

MS2 - RAPPORT

CAPTEURS DE SIGNAUX PHYSIOLOGIQUES ET EXTRA-PHYSIOLOGIQUES POUR LE SUIVI DU CONDUCTEUR

Date de livraison contractuelle:	M9
Date de livraison:	M9

INFORMATION DOCUMENT

Version	V1	Niveau de dissemination	PU
Editeur	Kamel HADDADI (Université de Lille – IEMN CNRS UMR8520)		
Auteurs	M. SEBBACHE, E. DELGRANGE, O. NAIMI, A. GAUTIER, F. BOUKOUR, S. CARO, K. HADDADI		

INFORMATION PROJET

Accord de subvention	2103116874
Dates	12 Juillet 2021

APPROBATION DOCUMENT

Name	Position	Organisation	Date	Visa
K. HADDADI	Leader T1.2	IEMN	12/07/2021	

VERSIONS

Version	Date	Modifications	Authors
1	12/07/2021	Initial	K. Haddadi
VF	09/03/2021	Révision	K. HADDADI, F. BOUKOUR, S. CARO

DÉCLARATION DES DROITS DE PROPRIÉTÉ

Ce document contient des informations qui sont la propriété du Consortium LINKED. Ni ce document ni les informations qu'il contient ne doivent être utilisés, dupliqués ou communiqués par quelque moyen que ce soit à un tiers, en tout ou en partie, sauf avec le consentement écrit préalable du consortium

TABLE DES MATIERES

1	RÉSUMÉ	3
1.1	DESCRIPTION DU CONTENU DU DÉLIVERABLE	3
1.2	BREVE DESCRIPTION DE L'ETAT DE L'ART ET DES AVANCEES EN MATIERE D'INNOVATION 3	
1.3	ACTION CORRECTIVE (LE CAS ECHEANT).....	3
1.4	QUESTIONS RELATIVES AUX DPI (LE CAS ECHEANT).....	3
2	IDENTIFICATION DES SIGNAUX PHYSIOLOGIQUES ET EXTRA- PHYSIOLOGIQUES & CAPTEURS ASSOCIES	4
3	PLATE-FORME DE CAPTEURS E-SANTE V1.0 POUR ARDUINO	10
4	DOMAINE DE LA RECHERCHE : CAPTEURS HYPERFREQUENCES OPERANT SANS CONTACT	14
5	CONCLUSION	16
6	REFERENCES	17

1 RÉSUMÉ

1.1 Description du contenu du livrable

Partenaires : UGE, IEMN, Faculté de médecine H. Warembourg, SEGULA

Cette deuxième sous-tâche vise à identifier les **signaux physiologiques** et **extra-physiologiques** pertinents pour le suivi des conducteurs. En effet, il existe un panel de capteurs médicaux dont il sera nécessaire d'évaluer l'intérêt et la pertinence pour une mise en œuvre. Par exemple, si des capteurs de fréquences respiratoire et cardiaque ou encore de température paraissent inéluctables, un capteur de myographie peut s'avérer intéressant dans le cas de conducteurs présentant un profil fumeur. Signalons qu'un état des lieux complet sur la disponibilité de capteurs médicaux embarqués compatibles avec l'application visée (coût, encombrement, facilité d'utilisation par un conducteur) sera mené. En plus de ces capteurs médicaux, un capteur microonde développé au sein du laboratoire sera testé et évalué en termes des contraintes de l'application.

1.2 Brève description de l'état de l'art et des avancées en matière d'innovation

Compte tenu de la disponibilité limitée de solutions commerciales adaptées à l'application visée, i.e. plate-forme médicale instrumentée sur simulateur de conduite, une solution matérielle et logicielle, décrite dans ce rapport, a été développée à l'IEMN.

En particulier, dans le cadre du projet LINKED, le développement de systèmes étant exclu, nous avons considéré une solution basée sur des sous-systèmes disponibles commercialement.

1.3 Action corrective (le cas échéant)

N.A.

1.4 Questions relatives aux DPI (le cas échéant)

N.A.

