La santé numérique, un bouleversement en cours

Sami SOUIHI(1), Thiago ABREU(2)

(1) Maître de conférences, HDR en informatique à l'Université Paris-Est Créteil, chercheur invité au CEA LIST – Université Paris-Saclay

(2) Maître de conférences à l'École d'Ingénieurs EPISEN de l'Université Paris-Est Créteil (UPEC), au sein du Laboratoire d'Images, de Signaux et de Systèmes Intelligents (LISSI)

1 Introduction

L'introduction du numérique en santé marque une révolution profonde dans l'écosystème de la santé, touchant directement les patients, les professionnels de santé et les structures médicales. À travers l'intégration de technologies innovantes, comme l'intelligence artificielle, les applications connectées, la télémédecine et les dossiers médicaux électroniques, ce changement dépasse la simple amélioration des processus : il redéfinit les interactions, les pratiques et les attentes de tous les acteurs concernés.

Pour les patients, le numérique promet un accès simplifié et équitable aux soins. Les solutions de santé connectée permettent un suivi personnalisé, une meilleure gestion des pathologies chroniques, et un rôle plus actif dans la prise de décision médicale, grâce à des informations accessibles en temps réel. Par ailleurs, l'interopérabilité des systèmes garantit un partage fluide des données entre les prestataires, assurant ainsi une prise en charge plus cohérente et centrée sur le patient.

Du côté des professionnels de santé, le numérique allège les contraintes administratives, optimise le temps dédié aux soins et renforce la précision diagnostique grâce à des outils basés sur les données et l'intelligence artificielle. Les solutions de téléconsultation et de collaboration interdisciplinaire ouvrent également de nouvelles possibilités pour étendre l'accès à des soins spécialisés, particulièrement dans les zones sous-médicalisées.

Enfin, pour les structures de santé, l'automatisation et l'analyse des données offrent des opportunités sans précédent pour optimiser la gestion des ressources, améliorer la sécurité des patients et développer des approches préventives. Les hôpitaux et cliniques peuvent désormais s'appuyer sur des infrastructures numériques pour prévoir

les besoins, détecter les inefficacités, et assurer une continuité des soins même en cas de crise.

Ainsi, le numérique en santé est bien plus qu'un simple outil : il est le catalyseur d'un écosystème de santé plus efficace, plus humain, et plus inclusif, où chaque acteur bénéficie d'une valeur ajoutée. Les défis restent nombreux, mais les opportunités sont immenses pour redéfinir durablement les standards de la santé moderne.

Au cours des dernières années, nous avons assisté à une prolifération rapide de l'Internet des Objets (IdO) (en anglais Internet of Things – IoT) qui touche de nombreux domaines. Ceci est principalement dû à la diminution des prix qui rend ainsi les équipements connectés très abordables (Sarhan, 2018. Hossain, Kayas, Hasan, Skjellum, Noor, Islam, 2024). Parmi les domaines impactés par l'IdO, nous pouvons, par exemple, citer l'usage dans le domaine militaire, les villes intelligentes, l'industrie 4.0, la santé connectée (Sarhan, 2018. Islam, Kwak, Kabir, Hossain, Kwak, 2015).

Dans le cas spécifique de la santé connectée (aussi connue comme « e-santé »), l'objectif principal demeure l'amélioration de la qualité de certaines expériences humaines, voire de la qualité de vie. Plusieurs services sont proposés dans le domaine. Par exemple, les réseaux des dispositifs habillables, les études cliniques à l'aide des capteurs, la télémédecine, la télésanté à distance à domicile, etc.[1]

Dans le contexte de ce travail, les applications liées au domaine de la télémédecine seront abordées plus en profondeur, et plusieurs analyses communes au domaine de l'e-santé seront présentées. Considérons la télémédecine comme l'utilisation des technologies des télécommunications pour la pratique des actes médicaux, disposition des informations et des services médicaux (Perednia, Allen, 1995 ; Anawade, Sharma, Gahane, Anawade, Sharma,2024). La fiabilité des communications est ici un facteur critique, notamment en raison des contraintes temporelles de certains services : transmission de vidéos en direct, enregistrements des ECG, ou partage des données d'imagerie médicale volumineuses (Amour, Boulabiar, Souihi, Mellouk, 2018. De la Torre Díez, Alonso, Hamrioui, López-Coronado, Cruz, 2018).

En effet, les conséquences de la santé connectée sont nombreuses. Par exemple, cela peut aider les médecins aux diagnostics des maladies ainsi que l'augmentation de la couverture médicale des zones en manque de ressources humaines et matérielles (Ahmadi, Arji, Shahmoradi, Safdari, Nilashi, Alizadeh, 2018). Ces avancements technologiques deviendront forcément fondamentaux pour assurer la qualité de vie dans le monde dans l'avenir, étant donné le vieillissement accentué de la population, comme montré dans le travail de (Kontis, Bennet, Mathers, Li, Foreman, Ezzatu, 2017) sur l'allongement de vie dans 25 pays développés en 2030 par rapport au début du siècle, comme au Japon, en France ou aux États-Unis. Naturellement, une population plus âgée demandera plus de soins et d'outils d'accompagnement.

Une conséquence naturelle est que de nouvelles frontières commerciales s'ouvrent pour répondre à ces nouveaux besoins. De plus, il y a une demande accrue de nouveaux

[1] Pour une étude détaillée des services créés ou impactés par le développement de la santé connectée, le travail de (Islam, Kwak, Kabir, Hossain, Kwak, 2015. Anawade, Sharma, Gahane, Anawade Sharma, 2024) est à consulter.

Published in : POURCHEZ, Laurence ; LUSTMAN, Matthieu ; HUMBLOT, Jean-François (dir.), *Regards croisés sur les relations soignants-soignés*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813004017, doi : 10.17184/eac.9782813004017

professionnels dans le domaine des services liés à la médecine à distance (télémédecine), comme la téléconsultation ou la téléexpertise. Pour comprendre les technologies associées à ces nouvelles pratiques et comment des cas concrets sont mis en œuvre, les sections suivantes examineront différents domaines de la santé numérique, en mettant l'accent sur la télémédecine. Elles évalueront les besoins des technologies, les opportunités économiques et les impacts sociaux du domaine.

La section 2 aborde la problématique de la qualité de service et de la qualité d'expérience dans la télémédecine. Cela a pour objectif de discuter préalablement les nécessités de performance des réseaux informatiques dans le contexte de la santé connectée. La section 3 discutera par la suite les technologies utilisées dans les réseaux des capteurs, ces derniers étant aujourd'hui fondamentaux pour le développement de l'e-santé. La section 4 aborde deux cas d'usage de l'e-santé. La section 5 décrit en détail deux expériences dans le cadre de la télémédecine, qui ont eu lieu récemment, ainsi que leurs enjeux sociaux et économiques. La section 6 conclut notre travail.

