


# E-santé : une solution d'avenir pour une prise en charge optimisée des pathologies chroniques. Exemple de la plateforme E-care dans le cadre de l'insuffisance cardiaque

Emmanuel Andrès<sup>1,7,8</sup>, Samy Talha<sup>2</sup>, A. Ahmed Benyahia<sup>3</sup> , Olivier Keller<sup>1,7</sup>, Mohamed Hajjam<sup>3</sup>, Ali Moukadem<sup>4</sup>, Alain Dieterlen<sup>4</sup>, Jawad Hajjam<sup>5</sup>, Sylvie Ervé<sup>5</sup>, Amir Hajjam<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Service de médecine interne, diabète et maladies métaboliques de la clinique médicale B, CHRU de Strasbourg, Strasbourg, France 

<sup>2</sup> Service de physiologie et d'explorations fonctionnelles, CHRU et faculté de médecine de Strasbourg, université de Strasbourg (UdS), Strasbourg, France

<sup>3</sup> Newel, Mulhouse, France

<sup>4</sup> Laboratoire MIPS, université Haute-Alsace de Mulhouse (UHA), Mulhouse, France

<sup>5</sup> Centre d'expertise des TIC pour l'autonomie (CenTich) et mutualité française Anjou-Mayenne (MFAM), Angers, France

<sup>6</sup> Laboratoire IRTESeT, université de technologie de Belfort-Montbéliard (UTBM), Belfort-Montbéliard, France

<sup>7</sup> Centre de recherche pédagogique de la faculté de médecine de Strasbourg, Université de Strasbourg (UdS), Strasbourg, France

<sup>8</sup> Service de médecine interne, diabète et maladies métaboliques, clinique médicale B, CHRU de Strasbourg, 1, porte de l'Hôpital, 67091 Strasbourg cedex, France <emmanuel.andres@chru-strasbourg.fr>

L'insuffisance cardiaque est une maladie chronique grave qui outre la morbi-mortalité importante qui lui est imputée, induit des ré-hospitalisations fréquentes, qui grèvent la qualité de vie de ses patients, et dont certaines pourraient être évitées par une action en amont. C'est une pathologie fréquente, qui pose un vrai problème de santé publique. Le suivi des patients avec une insuffisance cardiaque par des systèmes de télémédecine est théoriquement un moyen susceptible d'optimiser la prise en charge de ces patients. Plusieurs projets sont actuellement développés dans ce domaine, dont : SCAD, PIM's, OSICAT, MEDICA et E-care. Le projet E-care développe une plateforme « intelligente » et communicante pour assurer une surveillance à domicile, à l'aide de capteurs non intrusifs, des patients atteints d'insuffisance cardiaque en stade III de la NYHA. Elle assistera de ce fait le corps médical en automatisant le traitement des informations issues de ces capteurs afin de détecter et de signaler de manière précoce les situations à risques de décompensation cardiaque.

**Mots clés :** insuffisance cardiaque, télémédecine, maintien à domicile, détection des signes de décompensation cardiaque

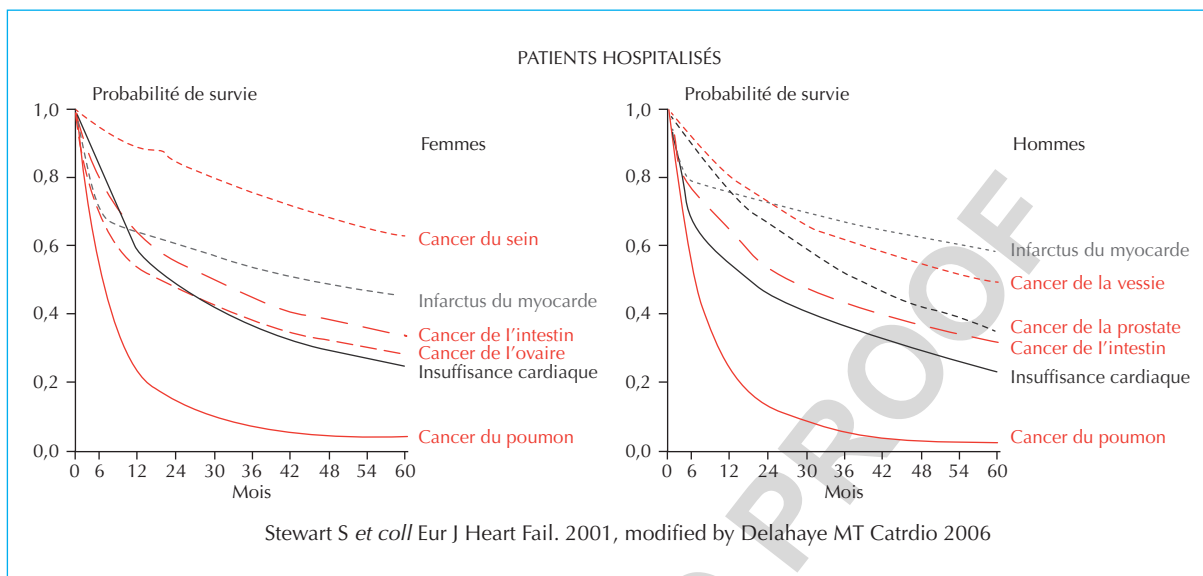
## Généralités sur l'insuffisance cardiaque

L'insuffisance cardiaque (IC) est une maladie chronique grave qui

outre la morbi-mortalité importante qui lui est imputée, avec 50 % de mortalité à cinq ans dans les stades III-IV de la NYHA, induit des ré-hospitalisations fréquentes, qui

mt

Tirés à part : E. Andrès



**Figure 1.** Données de mortalité dans le cadre de l'insuffisance cardiaque. Stewart et al., Eur J Heart Fail 2001, modified by Delahaye, Cardio 2006.

grèvent la qualité de vie de ses patients (figure 1), et dont certaines pourraient être évitées par une action en amont [1].