2 IDENTIFICATION DES SIGNAUX PHYSIOLOGIQUES ET EXTRA-PHYSIOLOGIQUES & CAPTEURS ASSOCIES

2.1 Identification des signaux physiologiques et extra-physiologiques

Le livrable MS1 a permis de mettre en avant les signaux vitaux pertinents pour le suivi des conducteurs définis dans ultérieurement lors des phases de test (MS3). Ainsi, la fréquence cardiaque, la fréquence respiratoire et la température sont les trois paramètres d'intérêt à considérer dans cette étude. Afin de répondre au besoin de capteurs compatibles avec l'application visée, une étude des systèmes existants a donc été menée pour former une base de comparaison. Par la suite, les plateformes retenues ont été étudiées et notamment mises à l'épreuve pour en définir les performances.

2.1 Etude des capteurs de signaux physiologiques et extra-physiologiques

L'étude vise à identifier les différents systèmes existants et les évaluer en fonction d'un facteur de mérite défini en fonction des besoins pour le projet. Ce dernier repose sur les points suivants :

- **L'encombrement** : Le volume et le poids de chaque système doit être compatible avec l'application visée. En effet, un système compact présentera moins de contraintes lors de l'implantation au simulateur.
- **Le caractère invasif** : L'objectif du projet étant de mesurer l'état du conducteur lors de phases de tests en simulation de conduite, il est impératif que la solution de mesure des signaux ne perturbe pas le comportement ou n'empêche pas les mouvements du conducteur. Le caractère invasif évalue donc la gêne que peut apporter chaque capteur, tant par ses dimensions que par sa localisation sur le patient, ou encore par la méthode de mesure.
- **La disponibilité** : Chaque système étudié se devra être accessible sur le marché et remplaçable facilement en cas de panne. Cette disponibilité n'est importante que dans l'optique d'avoir des pièces de rechange, il est aussi possible qu'un produit qui n'est pas distribué soit sélectionné mais à la condition qu'il reste remplaçable sans causer trop de modifications dans la solution finale.
- **L'interfaçage** : Un système doit être interfaçable avec le simulateur de conduite. En effet, la question de la récupération et de la synchronisation des données mesurées est cruciale pour valider l'application visée.
- **La synchronisation temporelle** : Chaque système doit être capable de réaliser une mesure synchronisée avec les données issues du simulateur de conduite, idéalement de la transmettre en temps réel. Ce paramètre est

crucial dans la conception d'un système performant. S'il existe un décalage de synchronisation temporelle notable entre la mesure et la transmission, l'écart entre les données physiologiques et les données de conduite pourrait conduire à des erreurs d'interprétation. Il est aussi important que la fréquence d'échantillonnage soit suffisamment élevée pour représenter fidèlement les évolutions des signaux physiologiques.

- **Les opérations simultanées** : Un système devra être capable d'effectuer les mesures et les transmissions de données en simultané. Il est aussi intéressant de considérer la possibilité d'effectuer d'autres opérations de conditionnement de signal ou de communication.



SPO2 : Le capteur SPO2 (Saturation en oxygène) présente les avantages d'être largement disponible sur le marché et bénéficie d'un faible encombrement. En revanche, les données mesurées ne sont pas récupérables et sont directement affichées sur un écran intégré. Ces données sont des moyennes temporelles. Notre objectif étant de fournir une base de données la plus riche possible, les données traitées demeurent limitées et ne sont pas compatibles avec une opération en temps réel.
(Réf : ElectronicMall SPO2 Pulse Oximeter)



Moniteur d'ambulance : Les moniteurs d'ambulance sont largement disponibles sur le marché. Ils ont l'avantage d'effectuer toutes les mesures demandées pour le projet en temps réel. En revanche, il est impossible de synchroniser le flux de données avec le simulateur de conduite, elles sont simplement affichées sur un moniteur.
(Réf : Moniteur Patient M7000)



Montre connectée : Les montres connectées sont très peu encombrantes dans un scénario de conduite, elles présentent un très faible caractère invasif et sont très répandues sur le marché. Néanmoins, ces dispositifs demeurent fermés et ne permettent donc pas la récupération des données ou la synchronisation avec le simulateur de conduite.
(Réf : AppleWatch Série 6)



Bague connectée : Les bagues connectées ne sont pas encombrantes et ne présentent pas de gêne pour le conducteur. En revanche il est impossible de récupérer les données de mesures.
(Réf : OURA Ring)



Capteur de température infrarouge : Les capteurs de température laser peuvent réaliser la mesure à distance, avec précision de l'ordre du centième de degrés. Il n'est néanmoins pas possible de les interfacier sur une plate-forme d'acquisition.