2 La Qualité de Service et la Qualité d'Expérience dans la télémédecine

Pour garantir la performance des services de télémédecine, les réseaux sous-jacents doivent satisfaire des critères de Qualité de Service (QdS) rigoureux : bande passante minimale, latence réduite, gigue limitée, et faible taux de perte de paquets (Amour, Boulabiar, Souihi, Mellouk, 2018). Ces critères sont particulièrement critiques dans les applications temps-réel, telles que la téléchirurgie ou les téléconsultations par vidéoconférence.

En parallèle, la Qualité d'Expérience (QdE) s'intéresse à la perception subjective de l'utilisateur final. Dans le contexte de l'e-santé, cela inclut la fluidité des appels vidéo, la précision des données biomédicales reçues et la capacité du système à maintenir un lien de confiance entre les patients et les médecins (Cavaro-Ménard, Lu, Le Callet, 2013).

Dans le domaine spécifique de la télémédecine, plusieurs travaux estiment la QdS et QoE nécessaires en fonction du service désiré. Les auteurs de l'étude (De la Torre Díez, Alonso, Hamrioui, López-Coronado, Cruz 2018) examinent l'utilisation de ces métriques dans le domaine en analysant et en détaillant des travaux de grande envergure disponibles sur des bases de données telles qu'IEEE Xplore ou Google Scholar. Une conclusion importante est que les systèmes de télémédecine doivent s'appuyer sur différentes technologies de réseau pour assurer la QdS et QdE souhaitées. Dans ce sens, l'utilisation de ces systèmes pose encore des défis majeurs dans des zones rurales à faible couverture ou dans les pays sous-développés où l'infrastructure est en voie de construction (Ahmed, Sandhya, Shankar, 2019).

Un système de santé connecté doit être assez robuste pour remonter des fautes dans le réseau, de façon à assurer la perpétuité d'un service quelconque. En effet, les auteurs (Agirre, Parra, Armentia, Ghoneim, Estévez, Marcos, 2016) proposent un cadre pour accroître la fiabilité des systèmes en cas d'interruptions causées par des urgences (comme un incendie). Les informations vitales des possibles patients sont donc prio-

Published in : POURCHEZ, Laurence ; LUSTMAN, Matthieu ; HUMBLOT, Jean-François (dir.), *Regards croisés sur les relations soignants-soignés*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813004017, doi : 10.17184/eac.9782813004017

risées au service de secours pour une meilleure intervention, tout en respectant des contraintes de vie privée.

Pour des applications très dépendantes du temps, l'estimation de la QdS est fondamentale. Par exemple, dans le cas de la téléchirurgie, le flux vidéo doit être constant avec un débit minimal assuré, comme démontré dans (Mukhopadhyay, 2017). Pour cela, plusieurs pistes peuvent être investiguées, passant par l'amélioration des protocoles de communication existants, comme l'IEEE 802.16^{e}, qui intègre des caractéristiques de la QdS dans les paquets de communication, comme débit minimal, délai maximal, priorité de trafic, etc. (IEEE 802, 2005). D'autres travaux proposent la coexistence de plusieurs technologies de façon à assurer de meilleures performances des réseaux (Zhao, Niu, Song, Du, 2025. Dharneesh, Suresh, 2024). Il a enfin été démontré qu'il est possible de gérer dynamiquement des architectures réseau hybrides, combinant Wi-Fi, LTE/5G et même des satellites du type terminal à très petite ouverture (VSAT) dans les zones isolées, *via* des algorithmes de sélection d'interfaces pour maximiser la QdS/QdE.

En ce qui concerne la QdE, plusieurs travaux avancent des analyses dans le domaine de la santé connectée et de la télémédecine. Par exemple, les auteurs (Varga, Piri, Bokor, 2015) présentent une architecture de sélection des points d'accès Wi-Fi dans un réseau pour assurer un accès réseau omniprésent dans le cadre de l'Internet des objets. Des techniques telles que le Q-learning ou les réseaux neuronaux convolutifs permettent d'anticiper les dégradations de performance et de réallouer intelligemment les ressources réseau (Souihi, Mellouk, Amar, 2020).

Les auteurs de (Edoh, T Pawar, Kora, 2018) utilisent des métriques de QdE pour prédire la satisfaction des utilisateurs des services de télémédecine dans des hôpitaux de l'Afrique Sub-Saharienne. En fonction des résultats, l'estimation de la QdS est par la suite proposée. Par ailleurs, des plateformes de santé connectée adaptative proposent désormais des mécanismes de priorisation des flux, où les données vitales sont transmises en priorité absolue, notamment en situation de crise (MedTech Dive, 2023).

3 Les réseaux des capteurs sans fils dans la santé

Les réseaux de capteurs sans fil (RCSF) jouent un rôle fondamental dans l'écosystème de la santé connectée. Les RCSF sont des réseaux composés de capteurs qui se différencient les uns des autres de par leurs tailles, leurs fonctionnalités, leurs consommations d'énergie et leurs interfaces de communication, mais qui peuvent néanmoins collaborer les uns avec les autres afin d'effectuer une tâche précise ; par exemple, récupérer des informations physiologiques d'un patient (Raja Basha, 2022). Dans le contexte de la santé connectée, ils permettent la collecte en continu de paramètres physiologiques (fréquence cardiaque, saturation en oxygène, température corporelle, etc.) et environnementaux (qualité de l'air, humidité, luminosité), avec un impact direct sur la qualité du diagnostic et du suivi thérapeutique (Yuvaraja, Ramesh, Priya, Dhanasekar, 2024).

Published in : POURCHEZ, Laurence ; LUSTMAN, Matthieu ; HUMBLOT, Jean-François (dir.), *Regards croisés sur les relations soignants-soignés*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813004017, doi : 10.17184/eac.9782813004017

Certaines études ont démontré les applications des RCSF dans le domaine de la santé. (Ibrahim, Chaccour, Hassani, Hajjam, Andres, 2024). Par exemple, on utilise un tel réseau sous des lits connectés pour détecter des troubles du sommeil et les chutes de patients âgés. D'autres travaux démontrent qu'il est possible, en se basant sur un RCSF qui évalue les conditions météorologiques, la pollution de l'air et les conditions de santé du patient et en analysant ses données de masse (BigData) avec des outils d'analyse et d'inférence, d'anticiper les épisodes d'asthme au sein d'une population test, et ceci avant l'apparition des premiers symptômes (Liang, Yogarayan, Razak, Ismail, Azman, Raman, 2024, December). Les résultats démontrent que de tels épisodes pourraient être mieux gérés par les hôpitaux et les établissements de soins. En effet, ils pourraient alerter les patients sur les risques tout au long de la journée et renforcer ainsi les comportements préventifs.

Une caractéristique attendue des RCSF avec l'arrivée de la technologie 5G est la communication dite *machine-to-machine* (M2M) où des capteurs communiquent directement entre eux sans passer par un point d'accès ou routeur spécifique (Cao, Jiang, and Han, 2016). Ce genre de communication permet que des capteurs et d'autres dispositifs disposant de plusieurs technologies de communication (telle que Bluetooth, Wi-Fi, 5G, LTE, etc.) puissent en choisir une en fonction des analyses de QdS et QdE. Le travail de Mohindru, Vashishth et Bathija (2022) discute, par exemple, le cadre spécifique de M2M dans le contexte de la santé connectée, en explicitant des contraintes de QdE et QdS nécessaires pour différents types de service.