En France, près de 1 million de personnes souffrent d'IC et 120 000 nouveaux cas sont diagnostiqués tous les ans ce qui pose un véritable problème de santé publique. En effet, la prise en charge de l'IC est complexe, longue, souvent difficile, et coûteuse pour la société en temps soignant et médical et sur le plan financier [2, 3].

Hors si le traitement de l'IC est actuellement bien codifié [2, 3], reposant sur des données de médecine factuelle, et a permis d'incontestable progrès, notamment sur la mortalité, il existe encore probablement un gain dans l'espérance et la qualité de vie de ces patients en agissant notamment sur la prise en charge au long cours à domicile.

En effet, comme le montre la figure 2, l'IC a un retentissement considérable sur la vie des patients (Table ronde consacrée à l'insuffisance cardiaque, CHRU de Strasbourg, 2013).

### Place de la télémédecine dans la prise en charge des pathologies chroniques dont l'insuffisance cardiaque

L'IC, comme la plupart des pathologies chroniques, évolue lentement, favorisée souvent par une mauvaise hygiène de vie (tabagisme, sédentarité...). Le diabète, l'insuffisance rénale sont d'autres exemples de maladies

chroniques. Il y a plus de 15 millions de patients atteints de telles maladies aujourd'hui en France et le chiffre annoncé pour 2020 serait de 20 millions. Ces maladies sont responsables de la progression des dépenses de santé dans la plupart des pays développés.

Le suivi des patients atteints de pathologies chroniques, par des systèmes de télémédecine, est théoriquement un moyen susceptible d'optimiser la prise en charge de ces patients [4], comme cela a déjà été démontré dans certaines pathologies comme le diabète. En outre, la télésurveillance ou le « maintien à domicile » est susceptible de générer des soins de plus grande qualité et sécurité que la pratique conventionnelle, et favoriser ainsi une meilleure qualité de vie des patients. Par conséquent, la télésurveillance permettrait d'observer une réduction significative du nombre de ré-hospitalisations corrélée mécaniquement à une diminution des coûts de prise en charge pour la société. Ces solutions favorisent également la collection de données médicales précises afin de permettre un suivi adapté de l'état de santé du patient.

Les données concernant l'utilisation de tels systèmes de télémédecine dans le domaine de l'IC sont actuellement moins robustes, voire parcellaires, mais de nombreux projets sont en cours [5, 6]. Pour les projets les plus anciens, qui s'apparentent plus à du suivi téléphonique avec le déplacement de personnel soignant à domicile (ce qui est loin du concept de télémédecine comme on le conçoit de nos jours), les résultats sont moins discordants et moins probants et les avis d'experts partagés (figure 3) [6].

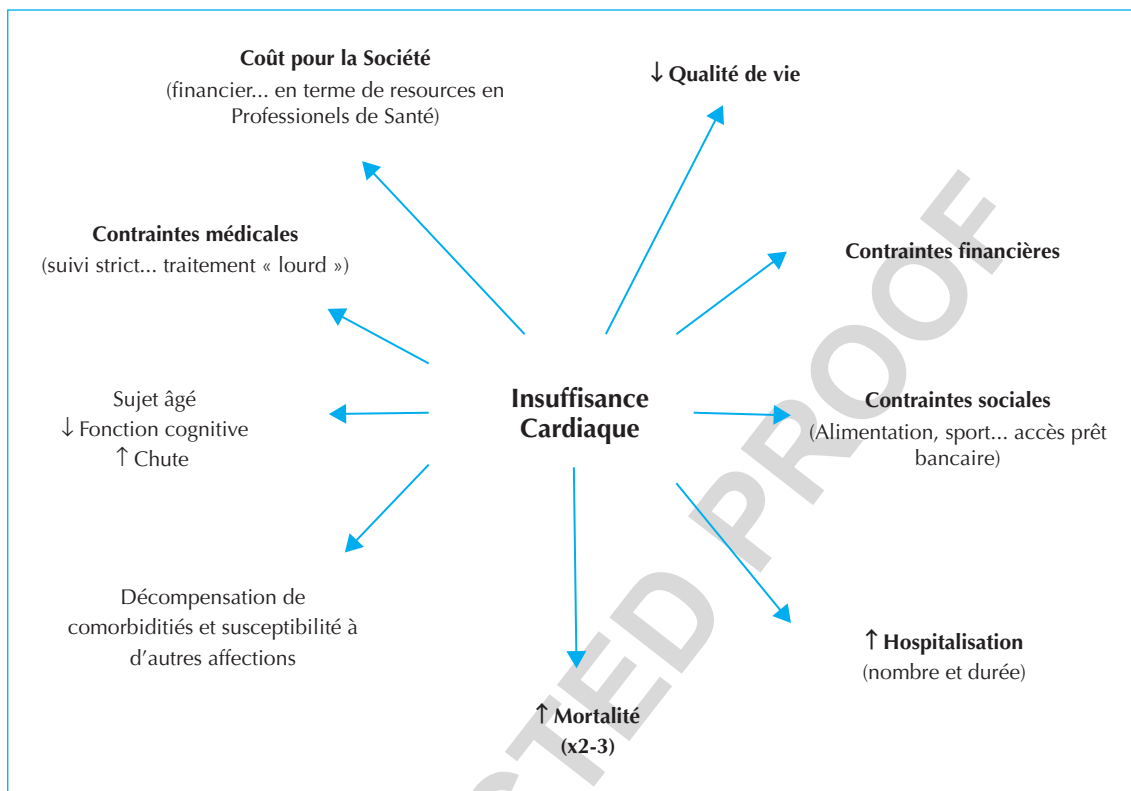


Figure 2. Retentissement de l'insuffisance cardiaque sur la vie des patients.