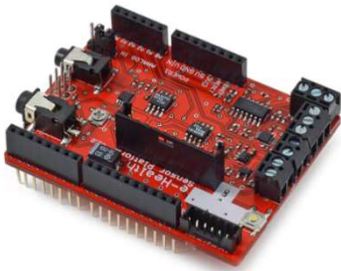
(Réf : Thermomètre laser FI 622TI)



Caméra thermique : La caméra thermique mesure la température à distance, elle pourrait être intégrée directement sur le châssis du simulateur. Elle permet également une mesure de la température locale, l'enregistrement des mouvements du conducteur. Les caméras thermiques ne peuvent pas être directement interfacées avec le simulateur et il est nécessaire de réaliser des opérations de traitement d'images, opération très coûteuse en ressources et ne permettant pas d'envoyer les données en temps réel. **(Réf : KKmoon 2.4 Pouces Caméra Thermique Portable)**



Système eSense : La plateforme eSense présente un encombrement adéquat, car n'empêchant pas la conduite. Le système disponible sous forme de kit de développement pour créer sa propre application. Fonctionnant sur tous les appareils munis d'une prise jack 3.5mm, il est théoriquement possible de l'adapter pour l'interfacier au simulateur et obtenir des données en temps réel. Le problème majeur réside dans l'impossibilité d'instrumenter trois capteurs simultanément. **(Réf : eSense kit + SDK)**



e-Health V1 : La plateforme E-Health V1 n'est plus commercialisée, elle permet pourtant d'être intégrée sur une carte Arduino®. Il est très facile et très rapide de récupérer les données des mesures des capteurs, et ce en temps réel. Nous optons pour cette solution qui présente un compromis intéressant afin de l'adapter au simulateur de conduite. La plate-forme est disponible à l'IEMN. Nous avons notamment réalisé plusieurs dispositifs afin d'accélérer les phases de test et présenter une solution de secours si besoin.

(Réf : Shield e-Health V1 - Libelium)



e-Health V2 : La plateforme E-Health V2 est commercialisée par MySignals, cette dernière permet un suivi d'un nombre de signaux physiologiques et extra-physiologiques importants en temps réel. Néanmoins, les données sont affichées uniquement sur l'écran du boîtier. Ainsi, l'acquisition des données ne peut pas se faire en temps réel. Ces dernières sont récupérables sur le cloud MySignals et ce après traitement.

(Réf : e-Health V2 MySignals – Libelium)

Le tableau 1 propose un résumé des solutions pertinentes identifiées associant les critères inhérents au facteur de mérite.

Système	Encombrement	Caractère invasif	Disponibilité	Interfaçage	Temps réel	Opération simultanée
SPO2	Faible	Moyen	Élevé	NON	NON	OUI
Moniteur d'ambulance	Moyen	Moyen	Élevé	NON	OUI	OUI
Montre connectée	Faible	Faible	Élevé	NON	NON	NON
Bague connectée	Faible	Faible	Moyen	NON	NON	NON
Capteur de température Laser	Faible	Faible	Moyen	NON	OUI	NON
Caméra thermique	Faible	Faible	Moyen	NON	OUI	NON
Système E-Sense	Faible	Moyen	Élevé	OUI	OUI	OUI
E-Health V1	Faible	Moyen	Faible	OUI	OUI	OUI
E-Health V2	Faible	Moyen	Moyen	NON	OUI	OUI

Tableau 1: Tableau comparatif des systèmes commerciaux disponibles.

2.3 Synthèse

Compte tenu de l'application visée qui requière l'intégration de la plateforme sur un simulateur de conduite ainsi que le suivi en temps réels des signaux physiologiques, nous avons retenu trois solutions adaptées (trois dernières lignes du Tableau 1). Des études complètes seront menées afin de confronter les trois solutions, ainsi que les adapter au simulateur de conduite. La plate-forme e-Health V1 se présente comme la solution la plus pertinente pour répondre à nos applications. Un descriptif de la plate-forme est proposé dans la suite du rapport.

3 PLATE-FORME DE CAPTEURS E-SANTE V1.0 POUR ARDUINO

La plate-forme e-Health Sensor Shield, commercialisée par Libellium®, permet d'effectuer des applications biométriques et médicales à l'aide de 9 capteurs différents : pouls, oxygène dans le sang (SPO2), flux d'air (respiration), température corporelle, électrocardiogramme (ECG), glucomètre, réponse galvanique de la peau (GSR - sudation), tension artérielle (sphygmomanomètre) et position du patient (accéléromètre).