Dans une approche similaire, depuis quelques années, les solutions basées sur de *Software Defined Radio* (SDR) présentent des perspectives intéressantes (Yang, Li, Jin, Zeng, Wu, Vasilakos, 2015). L'approche de SDR consiste dans l'utilisation des techniques du *Software Defined Networking* (SDN) dans la sélection de l'interface radio. Le SDN représente une architecture réseau où le plan de transfert des routeurs est découplé de leur plan de contrôle (Sarkar, Ramasamy, Majumder, Pati, Panigrahi, Wang, Nawab, Chunhua, Dev, 2022). Cela implique donc que les décisions de routage dans les réseaux ne sont plus prises au niveau local des machines, mais qu'elles sont prises dans un contrôleur logiquement centralisé qui a une vue globale du réseau à gérer. Pour plus d'informations sur les réseaux SDN et leur état courant, le travail de Bannour, Souihi et Mellouk (2018) présente des analyses approfondies et Kafetzis Vassilaras, Vardoulias et Koutsopoulos (2022) développent des applications mélangeant SDN et SDR.

Des travaux récents exploitent l'intelligence artificielle distribuée pour optimiser la sélection d'interfaces radio et la gestion énergétique dans des contextes hospitaliers ou de suivi à domicile (Lyu, Taneja, Rani, Feng, 2024). Cela est particulièrement important dans les dispositifs portables alimentés par batterie, où la durée de vie opérationnelle est un facteur limitant majeur. Les auteurs (Bozorgchami, Sodagari,2017) discutent par ailleurs de la manière de choisir les interfaces à l'intérieur des environnements hospitalisés, en prenant en compte des réglementations économiques et médicales associées à ces cas d'étude. Dans ce sens, les architectures légères comme 6LoWPAN continuent d'être utilisées dans les environnements contraints en ressources, couplées

Published in : POURCHEZ, Laurence ; LUSTMAN, Matthieu ; HUMBLOT, Jean-François (dir.), *Regards croisés sur les relations soignants-soignés*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813004017, doi : 10.17184/eac.9782813004017

à des protocoles à faible consommation d'énergie (Veenadhari, Kandasamy, 2024. Thungon, Ahmed, De, Hussain, 2024).

Bien que l'utilisation de l'IdO pour la collecte de données puisse représenter un facteur clé pour aider les hôpitaux et les employés à améliorer leurs efficacités et donc le bien-être des patients, il est important de s'assurer que ces dispositifs ne causent pas d'effets non escomptés. Par exemple, les auteurs (Gope, Hwang, 2016) évaluent les réseaux de capteurs corporels (*BSN*) et leurs émissions électromagnétiques, afin d'estimer leur sécurité en ce qui concerne le bien-être du patient et les pratiques médicales correctes. Leurs résultats montrent que la connexion d'un BSN pour évaluer la fréquence cardiaque d'un individu n'a aucun impact sur sa sécurité ni sur le traitement qu'il pourrait suivre. En outre, les travaux de (Chithaluru, Kumar, Narsimhulu, 2025. Sghaier, Mellouk, Augustin, Amirat, Marty, Khoussa, Abid, Zitouni, 2011) montrent comment les hôpitaux peuvent utiliser RCSF pour le monitoring des patients afin d'aider les unités de soins à intervenir rapidement dans toute situation de détresse. Les auteurs (Sghaier, Mellouk, Augustin, Amirat, Marty, Khoussa, Abid, Zitouni, 2011) déploient leur réseau dans un hôpital et les résultats sont validés par la même institution, sans considérations particulières des menaces sur la sécurité des patients induites par l'usage de ces appareils.

4 Cas d'usage de la santé connectée

4.1 Santé à domicile

En ce qui concerne le traitement et le suivi des patients à domicile, plusieurs travaux abordent l'assistance à l'autonomie à domicile (AAD), un domaine clé du développement de la santé connectée. Elle vise à maintenir les personnes âgées ou en situation de handicap à leur domicile dans les meilleures conditions possibles, grâce à une surveillance intelligente (Yadav, Pradeepa, Srinivasan, Rajora, Rajalakshmi, 2024). On peut notamment citer l'utilisation des dispositifs médicaux connectés et des IdC en général pour la surveillance des aînés, ce qui améliore significativement leur qualité de vie (Calvaresi, Cesarini, Sernani, Marinoni, Dragoni, Sturm, 2017). L'AAD peut être implémentée de trois façons différentes chez les personnes concernées. Premièrement, les dispositifs portables peuvent détecter des situations d'urgence, telles que des chutes. Deuxièmement, des capteurs déployés dans la maison peuvent anticiper des situations dangereuses avant qu'un accident ne se produise. Troisièmement, un système peut intégrer les dispositifs portables avec les capteurs pour, d'un côté, surveiller le patient et d'un autre côté, obtenir des informations de son environnement pour déduire tous les risques et les situations de détresse possibles.

On voit que l'implémentation des solutions de santé à domicile implique l'utilisation d'une vaste gamme des capteurs (Bennett, Rokas, Chen, 2017). D'un côté, on a les capteurs d'environnement, tels que ceux de qualité d'air, humidité, température, luminosité, parmi d'autres. Leur utilisation possède plusieurs applications. Par exemple, en utilisant des capteurs infrarouges pour déterminer le taux de luminosité dans les pièces d'une maison et la position de son occupant, l'intensité des lampes pourrait être ajustée pour optimiser la vision d'un habitant âgé avec des troubles de vue, de manière à éviter des obstacles et de possibles chutes. D'un autre côté, il y a

Published in : POURCHEZ, Laurence ; LUSTMAN, Matthieu ; HUMBLOT, Jean-François (dir.), *Regards croisés sur les relations soignants-soignés*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813004017, doi : 10.17184/eac.9782813004017

les capteurs personnels, qui peuvent être portés, comme ceux collectant la fréquence cardiaque, la température corporelle, la saturation d'oxygène et encore d'autres données. Plus récemment, on voit le développement des bracelets connectés, comme ceux fabriqués par Garmin ou FitBit, dont les données sont facilement accessibles *via* un smartphone et qui peuvent être stockées dans des bases des données. Par ailleurs, ces données peuvent être considérées assez fiables pour les applications médicales, ce qui représente un outil valide supplémentaire dans le suivi des patients (Diaz, Krupka, Chang, Peacock, Ma, Goldsmith, Schwartz, Davidson, 2015).