## État de l'Art sur les systèmes de télésanté développés dans le domaine de l'insuffisance cardiaque

Ces dernières années, un regain d'intérêt semble avoir vu le jour dans le domaine de la télémedecine et de l'IC avec le développement de plusieurs projets plus ou moins aboutis et avancés autour de cette thématique :

- projet SCAD (Suivi Cardiologique À Distance), déployé en Basse Normandie, porté par le CHU de Caen et le Pr Grollier [7] ;
- projet PIMP's (Plateforme Interactive Médecins Patients santé), porté par le Centre Hospitalier René-Dubos à Pontoise et le Pr Jourdain [8] ;
- projet OSICAT (Optimisation de la Surveillance Ambulatoire des Insuffisants CARDIAques par Télécardiologie), reposant sur 12 centres investigateurs locaux, coordonné par le CHU de Toulouse et les Prs Galinier et Pathak [9] ;
- projet MEDICA (Monitoring Electronique à Domicile de l'Insuffisance CARDIAque chronique) porté par les Groupes REUNICA Domicile et GMC-Solutions Santé [10].

Ces projets reposent pour la plupart sur les outils usuels de suivi des IC (tensiomètre, pèse-personne...), intégrant

parfois des outils permettant la remontée des informations collectées (Bluetooth, 3G... ) et l'interactivité entre patient et professionnels de santé (call center, tablette numérique, site internet... ) [11]. Ils associent également pour certains des outils de motivations et d'éducation. Ils s'appuient sur des études prospectives ou de cohortes de patients IC, avec des effectifs plus ou moins conséquents, études répondant pour la plupart aux données de la médecine factuelle (*evidence-based medicine*). La figure 4 reprend ces différents éléments.

Il est important de préciser que les objectifs ou indicateurs de ces différents projets sont plus ou moins ambitieux, allant d'une amélioration de la morbi-mortalité à une baisse des ré-hospitalisations, une amélioration de la qualité de vie et des coûts médico-économiques.

## E-care : une plateforme innovante pour détecter et signaler de manière précoce des situations à risque chez les patients insuffisants cardiaques

Le projet E-care, sélectionné dans le cadre de l'appel à projets « Santé et autonomie sur le lieu de vie grâce au numérique » des investissements d'avenir, a pour

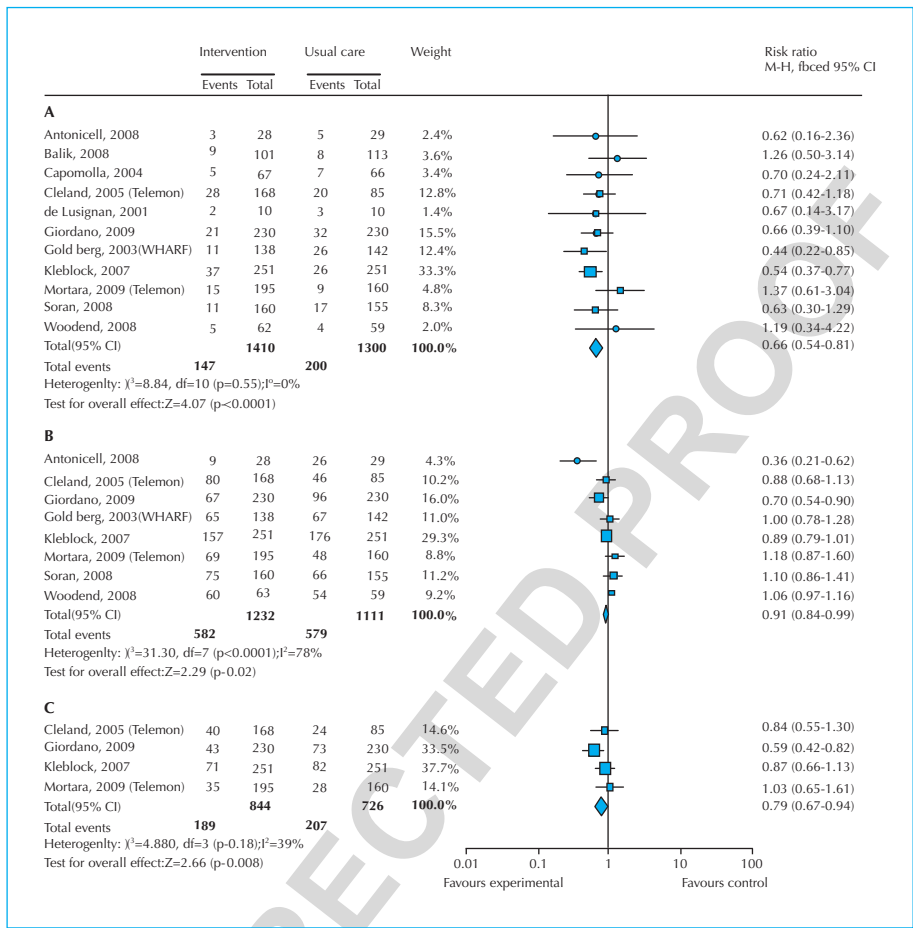


Figure 3. Méta-analyse sur l'intérêt du télé-suivi dans l'insuffisance cardiaque.