Ces informations peuvent être utilisées pour surveiller en temps réel l'état d'un patient ou pour obtenir des données sensibles afin d'être ensuite analysées pour un diagnostic médical. Les informations biométriques recueillies peuvent être envoyées sans fil en utilisant l'une des 6 options de connectivité disponibles : Wi-Fi, 3G, GPRS, Bluetooth, 802.15.4 et ZigBee® selon l'application.

Les données peuvent être envoyées dans le Cloud afin d'effectuer un stockage permanent ou visualisées en temps réel en envoyant les données directement sur un ordinateur portable ou un Smartphone. Des applications iPhone et Android ont été conçues afin de visualiser facilement les informations du patient.

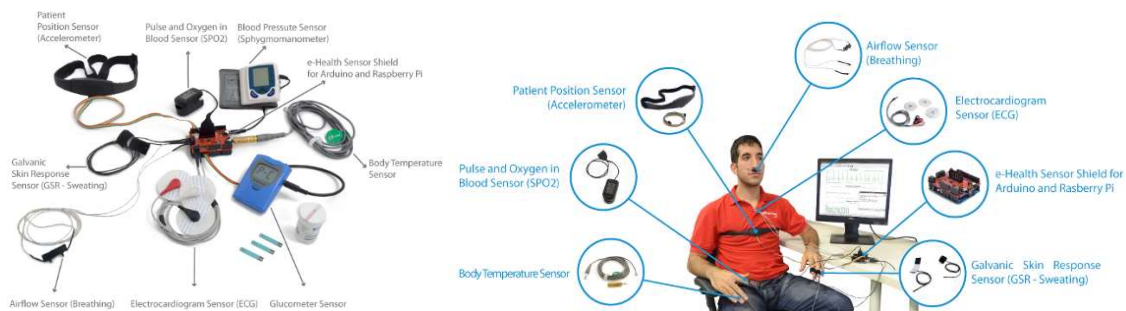


Figure 1: Plate-forme de capteurs E-santé V1.0 de la société Libellium®.

Les trois capteurs retenus dans le cadre de ce projet sont illustrés en Figure 2 et décrits dans la suite.

Un descriptif technique complet est également disponible dans la référence suivante :

http://www.libelium.com/downloads/documentation/mysignals_technical_guide.pdf



Figure 2 : Photographies des capteurs physiologiques retenus : (a) Capteur de température Exacon D-S18J, (b) Electrocardiographe et (c) Capteur de type « Airflow ».

(a) Capteur de température

La température corporelle dépend de l'endroit du corps où la mesure est effectuée, ainsi que de l'heure de la journée et du niveau d'activité de la personne. Différentes parties du corps ont des températures différentes. Le noyau moyen communément accepté (pris en interne) est de 37,0 °C (98,6 °F). Chez les adultes en bonne santé, la température corporelle fluctue d'environ 0,5 °C (0,9 °F) tout au long de la journée, avec des températures plus basses le matin et des températures plus élevées en fin d'après-midi et en soirée, à mesure que les besoins et les activités du corps changent.

Le capteur doit être connecté au connecteur de prise de température spécifique de la carte MySignals et il fonctionne avec une alimentation par connecteur direct. Un exemple de mesure est illustré en Figure 3.

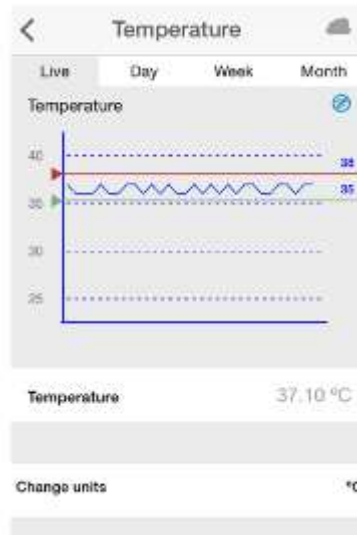
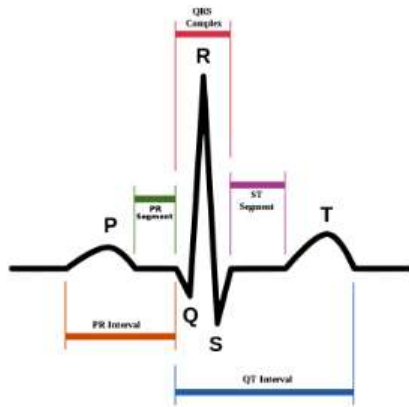


Figure 3 : Mesure de température corporelle à l'aide du Exacon D-S18J.