Comme exemple concret, le travail de (Coelho, Coelho, Wolf, 2015) définit une architecture pour la surveillance des patients handicapés, qui alerte les équipes de soins dès que des événements potentiellement dangereux sont identifiés, comme perte de connaissance à la suite d'un accident ou des incendies. Par ailleurs, la surveillance est périodique, de façon que les informations sont remontées aux équipes même dans les cas où rien de dangereux ne se produit. Cela permet de garder une trace de l'état de santé du patient pour une évaluation à distance. Dans ce sens, le travail de (Mainetti, Manco, Patrono, Secco, Sergi, Vergallo, 2016) montre une architecture de collecte continue des données environnementales et physiologiques, qui sont envoyées et stockées dans une base de données sécurisée pour l'accès en temps réel par les équipes de soins.

En ce qui concerne la santé à domicile, les nouvelles technologies permettent par ailleurs que les patients prennent en charge leurs soins. Par exemple, l'application Diabeo, disponible pour des smartphones, permet à un patient de savoir quel est son taux de glycémie en temps réel (Sanofi. Diabeo). Cela est possible parce qu'un patch accompagne l'achat du logiciel, permettant de collecter les données physiologiques en direct. L'application calcule la quantité d'insuline qui doit être administrée par les patients, cette application étant validée par les agences européennes de santé pour le cas de diabètes de type 1 (Charpentier, Benhamou, Dardari, Clergeot, Franc, Schaepelynck-Belicar, Catargi, Melki, Chaillous, Farret, Bosson, Penfornis, 2011).

Une conséquence importante du développement des solutions de santé à domicile est l'augmentation des dépenses publiques et celles des assurances maladie privées dans le domaine. Selon un rapport publié par Price WaterHouse Coopers (Cole, 2015), les dépenses globales dans les technologies et services associés à la santé à domicile seraient d'ordre de 61 milliards de dollars dans le monde dans l'année 2020, dont 14 milliards pour le développement et l'achat des dispositifs médicaux et 45 milliards pour la maintenance des services. Cela montre le potentiel économique de cette approche.

4.2 Gestion dans les hôpitaux

Aujourd'hui, le partage des informations concernant un patient et les différents établissements de soin qu'il fréquente n'est pas trivial : paperasse, autorisations écrites, demandes par voie postale, etc. (Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés (CNIL), 2018). Le temps consommé et les frais associés aux reproductions des documents et leurs envois a un impact dans le suivi des patients. Pour cela, depuis quelques années, on voit l'apparition du Dossier Médical Partagé (DMP), un projet

Published in : POURCHEZ, Laurence ; LUSTMAN, Matthieu ; HUMBLOT, Jean-François (dir.), *Regards croisés sur les relations soignants-soignés*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813004017, doi : 10.17184/eac.9782813004017

qui vise à rendre les informations médicales des patients disponibles aux patients et à leurs médecins en Europe (Igwama, Olaboye, Maha, Ajegbile, Abdul, 2024).

Le DMP consiste dans le carnet de santé numérique de chaque patient. Ce carnet est enregistré dans une base de données sécurisée et il n'est accessible que par le patient et ses médecins. La sécurisation des informations peut utiliser des protocoles de chiffrement, mais, plus récemment, des avancements dans la sécurisation des communications *via* Blockchain se montrent les plus adaptés (Sahu, Tiwari, Chawla, 2024). Les Blockchains consistent dans une technologie où chaque information doit être validée par différents membres d'un réseau pour qu'elle soit acceptée comme vraie. Cela veut dire qu'une nouvelle information ajoutée ne peut jamais être modifiée lors de son acheminement et seulement ceux qui ont l'autorisation peuvent lire les données, qui sont non lisibles par un humain du fait même de la construction d'une Blockchain.

Les dossiers médicaux partagés (DMP) pourraient permettre l'analyse des données recueillies auprès des patients pour prédire l'apparition de complications post-chirurgicales, de maladies ou d'interactions médicamenteuses, afin de soutenir les décisions cliniques (Miotto, Li, Kidd, Dudley, 2016. Ren, Loftus, Datta, Ruppert, Guan, Miao, Bihorac, 2022. Hu, Li, Li, Zou, Xu, He, 2024). La prédiction de telles situations est possible si on l'associe à des algorithmes d'apprentissage automatique et d'intelligence artificielle en Big Data (Dimitris, Menychtas, Tsanakas, Maglogiannis, 2018. Fawcett, 2015). Par exemple, les auteurs (Miotto, Li, Kidd, Dudley, 2016) montrent qu'en utilisant l'apprentissage non supervisé avec des réseaux neuronaux, plusieurs maladies peuvent être identifiées avant l'apparition des symptômes, comme le diabète de type 2 ou le cancer du rectum. L'objectif principal de ces techniques n'est pas de remplacer l'expertise médicale de professionnels de santé, mais de les aider à évaluer la condition d'un patient, en réduisant le temps nécessaire pour diagnostiquer ce patient.

Cependant, l'adoption de ces technologies implique de respecter des normes strictes en matière de confidentialité et d'interopérabilité. Le standard HL7 FHIR, largement utilisé depuis 2020, facilite l'échange de données entre systèmes hétérogènes tout en respectant les exigences du RGPD (HL7 International, 2020).

Les enjeux sont à la fois technologiques, humains et organisationnels : il s'agit d'intégrer des outils puissants sans perturber le lien thérapeutique ou déshumaniser la relation de soin. L'enjeu n'est donc pas simplement technique, mais profondément éthique.

Published in : POURCHEZ, Laurence ; LUSTMAN, Matthieu ; HUMBLOT, Jean-François (dir.), *Regards croisés sur les relations soignants-soignés*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813004017, doi : 10.17184/eac.9782813004017

5 Cas pratique : Téléconsultation et Téléexpertise

Plusieurs cas concrets sont appliqués aujourd'hui en ce qui concerne l'e-santé. Dans cette section, on abordera de façon détaillée un cas relevant de la téléconsultation et un autre de la téléexpertise, pour montrer les possibilités de suivi, traitement et marché que ces nouvelles technologies apportent.

5.1 Téléexpertise

Dans le contexte de la téléexpertise, l'équipe de recherche CIR (Contrôle Intelligent et Réseaux) du Laboratoire a développé une plateforme de télémédecine qui permet les vidéoconférences et le partage des données médicales et qui assure la sécurité des données. Cette plateforme a été utilisée dans un projet reliant la Clinique Turin à Paris, France, et l'Hôpital de Casablanca au Maroc, a permis que les médecins français partagent leurs expertises dans le domaine cardiologique avec leurs pairs marocains, si jamais un cas complexe se présentait.