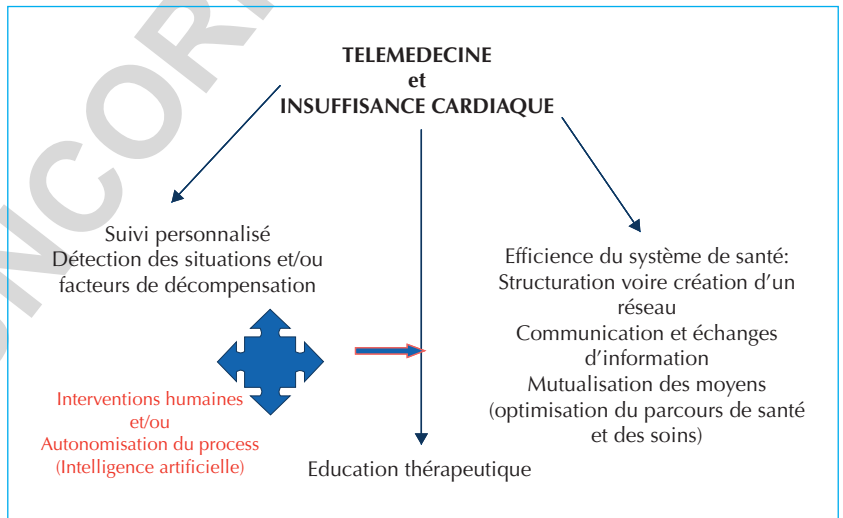


Figure 4. Impacts théoriques de la télémédecine dans l'insuffisance cardiaque.

objectif principal d'optimiser le suivi des patients, en détectant les signes précurseurs des décompensations cardiaques, par un système de télémédecine, associé à des outils de motivation et d'éducation [11]. Il devrait permettre théoriquement de diminuer le nombre de ré-hospitalisations, de réduire le nombre total de jours d'hospitalisation qui croît progressivement et systématiquement dès lors que le patient est hospitalisé, et *in fine*, d'améliorer la qualité de vie de ces patients.

La plateforme E-care permet la surveillance, notamment à domicile, à l'aide de capteurs non intrusifs, des patients atteints d'IC de stade III de la NYHA. Elle assiste le corps médical en automatisant le traitement des informations issues de ces capteurs par la génération automatique d'alertes, afin de détecter et de signaler de manière précoce les situations à risques de décompensation cardiaque (figure 5) [12]. Elle permet également le partage et la prise en charge de connaissances hétérogènes pour intégrer les informations nécessaires au suivi de toute pathologie.

La détection précoce de la décompensation cardiaque passe par l'intégration de données issues de plusieurs facteurs qui sont le signal issu de l'ECG, les sons cardiaques (PCG), le poids, la tension artérielle, la saturation en oxygène, l'ergonomie du patient ainsi que l'ajout d'un suivi diététique, en s'appuyant sur les données phénotypiques de chaque patient (médecine personnalisée). Tous ces éléments consolidés, avec le profil du patient [13], permettent

une détection des anomalies cardiaques, mais aussi de prévenir ces situations à risques de décompensation cardiaque.

La plateforme E-care (Cf. figure 5) exploite une ontologie qui sert à définir un vocabulaire contrôlé (pathologies, médicaments, symptômes, etc.) et à modéliser les concepts relatifs au suivi des IC [12, 13]. L'utilisation effective d'une ontologie à des fins de raisonnement suppose que lui soit ajoutée une sémantique opérationnelle, sémantique qui précise la façon dont les connaissances modélisées dans l'ontologie vont être utilisées pour raisonner et produire de nouvelles connaissances de manière automatique. La partie raisonnement est basée sur un moteur d'inférences dont les règles sont soit introduites par les experts médicaux soit générées par une fouille de données et ensuite validées par les experts médicaux.

Par rapport aux autres projets de télémédecine, le projet E-care développe donc une plateforme « intelligente » et communicante pour assurer une surveillance à domicile, à l'aide de capteurs non intrusifs, des patients atteints d'IC en stade III de la NYHA [12, 13]. Elle assistera de ce fait le corps médical en automatisant le traitement des informations issues de ces capteurs afin de détecter et de signaler de manière précoce les situations à risques de décompensation cardiaque.

La plateforme s'articule autour :

- d'une console, installée chez le patient, pour la collecte des signes vitaux ;

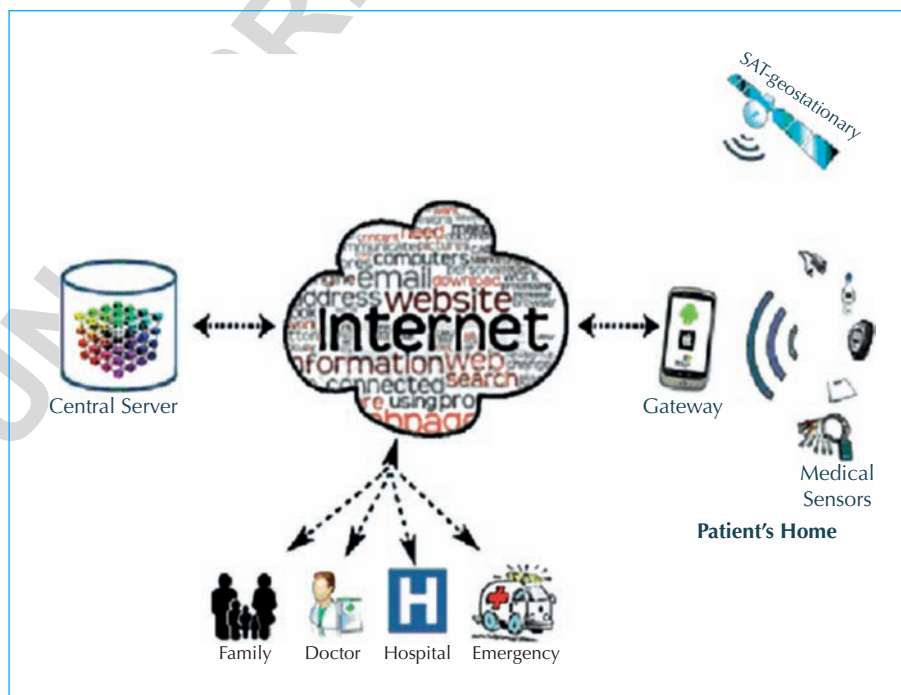


Figure 5. Architecture globale de la plateforme E-care de suivi d'insuffisants cardiaques.



- d'outils de description des signaux non stationnaires (issus des capteurs) pour l'association et la synchronisation des mesures (ECG et PCG) ;
- d'une application centrale de raisonnement et de traitement des données actimétriques physiologiques et médicales basée sur les technologies du web sémantique pour définir en collaboration avec les médecins une ontologie des sons cardiaques et des paramètres vitaux, notamment cardio-circulatoires.