(b) Electrocardiogramme

Le capteur d'électrocardiogramme (ECG) est devenu l'un des tests médicaux les plus couramment utilisés en médecine moderne. Son utilité dans le diagnostic d'une myriade de pathologies cardiaques allant de l'ischémie et de l'infarctus du myocarde à la syncope et aux palpitations est inestimable pour les cliniciens depuis des décennies. La précision de l'ECG dépend de la condition testée. Un problème cardiaque peut ne pas toujours apparaître sur l'ECG. Certaines maladies cardiaques ne produisent jamais de modifications ECG spécifiques. Les dérivations ECG sont fixées au corps pendant que le patient est allongé à plat sur un lit ou une table. Dans le cadre de nos applications, le diagnostic médical est exclu et la mesure est effectuée en position assise (de conduite). Des tests fins seront proposés dans le cadre de ce projet afin d'évaluer l'impact de la position du conducteur.

L'ECG est un outil de diagnostic reposant sur l'évaluation des fonctions électriques et musculaires du cœur. Le capteur utilise un « électrocardiogramme de télémétrie continue » pour une surveillance prolongée comprenant l'utilisation de trois électrodes ECG. Le capteur doit être connecté au connecteur jack ECG spécifique de la carte MySignals et il fonctionne avec une alimentation par connecteur direct.



(a)



(b)

Figure 4 : Mesure de rythme cardiaque par capteur ECG. (a) ECG théorique et (b) Exemple de mesure à l'aide du capteur ECG.

(c) Capteur de type « Airflow ».

Des fréquences respiratoires anormales et des modifications de la fréquence respiratoire sont un indicateur général d'une instabilité physiologique majeure et, dans de nombreux cas, la fréquence respiratoire est l'un des premiers indicateurs de cette instabilité. Par conséquent, il est essentiel de surveiller la fréquence respiratoire comme indicateur de l'état du patient. Le capteur AirFlow peut fournir un avertissement précoce d'hypoxémie et d'apnée.

Le capteur de débit d'air nasal / buccal est un appareil utilisé pour mesurer la fréquence respiratoire chez une personne. Cet appareil se compose d'un fil flexible qui s'insère derrière les oreilles, et d'un ensemble de deux broches qui sont placées dans les narines. La respiration est mesurée par ces broches. La canule/support spécialement conçu permet au capteur de thermocouple d'être placé dans la position optimale pour détecter avec précision les changements de débit d'air thermique oral/nasal ainsi que la température de l'air nasal. Le capteur doit être connecté au connecteur Jack Airflow spécifique de la carte MySignals et il fonctionne avec une alimentation par connecteur direct.

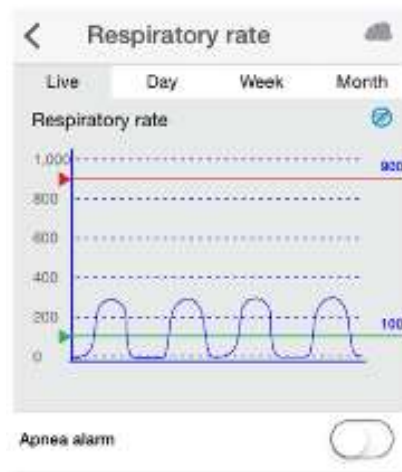


Figure 5 : Mesure de respiratoire à l'aide du capteur « Airflow ».

En prévision des tâches d'intégration de la plate-forme au sein du simulateur de conduite, les perturbations ou bruits doivent être préalablement identifiés et anticipés afin de garantir la qualité des données mesurées. En particulier, les vibrations mécaniques induites par le poste de conduite engendrent un bruit additif sur les signaux mesurés. A mesure des signaux cardiaque et respiratoire reposent sur des mesures de signaux électriques respectivement de type ECG mettant en œuvre 3 électrodes situées sur le torse et un dispositif à thermocouples mesurant les tensions inhérentes aux variations de température dans les phases d'inspiration et expiration. Une description exhaustive des capteurs sera proposée dans la suite de ce projet (deuxième phase du projet).

Afin d'anticiper les prochaines tâches et notamment l'intégration de la plate-forme au sein du simulateur, une conception mécanique d'un boîtier a été entreprise afin d'intégrer la plateforme sur le siège du conducteur, position présentant un impact réduit des vibrations mécaniques.

