particuliers du domaine de l'e-santé, de la télémédecine et de l'informatique affective. Les mesures sans contact de paramètres physiologiques sont utilisables dans de nombreux champs d'application, allant des services d'urgence jusqu'à l'automobile en passant par les sciences du sport, où le rythme cardiaque est surveillé pendant un effort physique intense.

Les travaux de recherche se déclinent selon deux axes scientifiques distincts : l'objectif premier de cette thèse est de concevoir une méthode permettant de mesurer avec précision différents signaux physiologiques via une webcam. L'utilisation de cette technologie permet de proposer un ensemble matériel et logiciel à très bas coût. Les caméras du marché les plus répandues valent en moyenne entre 15 et 60 €. L'omniprésence des webcams et leur intégration dans un grand nombre de dispositifs informatiques (comme les smartphones ou les ordinateurs portables) rendent les travaux de recherche indépendants du matériel : une application informatique sur ordinateur, tablette ou tout autre dispositif équipé d'une webcam suffit à utiliser le logiciel. D'importantes contraintes de mesure, comme le mouvement et les fluctuations de lumière rendent la détection des paramètres physiologiques très incertaine. Une majeure partie du travail consiste à proposer et mettre en place des techniques de traitement du signal et des images permettant de filtrer les artefacts afin de rendre le système robuste face aux perturbations engendrées par l'environnement ou l'utilisateur. L'objectif de ce premier axe de recherche consiste à proposer une méthode permettant de surveiller des paramètres physiologiques à distance. Ce travail transite autour d'autres grands domaines de santé, comme la télémédecine et le télédiagnostic spécifiquement. Par exemple, une personne peut rester à son domicile et discuter avec un médecin par le biais d'une tablette tactile qui transfère simultanément les informations de santé importantes. Le médecin peut ainsi construire un diagnostic médical fiable qui repose sur des mesures objectives. La tablette ou l'outil informatique utilisé par le médecin permet en même temps de consulter et mettre à jour le dossier médical du patient. Dans le milieu hospitalier, la mesure des paramètres physiologiques permet de surveiller les fonctions vitales du patient. L'acquisition est habituellement réalisée par des capteurs en contact. Certaines maladies de la peau, des brûlures sévères ou une infection ulcéreuse peuvent empêcher de positionner les éléments en contact avec la peau. La surveillance des fonctions vitales par des dispositifs déportés prend ici tout son sens.

Le second axe de recherche présenté dans cette thèse de doctorat consiste à proposer une méthode innovante permettant d'estimer des niveaux de stress à partir des données physiologiques quantifiées par la caméra. Ce travail s'inscrit dans les domaines scientifiques de l'informatique affective, de la psychophysiologie et des sciences comportementales. Certains types de phobies peuvent être traités via des thérapies par réalité virtuelle, où une exposition graduelle à la situation anxiogène permet de progressivement réduire les angoisses et diminuer l'anxiété. L'exploitation des mesures physiologiques est reconnue comme étant une source fiable pour reconnaître des émotions ou quantifier des états de stress.

Il est néanmoins important de limiter l'instrumentation lors de l'acquisition car les capteurs peuvent devenir invasifs psychologiquement et gêner la personne. Évidemment, la mesure du stress est aussi très intéressante dans d'autres contextes. Dans le milieu automobile, cet indicateur pourrait renseigner sur l'état de tension ou de frustration du conducteur. Les vidéos du visage peuvent simultanément être analysées pour déceler des états de fatigue. La frustration peut tout aussi bien se mesurer lorsque l'utilisateur commande une interface mal adaptée en matière d'ergonomie. Enfin, ce travail est tout à fait transposable à des fins de prévention du stress au travail. La principale composante novatrice de cette thèse réside dans le fait qu'aucun contact n'est nécessaire pour mesurer les variations de la physiologie engendrée par un stress.