Le cas concret consistait en deux médecins cardiologues de Paris qui assistaient leur collègue urgentiste à Casablanca lors du suivi d'un patient ciblé. À partir de la plateforme, le médecin urgentiste remplissait un tableau avec les paramètres cliniques du patient, comme montré dans la Figure 1 :

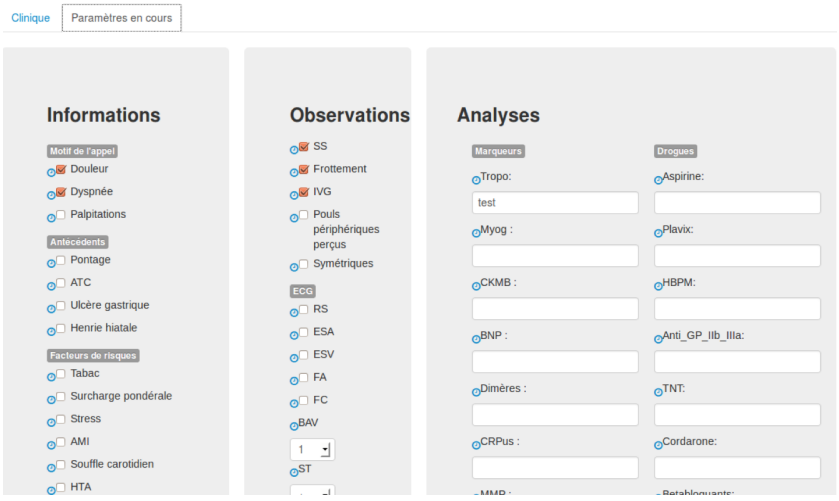


Fig. 1 : Quelques paramètres cliniques d'un patient. Ces informations ont été saisies par le médecin urgentiste à Casablanca

Les informations rentrées à partir de l'interface montrée sur la Figure 1 étaient immédiatement transférées aux médecins français, qui accompagnaient le cas en temps réel. Par ailleurs, la plateforme collectait des données physiologiques en direct pour l'accompagnement de l'état du patient. La Figure 2 montre l'ensemble des dispositifs médicaux utilisés :

Published in : POURCHEZ, Laurence ; LUSTMAN, Matthieu ; HUMBLOT, Jean-François (dir.), *Regards croisés sur les relations soignants-soignés*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813004017, doi : 10.17184/eac.9782813004017



Fig. 2 : Les dispositifs médicaux de la plateforme de collecte

La plateforme de collecte est composée des capteurs d'Électrocardiogramme à douze dérivations, dont la ceinture (bleue, en haut de l'image) ne nécessitait pas d'électrodes jetables, d'un tensiomètre, d'un pulsomètre, d'un thermomètre, et d'un capteur de volume d'air expiré. Tous les capteurs étaient branchés sur un système Cooking Hacks, disponible pour l'achat à tout utilisateur et dont les configurations sont accessibles selon les besoins (Hacks, 2015). L'alimentation du système s'appuyait sur une batterie de 12mA et finalement, un boîtier fabriqué en PLA avec des singles pour accrochage au patient encapsulait l'ensemble des composants.

Le boîtier se connectait à un ordinateur doté d'une caméra vidéo. Un logiciel conçu pour cette plateforme permettait la vidéoconférence entre les deux villes.

Les données collectées étaient transmises en temps réel aux médecins français et, également, stockées sur un serveur local à Casablanca. Les experts à distance avaient l'accès aux données médicales du patient après son consentement, pour pouvoir en déduire le diagnostic correct. Le patient étant le maître de ses propres données, il pourrait décider de bloquer leurs consultations en fonction de ces besoins de confidentialité.

Les informations étaient transmises selon le médium le plus adapté, vu que le boîtier complet possédait des interfaces pour les réseaux cellulaires 3G et 4G, du Wi-Fi, satellite et Ethernet (câble). Le choix de l'interface de communication dépendait des algorithmes sophistiqués qui, en fonction de la qualité du réseau, décidaient la meilleure façon d'envoyer les informations et assurer une connectivité entre les deux sites. Ce choix est extrêmement important, vu que la coupure de la communication empêcherait la participation des médecins français dans le diagnostic.

Par ailleurs, les questions de sécurisation des données ont été prises en compte, sans pour autant adapter le système au nouveau Règlement Général des Protections des Données (RGPD) (Regulation (EU) 2016/679). Étant la première version de la plateforme, ces recommandations n'existaient pas encore au moment de son utilisation. Par ailleurs, les données n'étaient pas encore enregistrées dans un Dossier Médical Personnalisé, vu qu'aucune normalisation n'était encore implémentée.

Published in : POURCHEZ, Laurence ; LUSTMAN, Matthieu ; HUMBLOT, Jean-François (dir.), *Regards croisés sur les relations soignants-soignés*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813004017, doi : 10.17184/eac.9782813004017

6 Téléconsultation

Plus récemment, l'entreprise H4D a développé une cabine de téléconsultation appelée Consult Station, permettant qu'un patient puisse consulter un médecin à distance, tout en fournissant divers paramètres physiologiques (H4D, 2018). Cette cabine dispose de plusieurs capteurs, tels qu'un cabinet médical : tensiomètre, balance, toise, thermomètre, oxymètre, stéthoscope, etc. Cette cabine possède une interface de lecture pour les cartes des assurances maladie, de façon que la consultation soit rémunérée au médecin.

La Consult Station permet la réalisation de vidéoconférence avec le médecin qui se trouve dans un autre lieu. Une fois la carte de l'assurance maladie du patient acceptée, la téléconsultation démarre. Le médecin guide donc le patient pour l'installation des capteurs, de façon qu'il puisse collecter et analyser en direct ses données physiologiques, comme dans une consultation traditionnelle. Une vue de l'intérieur de la cabine de téléconsultation est montrée dans la Figure 3.



Fig. 3 : L'intérieur de la cabine de téléconsultation Consult Station (image adaptée de (H4D, 2018)

Pour qu'un tel dispositif médical soit utilisable par les services de santé nationaux, il faut que plusieurs contraintes technologiques soient respectées, surtout en relation à la protection des données personnelles (Johnston, Burnett, 2012). La Consult Station est conforme le RGPD et la communication s'appuie sur le standard Health Level 7 (HL7 International, 2020). Ce standard, adopté pour les échanges des données médicales dans le monde entier, permet que différents équipements et systèmes d'exploitation puissent échanger des données de façon ordonnée.

Par ailleurs, la communication en temps réel entre les patients et les médecins utilise la plateforme WebRTC (Johnston, Burnett, 2012), un projet de code source ouvert, permettant la communication directe entre plusieurs navigateurs Internet. Cette plateforme assure un niveau de sécurité des données qui est en conformité avec les réglementations européennes dans le cadre de la santé.

Published in : POURCHEZ, Laurence ; LUSTMAN, Matthieu ; HUMBLOT, Jean-François (dir.), *Regards croisés sur les relations soignants-soignés*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813004017, doi : 10.17184/eac.9782813004017

Après une consultation, la cabine fournit, si nécessaire, toutes les attestations envoyées par le médecin et les ordonnances, valides auprès des assurances maladie, pour que les patients puissent se procurer les médicaments nécessaires.

7 Témoignage d'un technologue

Sami Souihi, Maître de conférences de l'université Paris Est Créteil et Chercheur au CEA-LIST.