4 DOMAINE DE LA RECHERCHE : CAPTEURS HYPERFREQUENCES OPERANT SANS CONTACT

Comme présenté dans les sections précédentes, les dispositifs pour la mesure des rythmes respiratoire et cardiaque opérant en contact sont disponibles et largement utilisés dans le domaine médical. En regard de ces systèmes, des techniques innovantes basées sur l'utilisation de signaux électromagnétiques, communément dénommées RADAR, ont permis de mettre en avant la pertinence de ces méthodes pour la détection et le suivi des fréquences respiratoire et cardiaque de manière non-invasive et sans contact. Ainsi, ces capteurs s'avèrent comme particulièrement adaptés pour la surveillance des personnes âgées notamment dans des maisons médicalisées, la détection des survivants sur les décombres ou encore la surveillance des athlètes.

Le concept repose sur la détection à distance des mouvements de la poitrine, à partir duquel sont extraits les signaux vitaux, i.e. fréquences respiratoire et cardiaque. En particulier, ces deux paramètres peuvent être estimés par la mesure des signaux hyperfréquences réfléchis par la poitrine associée à des algorithmes de traitement de signal dédiés. Parmi les différents types de systèmes radar, on trouve les radars à ondes continues (CW – Continuous Wave) [1, 2, 3], à ondes continues à modulation de fréquence (FMCW – Frequency Modulation Continuous Wave) et utilisant des signaux impulsionnels à large bande de fréquence (UWB – Ultra Wide Band) [4,5, 6]. Les performances des architectures CW s'avèrent meilleures en termes de précision et de résolution, tout en présentant une architecture matérielle moins complexe et des approches de traitement des signaux plus simples. Ces différents travaux demeurent à l'échelle du laboratoire.

Ces dernières années, quelques capteurs commerciaux ont été conçus pour la détection des signes vitaux notamment pour la surveillance dans des environnements médicalisés. Un premier capteur sans contact, pour la détection des signes vitaux, qui a été proposé est celui de Novelda X4 [7]. Ce dernier fonctionne dans la bande de fréquence 7,29 - 8,748 GHz et présente une portée de 10 mètres associée à une consommation d'énergie inférieure à 120 mW. En particulier, ce capteur a trouvé des applications dans la détection de présence des individus situés ou pas devant leur poste informatique. L'ordinateur se verrouille immédiatement après la détection d'absence de l'individu, améliorant ainsi la sécurité et la durée de vie des batteries. Ce capteur est basé sur un Codage biphase des impulsions émises pour l'étalement du spectre et permet une résolution spatiale ultra-élevée pour un suivi simultané de plusieurs objets (Figure 6).

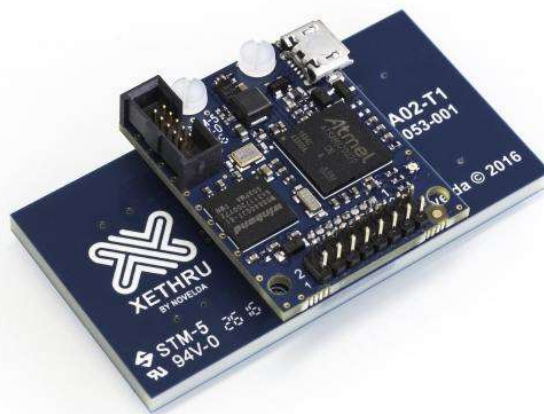


Figure 6 : capteur Novelda X4 [7].

Un deuxième capteur de type RADAR a été développé par la société Umain [8] (Figure 7). Ce capteur est basé sur le principe du radar UWB intégré sur une puce SoC (System On Chip). Il permet la détection des humains ou des animaux à partir de la détection des signes vitaux : rythme respiratoire et rythme cardiaque. Ce capteur est à faible consommation énergétique. Il

fonctionne dans la bande de fréquences 0,45 - 1GHz. Il permet une résolution de détection comprise entre 1,5 et 3,3 cm associée à une portée de détection de 13 cm.