La console, installée chez le patient, permettra de prendre en charge, de collecter, de fédérer et d'intégrer les données issues de différents types de capteurs médicaux non intrusifs [12, 13].

L'ensemble des fonctionnalités sera embarqué sur un dispositif mobile de type tablette PC afin de permettre une plus grande autonomie des patients.

Cette console sera composée :

- de capteurs médicaux : tensiomètre, thermomètre, pèse-personne, oxymètre de pouls ;
- d'une tablette de type tablette PC connectée à l'ensemble de ces capteurs médicaux afin de transmettre les informations.

### E-care : un prototype déployé au CHRU de Strasbourg depuis octobre 2013

L'expérimentation (Cf. figure 6) a débuté, dans une première phase au CHRU de Strasbourg en octobre 2013. Elle a permis de dresser un premier état de situation, de tester les différentes fonctions, d'améliorer l'ergonomie, de détecter les failles et de repérer les points forts avec l'intention surtout de valider les choix technologiques et médicaux.

Le système (figure 7) a été déployé dans une unité de 20 lits du service de médecine interne, diabète et maladies métaboliques de la clinique médicale B du CHRU de Strasbourg depuis 10 mois. Cette unité est « ouverte » sur les urgences et fait partie de la filière d'IC qui a été mise en place au CHRU de Strasbourg [11].

Le profil de patients inclus dans cette expérimentation est un patient âgé, et polyopathologique dans plus de 90 % des cas (IC > 60 %, anémie dans > 40 %, ACFA > 30 %, DT2 dans > 30 %, BPCO > 30 %, cancer dans 20 %, insuffisance rénale dans > 15 %, troubles des fonctions supérieures dans 15 %, AVC dans 10 %), prenant plus de 17 médicaments par jour en moyenne, avec une perte d'autonomie dans 25 % des cas.

Dans une première phase d'expérimentation (de 2 mois), nous avons validé les capteurs sélectionnés et déployés dans le cadre d'E-care à l'aide d'un protocole de mesures comparatives concernant les dispositifs hospitaliers habituels de mesure (TA, FC, SaO<sub>2</sub>, poids) et ceux du système E-care.

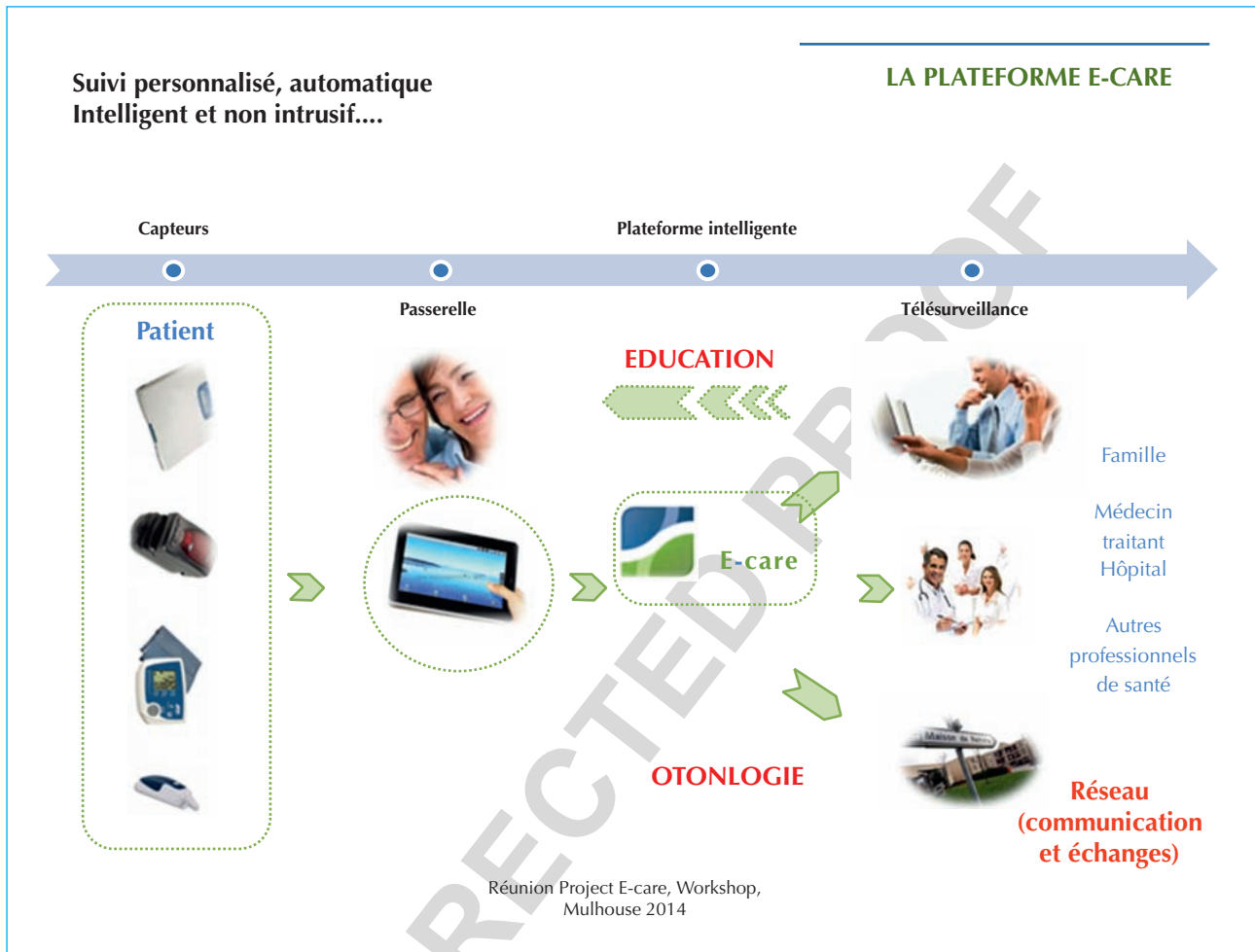


**Figure 6.** Système E-care testé par le Pr E. Andrès et le Dr S. Talha au lit du patient au CHRU de Strasbourg.

Plus de 150 mesures ont été réalisées par des étudiants hospitaliers de cinquième et sixième année de la faculté de médecine de Strasbourg en stage d'immersion à plein temps dans le service.