> « Travailler sur l'application uTakeCare a été une expérience marquante, qui a mis en lumière les défis et les opportunités qu'offrent les technologies numériques dans le domaine de la santé. L'un des principaux défis était de garantir la sécurité et la confidentialité des données des utilisateurs tout en assurant une efficacité optimale de l'application. Nous avons dû concevoir une architecture capable d'intégrer diverses sources de données – capteurs IoT, informations de santé déclaratives, interactions sociales – et de les analyser en temps réel grâce à des algorithmes avancés d'intelligence artificielle. Cette complexité technique s'est accompagnée de questions éthiques majeures : jusqu'où pouvons-nous aller dans l'exploitation des données pour le bien commun ?
>
> Au-delà des aspects techniques, l'épisode du covid nous a permis de constater à quel point les utilisateurs sont prêts à adopter des solutions numériques, à condition qu'elles soient bien expliquées et adaptées à leurs besoins. Enfin, il ne faut pas oublier que la santé numérique n'est pas une fin en soi, mais un outil au service des patients et des professionnels. L'avenir de la santé connectée repose sur une collaboration étroite entre ingénieurs, soignants et patients pour concevoir des solutions qui améliorent réellement la qualité des soins et la prise en charge des populations ».

8 Conclusions

Il est clair que le monde de la médecine passe par une transformation en ce qui concerne la consultation et le suivi des patients. Cela est dû au développement des solutions basées sur la télémédecine. Cette approche nouvelle pourrait apporter plusieurs solutions pour la qualité de vie dans le monde entier. Par contre, elle est contrainte vis-à-vis de la performance des réseaux informatiques qui acheminent les informations, c.-à-d., la qualité de service. La QdS impacte immédiatement le ressenti des utilisateurs d'un service, exprimé comme la qualité d'expérience. Pour répondre à ces contraintes, des solutions associées aux réseaux des capteurs sans fil sont à envisager, telles que les mécanismes de sélection d'interfaces de communication et la gestion optimale de l'énergie.

En plus, la téléconsultation a le potentiel d'apporter les interventions des médecins dans les pays où le manque d'effectifs est un problème chronique (Edworthy, 2001). Par ailleurs, des études montrent que le succès des traitements suivis à distance est plutôt lié aux habitudes des patients en ce qui concerne le suivi correct des médecins,

Published in : POURCHEZ, Laurence ; LUSTMAN, Matthieu ; HUMBLOT, Jean-François (dir.), *Regards croisés sur les relations soignants-soignés*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813004017, doi : 10.17184/eac.9782813004017

et non pas aux conditions socio-économiques des patients ou de leurs environnements (Shea, Kothari, Teresi, Kong, Eimicke, Lantigua, Palmas, and Weinstock, 2013).

Par contre, d'autres études ne démontrent pas une réduction significative dans les coûts des services nationaux de santé, lorsque les médecins utilisent les solutions de télémédecine (De La Torre-Díez, López-Coronado, Vaca, Aguado, Castro, 2015). Cela n'implique pas une équivalence économique entre les pratiques traditionnelles et les nouvelles technologies : en réalité, la constatation générale est que ce genre d'approche permet de couvrir des zones découvertes ou en manque de professionnels de santé (Wamala, Augustine, 2013). En outre, l'apparition des différents dispositifs médicaux a un impact assez important dans la qualité de vie générale de la population, dans toutes les strates sociales (Betjeman, Soghoian, Foran, 2013), ce qui fait des nouvelles technologies dans le domaine de la santé la nouvelle frontière d'exploration de la médecine.

Si la première vague de transformation numérique a permis de digitaliser les processus médicaux, nous assistons aujourd'hui à une nouvelle révolution avec l'intégration massive de l'intelligence artificielle (IA) dans le domaine de la santé. L'IA générative joue un rôle clé dans le diagnostic assisté, la personnalisation des traitements et l'optimisation des parcours de soins.

Grâce à des modèles d'apprentissage profond, les algorithmes d'IA peuvent analyser d'énormes volumes de données médicales, détecter des tendances invisibles à l'œil humain et proposer des recommandations personnalisées aux professionnels de santé. Dans l'imagerie médicale, par exemple, l'IA est capable de détecter des tumeurs sur des radiographies avec une précision équivalente, voire supérieure, à celle des radiologues humains.

En parallèle, l'automatisation des tâches administratives grâce à l'IA allège la charge de travail des médecins et leur permet de se concentrer davantage sur l'aspect humain de la relation patient. L'essor de la robotique médicale, des assistants virtuels et des algorithmes de traitement du langage naturel ouvre également la voie à des innovations prometteuses, notamment dans l'aide à la décision clinique.

Toutefois, ces avancées posent des défis éthiques et réglementaires majeurs, notamment en matière de protection des données personnelles, de transparence des décisions algorithmiques et d'acceptabilité par les patients et les professionnels de santé.

Published in : POURCHEZ, Laurence ; LUSTMAN, Matthieu ; HUMBLOT, Jean-François (dir.), *Regards croisés sur les relations soignants-soignés*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813004017, doi : 10.17184/eac.9782813004017

Bibliographie

Agirre, A., Parra, J., Armentia, A., Ghoneim, A., Estévez, E. and Marcos, M. (2016), « QoS management for dependable sensory environments », *Multimedia Tools and Applications*, 75(21), p. 13397-13419.

Ahmadi, H., Arji, G., Shahmoradi, L., Safdari, R., Nilashi, M. and Alizadeh, M. (2018), « The application of Internet of things in healthcare : a systematic literature review and classification », Universal Access in the Information Society, p. 1-33.

Ahmed, S.S.T., Sandhya, M. and Shankar, S. (2019), *ICT's Role in Building and Understanding Indian Telemedicine Environment : A Study. In Information and Communication Technology for Competitive Strategies.* Springer, Singapore, p. 391-397.

Amour, L., Boulabiar, M.I., Souihi, S. and Mellouk, A. (2018), « An improved QoE estimation method based on QoS and affective computing », In 2018 International Symposium on Programming and Systems (ISPS), IEEE, p. 1-6.

Anawade, P. A., Sharma, D., Gahane, S., Anawade Sr, P. A., & Sharma, D. S. (2024). « A comprehensive review on exploring the impact of telemedicine on healthcare accessibility », *Cureus*, *16*(3).

Bannour, F., Souihi, S. and Mellouk, A. (2018), « Distributed SDN control : Survey, taxonomy, and challenges », *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 20(1), p. 333-354.

Bennett, J., Rokas, O. and Chen, L. (2017), « Healthcare in the Smart Home : A Study of Past, Present and Future », *Sustainability*, 9(5).

Betjeman, T.J., Soghoian, S.E. and Foran, M.P. (2013), « mHealth in sub-Saharan Africa », *International journal of telemedicine and applications*.

Bozorgchami, B. and Sodagari, S. (2017), « Spectrally efficient telemedicine and in-hospital patient data transfer », In 2017 *IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications* (MeMeA) IEEE, p. 148-152.