Développement et résultats

L'approche développée est basée sur le calcul des signaux photopléthysmographiques obtenus sur des visages humains et enregistrés par une webcam. Ces derniers sont ensuite analysés par une transformée en ondelettes continue afin d'en extraire le rythme cardiaque et la fréquence respiratoire ainsi que la variabilité cardiaque. Des opérations de traitement du signal et des images ont été développées pour améliorer la robustesse du système en le rendant moins sensible aux mouvements et aux fluctuations de l'éclairage. La fréquence respiratoire est estimée à partir de la variabilité cardiaque par le phénomène d'arythmie sinusale respiratoire, la variation naturelle de la fréquence cardiaque entraînée par la respiration. Les phénomènes de vasoconstriction et vasodilatation qui modifient les amplitudes du signal PPG sont aussi détectés par la méthode que nous proposons dans ces travaux de thèse. Les performances du système ont été évaluées à partir d'un ensemble de capteurs standards en contact sur 12 individus en bonne santé qui ont participé aux expériences. Les résultats montrent que les mesures dérivées de la webcam et des capteurs en contact sont en étroite concordance.

Le second volet de ces travaux de recherche concerne la reconnaissance du stress basée sur les données physiologiques quantifiées précédemment. La webcam est ici utilisée pour mesurer et estimer l'état de tension mentale d'une personne. Les amplitudes du signal PPG et la variabilité de la fréquence cardiaque reflètent l'état du système nerveux autonome et ont été utilisées pour calculer une courbe de stress. L'activité électrodermale a concurremment été mesurée par un capteur en contact pour évaluer la méthode que nous proposons. Une application a spécifiquement été développée en laboratoire pour successivement induire du stress et relaxer les participants. Les résultats indiquent que les mesures calculées à partir des données de la webcam sont en étroite corrélation avec l'activité électrodermale. La méthode présentée dans ces travaux permet de mesurer un ensemble de données physiologiques et estimer l'état de stress d'une personne à l'aide d'une webcam, fournissant ainsi une bonne alternative aux dispositifs conventionnels en contact.

Impact de la recherche et contribution scientifique

Le travail de thèse a donné suite à un ensemble de publications scientifiques (en tant que contributeur principal) dans le domaine du traitement du signal et des images. En ce sens, trois articles dans des revues internationales (dont deux avec facteur d'impact : *Biomedical Signal Processing and Control* - IF = **1.475** et *Computers in Biology and Medicine* - IF = **1.532**) ainsi que différents articles dans des conférences nationales et internationales ont été publiés. Un de ses articles de conférence a d'ailleurs été primé par l'IFRATH en 2014. Ces travaux ont été présentés de manière récurrente à des groupes de recherche, notamment au GDR ISIS (Information Image Signal viSion).

La publication de ces travaux de recherche m'ont permis d'acquérir une certaine reconnaissance de la communauté scientifique. De ce fait, plusieurs éditeurs de revues m'ont proposé de rapporter sur des articles liés à mes activités de recherche, en particulier sur le traitement des images et du signal d'origine biomédicale :

- Articles de conférence :
 - o ICACCI – Workshop RAMI 2013.
- Revues avec impact factors :
 - o *Computers in Biology and Medicine* (2013) ;
 - o *Biomedical Health and Informatics* (2014) ;
 - o *Computational and Mathematical Methods in Medicine* (2014).

Nos articles de revue ont été cités dans l'ensemble de ces propositions de communication. La méthode que nous avons développée a été utilisée comme référence dans l'article soumis à la revue *Biomedical Health and Informatics*.

Un transfert technologique a été réalisé dans le cadre de cette thèse. Deux sociétés, TEA (<http://teaergo.com>) et I-Virtual (<http://www.i-virtual.fr>) proposent désormais un système reposant sur la méthode présentée dans les travaux de thèse pour mesurer la fréquence cardiaque de la personne. La société I-Virtual a d'ailleurs remporté le concours national d'aide à la création d'entreprises de technologies innovantes du Ministère de l'Éducation Nationale, de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche (en catégorie « émergence ») en centrant son activité sur les travaux de recherche développés pendant la thèse. Un projet plus important a été déposé à l'AME (Agence de Mobilisation Économique de Lorraine) et rassemble entreprises, laboratoires de l'université ainsi que d'autres partenaires autour d'un projet centré sur les travaux de thèse. Concrètement, le projet (s'il aboutit) permettra de financer une nouvelle thèse afin de poursuivre cette activité de recherche. D'autres collaborations ont vu jour, notamment avec le laboratoire INTERPSY dans le cadre du projet EMILE (<http://eureka.lorraine.eu/jahia/Jahia/fr/actualites?actu=22094>). Ici, les chercheurs observent le comportement et l'état émotionnel des enfants en bas âge devant le miroir, notamment durant la prise de conscience de soi.