L'analyse rétrospective de ces différentes mesures montre une concordance entre les différents dispositifs utilisés au quotidien à l'hôpital et ceux proposés par la solution E-care (Cf. figure 8) [11]. Le système fonctionne sans défaillance et cette phase expérimentale a permis de valider les choix technologiques. Une enquête qualitative réalisée auprès des étudiants a permis d'évaluer positivement l'ergonomie du système. Une analyse préliminaire de la pertinence des alertes avec un premier moteur d'inférence n'a pas montré de dysfonctionnement.

Dans une deuxième phase, nous testons le système à partir d'indicateurs déterminés, nous vérifions la



**Figure 7.** Version 1 de la plateforme E-care déployé dans le service de médecine interne, diabète et maladies métaboliques du CHRU de Strasbourg.

pertinence des alertes qui se déclenchent, afin d'évaluer les améliorations pour une meilleure prise en charge des patients. L'objectif est de détecter précocement les situations à risque de décompensation cardiaque avant qu'elles ne se dégradent vers une IC aiguë.

La seconde phase d'expérimentation est actuellement en cours dans le service depuis février 2014. À ce jour, plus de 130 patients ont été inclus et plus de 1 000 mesures ont été réalisées. Les infirmières utilisent au quotidien les dispositifs de mesures E-care lorsqu'elles effectuent leur tournée auprès des patients.

Cette phase s'appuie notamment sur la mise en place d'une nouvelle interface homme-machine ainsi qu'un nouveau moteur d'inférence. Cette phase comporte une enquête de satisfaction et de pratique sur l'ergonomie du système auprès des soignants et des patients. La collecte en continu réalisé lors de cette deuxième phase nous a per-

mis d'obtenir le nombre critique de patients pour analyser plus finement la pertinence des alertes.

Les résultats préliminaires suite au déploiement du système E-care en milieu hospitalier semblent montrer la pertinence des choix technologiques, des outils et des solutions développées et adoptées [11]. Ce système de télémédecine permet de façon automatique, non intrusive, de générer des alertes en rapport avec la détection de situations à risque de décompensation cardiaque, étant *in fine* susceptible de prévenir le recours à l'hospitalisation.

Une fois le système consolidé, la troisième phase consistera au déploiement d'E-care auprès de patients à domicile, mais également en moyen séjour, en suite de soins, en soins de longue durée et en maison de retraite. Cette phase devrait durer de six à douze mois avant la mise sur le marché de la solution. Cette dernière phase nous

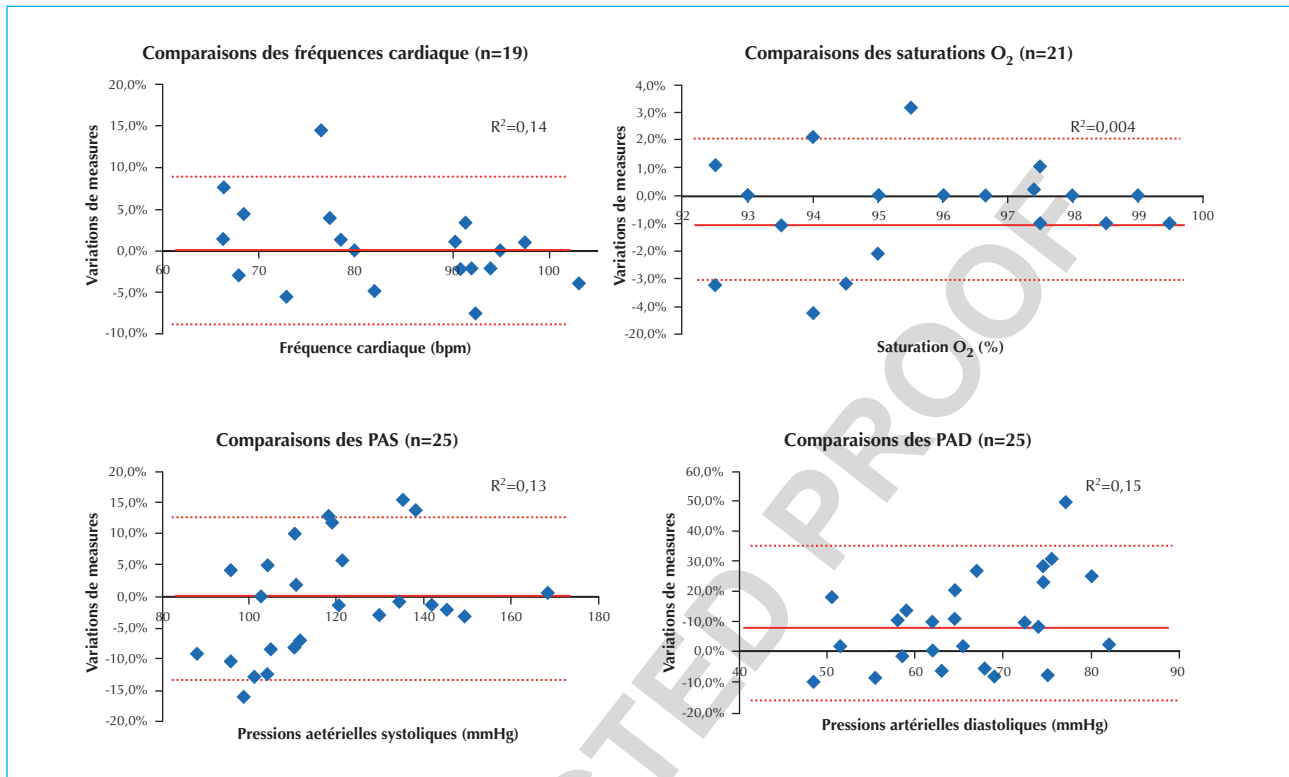


Figure 8. Comparaison des mesures réalisées par les capteurs de la plateforme E-care avec les capteurs usuels utilisés au CHRU de Strasbourg.

permettra de mener une étude approfondie afin de travailler, notamment, sur l'amélioration du diagnostic médical, en favorisant l'auto-apprentissage du système, et, par conséquent, sur la détection de toute anomalie de manière encore plus précoce [12, 13].