Calvaresi, D., Cesarini, D., Sernani, P., Marinoni, M., Dragoni, A.F., Sturm, A. (2017), « Exploring the ambient assisted living domain : a systematic review », *J. Ambient Intell. Humaniz. Comput.* 8(2), p. 239–257.

Cao, Y., Jiang, T. and Han, Z. (2016), « A survey of emerging M2M systems : Context, task, and objective ». IEEE Internet of Things Journal, 3(6), p. 1246-1258.

Cavaro-Ménard, C., Lu, Z.G. and Le Callet, P. (2013), « QoE for telemedicine : Challenges and trends », In *Applications of Digital Image Processing*, XXXVI, vol. 8856, p. 88561A. International Society for Optics and Photonics.

Charpentier, G., Benhamou, P.-Y., Dardari, D., Clergeot, A., Franc, S., Schaepelynck-Belicar, P., Catargi, B., Melki, V., Chaillous, L., Farret, A., Bosson, J.-L., Penfornis, A. (2011), « The Diabeo Software Enabling Individualized Insulin Dose Adjustments Combined With Telemedicine Support Improves HbA1c in Poorly Controlled Type 1 Diabetic Patients », In *Diabetes Care, American Diabetes Association*, p. 533-539.

Chithaluru, P., Kumar, M., & Narsimhulu, P. (2025), « Wireless sensor networks for smart healthcare » In *Sensor Networks for Smart Hospitals.* Elsevier, p. 313-329.

Chousiadas, Dimitris, Andreas Menychtas, Panayiotis Tsanakas, and Ilias Maglogiannis (2018), « Advancing Quantified-Self Applications Utilizing Visual Data Analytics and the Internet of Things », In *IFIP International Conference on Artificial Intelligence Applications and Innovations*. Springer, Cham, p. 263-274.

Cole, Q. (2015), « Who will seize the $61bn connected healthcare opportunity ? », *Price WaterHouse Coopers Health Matters.*

Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés (CNIL) visité le 20 juin 2018,. L'accès au dossier médical. En site : https://www.cnil.fr/fr/lacces-au-dossier-medical.

Coelho, C., Coelho, D., Wolf, M. (éds.) (2015), « An IoT smart home architecture for long-term care of people with special needs », In *Internet of things (WF-IoT)*, IEEE 2nd world forum on, IEEE.

Dharneesh, R., & Suresh, D. (2024), « Optimizing Multihoming in IoT Nodes for Enhanced Connectivity », In *2024 International Conference on Innovative Computing, Intelligent Communication and Smart Electrical Systems (ICSES),* IEEE, p. 1-8.

Diaz, K.M., Krupka, D.J., Chang, M.J., Peacock, J., Ma, Y., Goldsmith, J., Schwartz, J.E. and Davidson, K.W. (2015), « Fitbit® : An accurate and reliable device for wireless physical activity tracking », *International journal of cardiology*, 185, p. 138-140.

Published in : POURCHEZ, Laurence ; LUSTMAN, Matthieu ; HUMBLOT, Jean-François (dir.), *Regards croisés sur les relations soignants-soignés*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813004017, doi : 10.17184/eac.9782813004017

De La Torre Díez, I., Alonso, S.G., Hamrioui, S., López-Coronado, M. and Cruz, E.M. (2018), « Systematic Review about QoS and QoE in Telemedicine and eHealth Services and Applications », *Journal of medical systems*, 42(10).

De La Torre-Díez, I., López-Coronado, M., Vaca, C., Aguado, J.S. and de Castro, C. (2015), « Cost-utility and cost-effectiveness studies of telemedicine, electronic, and mobile health systems in the literature : a systematic review », *Telemedicine and e-Health*, 21(2), p. 81-85.

Edoh, T., Pawar, P.A. and Kora, A.D. (2018), « Evaluation of Telemedicine Systems User Satisfaction in Developing Countries : The Case of Mali and Senegal », *International Journal of E-Health and Medical Communications* (IJEHMC), 9(3), p. 62-78.

Edworthy, S.M. (2001), « Telemedicine in developing countries : may have more impact than in developed countries », *BMJ : British Medical Journal*, 323(7312), p. 524-538.

Fawcett, T. (2015), « Mining the quantified self : personal knowledge discovery as a challenge for data science », *Big Data*, 3(4), p. 249-266.

Gope, P. and Hwang, T. (2016), « BSN-Care : A secure IoT-based modern healthcare system using body sensor network », *IEEE Sensors Journal*, 16(5), p. 1368-1376.

Hacks, C. (2015), *e-health sensor platform V2. 0 for Arduino and Raspberry Pi.*

H4D. Consult Station. In Site https://www.h-4-d.com/la-consult-station/

HL7 International, 2020. HL7 FHIR Release 4.0.1. https://hl7.org/fhir/R4/

Hossain, M., Kayas, G., Hasan, R., Skjellum, A., Noor, S., & Islam, S. R. (2024), « A Holistic Analysis of Internet of Things (IoT) Security : Principles, Practices, and New Perspectives », *Future Internet*, *16*(2), 40.

Hu, Q., Li, J., Li, X., Zou, D., Xu, T., & He, Z. (2024), « Machine learning to predict adverse drug events based on electronic health records : a systematic review and meta-analysis », *Journal of International Medical Research*, *52*(12), 03000605241302304.

Ibrahim, A., Chaccour, K., El Hassani, A. H., Hajjam, M., & Andres, E. (2024), « BedSense : A Bed-Mounted Sensor Node System for Sleep Activities Monitoring and Nocturnal Falls Detection », *IEEE Sensors Journal*.

IEEE 802 (2025), 16^{e}, IEEE Standard for local and metropolitan area networks, Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems.

Igwama, G. T., Olaboye, J. A., Maha, C. C., Ajegbile, M. D., & Abdul, S. (2024), « Integrating electronic health records systems across borders : Technical challenges and policy solutions », *International Medical Science Research Journal*, *4*(7), p. 788-796.

Islam, S.R., Kwak, D., Kabir, M.H., Hossain, M. and Kwak, K.S. (2015), « The Internet of things for health care : a comprehensive survey », IEEE Access, 3, p. 678-708.

Kafetzis, D., Vassilaras, S., Vardoulias, G., & Koutsopoulos, I. (2022), « Software-defined networking meets software-defined radio in mobile ad hoc networks : state of the art and future directions », *IEEE Access*, *10*, p. 9989-10014.

Kontis, V., Bennet, J.E., Mathers, C.D., Li, G., Foreman, K., Ezzatu, M. (2017), « Future life expectancy in 35 industrialised countries : projections with a Bayesian model ensemble », *The Lancet*, Volume 389, Issue 10076, p. 1323 – 1335, February.

Liang, C. C., Yogarayan, S., Razak, S. F. A., Ismail, S. N. M. S., Azman, A., & Raman, K. (2024), « IoT-Enabled Asthma Risk Prediction : Advancements and Challenges », In *2024 International Conference on Intelligent Cybernetics Technology & Applications (ICICyTA)*, IEEE, p. 1320-1325.