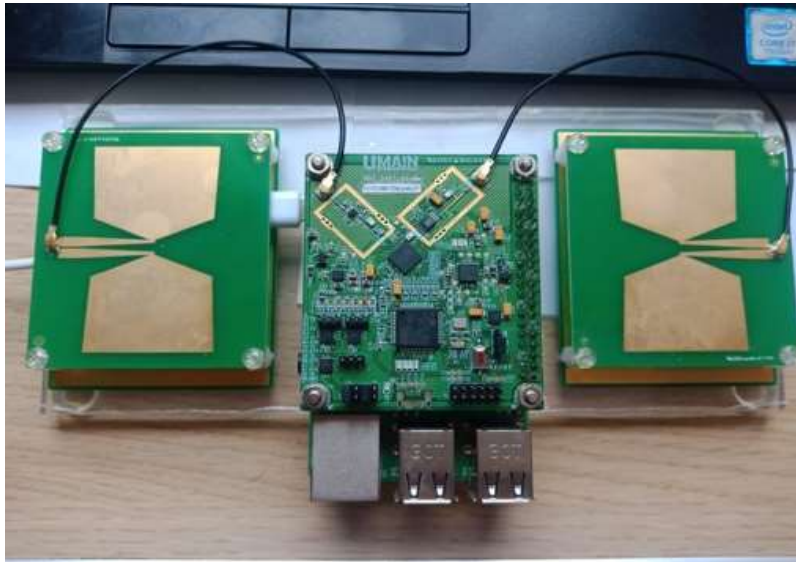


Figure 7 : Capteur Umain hst-s1m-se [8].

5 CONCLUSION

L'étude réalisée préalablement (livrable MS1) a permis d'identifier les **signaux physiologiques** et **extra-physiologiques** pertinents pour le suivi des conducteurs. En particulier, le suivi des fréquences respiratoire et cardiaque ainsi que de la température corporelle s'avère comme particulièrement adapté pour l'application visée dans ce projet. En effet, un des objectifs majeurs réside dans l'établissement de bases de données synchronisées regroupant données de conduite et signaux physiologiques et extra-physiologiques associés. Si l'engouement actuel pour les objets connectés s'accompagne d'une prolifération de capteurs compacts et faible coût, peu de solutions permettent d'adresser un suivi temps réel, résolu temporellement, précis tout en présentant une connectivité avec d'autres appareils. Les solutions les plus pertinentes ou répandus sont présentés dans le livrable afin d'offrir au lecteur une vision globale de la disponibilité de ces capteurs. Deux sociétés offrent des plates-formes matérielles et logicielles pour le développement d'applications dans le domaine de la santé. Ces deux solutions ont été retenues. En particulier, la solution Msignals de Libelium® présente des potentialités pour l'application visée dans le projet. Une description de la plate-forme a été proposée et les verrous techniques identifiés pour les futures phases du projet. Finalement,

des solutions radars originales sont discutées afin d'être confrontées dans la suite du projet aux systèmes conventionnels.

6 REFERENCES

1. Zhang, T.; Sarrazin, J.; Valerio, G.; Istrate, D. Estimation of human body vital signs based on 60 GHz Doppler radar using a bound-constrained optimization algorithm. *Sensors* 2018, 18, 2254.
2. Koelpin, A.; Lurz, F.; Linz, S.; Mann, S.; Will, C.; Lindner, S. Six-port based interferometry for precise radar and sensing applications. *Sensors* 2016, 16, 1556.
3. Vinci, G.; Lindner, S.; Barbon, F.; Mann, S.; Hofmann, M.; Duda, A.; Weigel, R.; Koelpin, A. Six-port radar sensor for remote respiration rate and heartbeat vital-sign monitoring. *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.* 2013, 61, 2093–2100.
4. Peng, Z.; Muñoz-Ferreras, J.M.; Tang, Y.; Liu, C.; Gómez-García, R.; Ran, L.; Li, C. A portable FMCW interferometry radar with programmable low-IF architecture for localization, ISAR imaging, and vital sign tracking. *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.* 2016, 65, 1334–1344.
5. Lee, H.; Kim, B.H.; Park, J.K.; Yook, J.G. A Novel Vital-Sign sensing algorithm for multiple subjects based on 24-GHz FMCW doppler radar. *Remote Sens.* 2019, 11, 1237.
6. Wang, J.; Tang, Y.; Muñoz-Ferreras, J.M.; Gómez-García, R.; Li, C. An improved indoor localization solution using a hybrid UWB-Doppler system with Kalman filter. In *Proceedings of the 2018 IEEE Radio and Wireless Symposium (RWS), Anaheim, CA, USA, 14–17 January 2018*; pp. 181–183.
7. <https://www.medicaldevice-network.com/contractors/imaging/novelda>
8. : www.umain.co.kr