Les évolutions attendues de cette plateforme pour apporter une solution cohérente dans le domaine de la télésurveillance médicale concernent la prise en compte de différentes pathologies et la limitation des équipements. E-care est une plateforme ouverte et évolutive pour permettre le partage et la prise en charge de connaissances hétérogènes relatives à différentes pathologies (figure 9).

Dans ce cadre, les ontologies sont particulièrement adaptées pour la compréhension, le partage et l'intégration des informations [13-16]. Cependant, différentes problématiques restent encore ouvertes, d'autres apparaissent : méthode de conception des ontologies, représentation et raisonnement sur les ontologies, génération automatique d'ontologies, évolution et alignement d'ontologies, représentation et persistance des données à base ontologique, systèmes d'intégration à base ontologique, conception de bases de données accessibles à partir d'ontologies, intégration du flou dans les ontologies... [16].

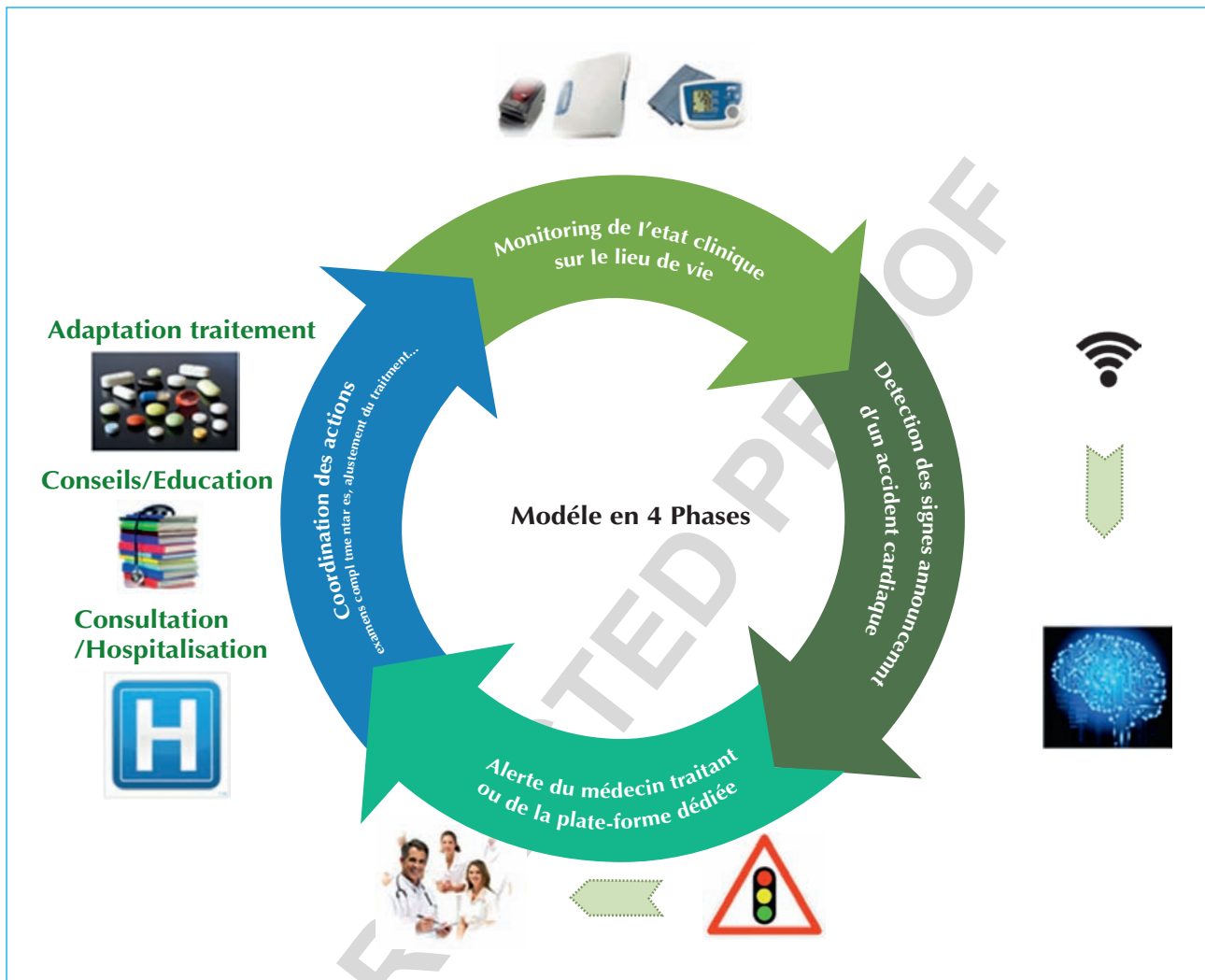
Au-delà des problématiques posées par l'hétérogénéité des données disponibles, l'enchaînement des traitements algorithmiques capables d'exploiter ces données représente un défi scientifique et technique.