Lyu, X., Taneja, A., Rani, S., & Feng, Y. (2024), « Distributed Edge Intelligence Enabled Resource Control in IoV With Use Case in Emergency Healthcare Support », *IEEE Internet of Things Journal*.

Mainetti, L., Manco, L., Patrono, L., Secco, A., Sergi, I., Vergallo, R. (éds.) (2016) « An ambient assisted living system for elderly assistance applications », *Personal, indoor, and mobile radio communications (PIMRC)*, IEEE 27th annual international symposium on. IEEE

MedTech Dive (2023), « How the right infrastructure increases the resilience of your HealthTech devices », https://www.medtechdive.com/spons/how-the-right-infrastructure-increases-the-resilience-of-your-healthtech-de/641820/

Miotto, R., Li, L., Kidd, B.A. and Dudley, J.T. (2016), « Deep patient : an unsupervised representation to predict the future of patients from the electronic health records », *Nature Scientific reports*, 6, p. 26094.

Published in : POURCHEZ, Laurence ; LUSTMAN, Matthieu ; HUMBLOT, Jean-François (dir.), *Regards croisés sur les relations soignants-soignés*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813004017, doi : 10.17184/eac.9782813004017

Mohindru, V., Vashishth, S., & Bathija, D. (2022), « Internet of Things (IoT) for healthcare systems : A comprehensive survey », *Recent Innovations in Computing : Proceedings of ICRIC 2021,* Volume 1, p. 213-229.

Mukhopadhyay, A. (2017), October, « QoS based telemedicine technologies for rural healthcare emergencies », *IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC)*, p. 1-7.

Perednia, D.A. and Allen, A. (1995), « Telemedicine technology and clinical applications », *Jama*, 273(6), p. 483-488.

Raja Basha, A. (2022), « A review on wireless sensor networks : Routing », *Wireless Personal Communications*, *125*(1), p. 897-937.

Ren, Y., Loftus, T. J., Datta, S., Ruppert, M. M., Guan, Z., Miao, S., ... & Bihorac, A. (2022), « Performance of a machine learning algorithm using electronic health record data to predict postoperative complications and report on a mobile platform », *JAMA network open*, *5*(5), p. e2211973-e2211973.

Regulation (EU) 2016/679 of the European Parliament and of the Council of 27 April 2016 on the protection of natural persons with regard to the processing of personal data and on the free movement of such data, and repealing Directive 95/46/EC (General Data Protection Regulation).

Islam, S.R., Kwak, D., Kabir, M.H., Hossain, M. and Kwak, K.S. (2015), « The Internet of things for health care : a comprehensive survey », IEEE Access, 3, p. 678-708.

Johnston, A.B. and Burnett, D.C. (2012), *WebRTC : APIs and RTCWEB protocols of the HTML5 real-time Web,* digital Codex LLC.

Sahu, D., Tiwari, N., & Chawla, M. (2024), February, « Blockchain as a Solution for Electronic Health Record Management : A Comprehensive Review », In *2024 IEEE International Students' Conference on Electrical, Electronics and Computer Science (SCEECS)*, p. 1-6.

Sanofi. Diabeo (2018), Logiciel numérique. https://www.diabeo.fr/

Sarhan, Q.I. (2018), « Internet of things : a survey of challenges and issues. International Journal of Internet of Things and Cyber-Assurance », 1(1), p. 40-75.

Sarkar, J. L., Ramasamy, V., Majumder, A., Pati, B., Panigrahi, C. R., Wang, W., Nawab, M. F. Q., Chunhua, S. & Dev, K. (2022), « I-Health : SDN-based fog architecture for IIoT applications in healthcare », *IEEE/ACM Transactions on Computational Biology and Bioinformatics*.

Sghaier, N., Mellouk, A., Augustin, B., Amirat, Y., Marty, J., Khoussa, M.E.A., Abid, A. and Zitouni, R. (2011), July. « Wireless sensor networks for medical care services », *Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC)*, IEEE., 7th International, p. 571-576.

Shea, S., Kothari, D., Teresi, J.A., Kong, J., Eimicke, J.P., Lantigua, R.A., Palmas, W. and Weinstock, R.S. (2013), « Social impact analysis of the effects of a telemedicine intervention to improve diabetes outcomes in an ethnically diverse, medically underserved population : findings from the IDEATel Study », *American journal of public health*, 103(10), p. 1888-1894.

Souihi, S., Mellouk, A., & Amar, M. (2020), « AI-Enabled Reliable QoS in Multi-RAT Wireless IoT Networks », IEEE Open Journal of Communications Society, 1, p. 130–144.

Thungon, L. C., Ahmed, N., De, D., & Hussain, M. I. (2024), « A Survey on 6LoWPAN Security for IoT : Taxonomy, Architecture, and Future Directions », *Wireless Personal Communications*, *137*(1), p. 153-197.

Varga, N., Piri, E. and Bokor, L. (2015), « Network-assisted smart access point selection for pervasive real-time mHealth applications », *Procedia Computer Science*, 63, p. 317-324.

Veenadhari, C. L., & Kandasamy, S. (2024), « A Comprehensive Survey on IPv6 Over Low Power Wireless Personal Area Networks (6LoWPAN) ». *2024 International Conference on Social and Sustainable Innovations in Technology and Engineering (SASI-ITE)*, p. 78-83.

Wamala, D.S. and Augustine, K. (2013), « A meta-analysis of telemedicine success in Africa », *Journal of pathology informatics*, 4.

Yadav, R., Pradeepa, P., Srinivasan, S., Rajora, C. S., & Rajalakshmi, R. (2024), « A novel healthcare framework for ambient assisted living using the Internet of medical things (IOMT) and deep neural network », *Measurement : Sensors*, *33*, 101111.

Yang, M., Li, Y., Jin, D., Zeng, L., Wu, X. and Vasilakos, A.V. (2015), « Software-defined and virtualized future mobile and wireless networks : A survey », *Mobile Networks and Applications*, 20 (1), p. 4-18.

Published in : POURCHEZ, Laurence ; LUSTMAN, Matthieu ; HUMBLOT, Jean-François (dir.), *Regards croisés sur les relations soignants-soignés*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813004017, doi : 10.17184/eac.9782813004017

Yuvaraja, M., Ramesh, R., Priya, R., & Dhanasekar, J. (2024), Wireless Body Sensor Networks for Real-Time Healthcare Monitoring : A Cost-Effective and Energy-Efficient Approach. *Journal of Angiotherapy*, *8*(7), p. 1-13.

Zhao, D., Niu, T., Song, B., & Du, X. (2025). Service-Oriented Resource Allocation and Task Scheduling for Wi-Fi and Bluetooth Coexistence in Smart Home IoT Systems. *ACM Transactions on Internet of Things*, *6*(2), p. 1-24.

Published in : POURCHEZ, Laurence ; LUSTMAN, Matthieu ; HUMBLOT, Jean-François (dir.), *Regards croisés sur les relations soignants-soignés*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813004017, doi : 10.17184/eac.9782813004017