Dans le futur, la plateforme E-care devrait s'enrichir progressivement d'autres capteurs communicants comme l'ECG, le stéthoscope électronique... qui intégrerons les outils de traitement de signal permettant d'affiner la détection de situations à risque [14, 15]. D'autres capteurs communicants pourront également être envisagés, comme par exemple un spiromètre électronique, afin de compléter la plateforme E-care et d'étendre son intérêt à d'autres pathologies chroniques comme les BPCO, l'insuffisance rénale chronique...

### E-care : un partenariat scientifique et économique

Nos travaux autour de l'e-santé ont commencé il y a plus de 10 ans et ont porté sur différents projets nationaux et internationaux tels que : la conception d'un stéthoscope communicant (projets STETAU de la DGE et PRI du





**Figure 9.** Concepts fondateurs de la plateforme E-care permettant un suivi optimisé, personnalisé, intelligent, automatisé et non intrusif des insuffisants cardiaques.

CHRU de Strasbourg) [17], la détection automatique de marqueurs dans les sons auscultatoires [18], l'école mondiale de l'auscultation (*e-Learning*) (projet ASAP de l'ANR Technologie) [19], la gestion optimisée en temps-réel des ressources et des interventions d'urgentistes (projets MERCURE d'Alcatel Lucent), la localisation indoor pour la protection et la sécurité des patients, la télésurveillance et l'accompagnement social d'enfants en chambres stériles

ou encore le dossier médical embarqué (projets MERCURE d'Alcatel Lucent).

**Liens d'intérêts :** Q3

Ces travaux ont été réalisés par des partenaires publiques et privés : le CHRU de Strasbourg ; l'université de Strasbourg à travers la faculté de médecine ; l'université de technologie de Belfort-Montbéliard (UTBM) à travers le laboratoire IRTES-SeT ; l'université Haute-Alsace de Mulhouse (UHA) à travers le laboratoire MIPS ;



**Figure 10.** Partenaires du projet E-care : CHRU de Strasbourg ; UTBM à travers le laboratoire IRTES-SeT ; UHA à travers le Laboratoire MIPS ; Newel (porteur du projet) ; CenTich MFAM.

le SAMU ; SOS Médecins ; Alcatel Lucent ; Newel ; la mutualité française ; le centre d'expertise des TIC pour l'autonomie (CenTich) porté par la mutualité française Anjou-Mayenne (MFAM) – Angers...

Les différents partenaires du projet E-care sont listés dans la figure 10.

## Références

- Jessup M, Brozena S. Heart failure. *N Engl J Med* 2003 ; 348 : 2007-18.
- <http://www.invs.sante.fr/Dossiers-thematiques/Maladies-chroniques-et-traumatismes/Maladies-cardio-vasculaires/L-insuffisance-cardiaque>, 2014.
- [http://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/2012-04/guide\\_parours\\_de\\_soins\\_ic\\_web.pdf](http://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/2012-04/guide_parours_de_soins_ic_web.pdf), 2014.
- Martínez-González NA, Berchtold P, Ullman K, Busato A, Egger M. Integrated care programmes for adults with chronic conditions: a meta-review. *Int J Qual Health Care* 2014. pii : mzu071. [Epub ahead of print].
- Willemse E, Adriaenssens J, Dilles T, Remmen R. Do telemonitoring projects of heart failure fit the Chronic Care Model? *Int J Integr Care* 2014 ; 14 : e023.
- Anker SD, Koehler F, Abraham WT. Telemedicine and remote management of patients with heart failure. *Lancet* 2011 ; 378 : 731-9.
- <http://www.telesante-basse-normandie.fr/l-enrs-et-les-projets/scad1642,1346.html>, 2014.
- <https://www.pimps.fr/>, 2014.
- <https://www.osicat.fr/>, 2014.
- <http://www.groupe.reunica.com/files/live/sites/reucorp/files/VousInformez/EspacePresse/Dossiers/DossierdepresseReunicaDomicileDispositifdetelemedecineadomicilepourinsuffisancecardiaquechronique.pdf>, 2014.
- Talha S, Andrès E. Place de la télémédecine et projet e-Care. *Workshop e-Care : « Ingénierie des connaissances et traitement du signal pour la télémédecine »*. Mulhouse : Université de Haute-Alsace, 2014.
- <http://www.projet-e-care.fr/>, 2014.
- Ahmed Benyahia A, Hajjam A, Talha S, Hajjam M, Andrès E, Hilaire V. E-care: evolution ontologique et amélioration des connaissances pour le suivi des insuffisants cardiaques. *Med Ther* 2014 ; 20 : 79-86.
- Ahmed Benyahia A, Moukadem A, Dieterlen A, Hajjam A, Talha S, Andrès E. Adding ontologies based on PCG analysis in E-care project. *Int J Eng Innov Technol* 2013 ; 5 : 2277-3754.
- Ahmed Benyahia A, Hajjam A, Andrès E, Hajjam M, Hilaire V. Including other system in E-Care telemonitoring platform. *Stud Health Technol Inform* 2013 ; 190 : 115-7.
- Elasri H, Sekkaki A, Hajjam A, Benmimoune L, Talha S, Andrès E. Ontologies et intégration des connaissances pour un suivi polypathologique. *Med Ther* 2014 ; 20 : 67-78.
- Reichert S, Gass R, Hajjam A, Brandt C, Nguyen E, Baldassari K, Andrès E. The ASAP project: a first step to an auscultation's school creation. *Respir Med* 2009 ; 2 : 7-14.
- Andrès E, Hajjam A. Advances and innovations in the field of auscultation. *Health Technol* 2012 ; 2 : 5-16.
- Andrès E, Reichert S, Gass R, Brandt C. A French national research project to the creation of an auscultation's school: the ASAP project. *Eur J Intern Med* 2009 ; 20 : 323-7.

## Questions à l'auteur

- Q1 Merci de nous transmettre le prénom de l'auteur A. Ahmed Benyahia au long.
- Q2 Veuillez compléter les affiliations 1-7 en nous transmettant le code postal.
- Q3 à compléter par l'auteur

UNCORRECTED PROOF