

UNE PLATEFORME INTÉGRÉE ET INTEROPÉRABLE DE TÉLÉSANTÉ : LE PROJET EUROPÉEN *HIPERMED*

Cet article présente une illustration d'un projet collaboratif européen financé par le *cluster Celtic Plus* dans le domaine de la santé, le projet HIPERMED (*High PERFORMANCE teleMEDicine platform* - <http://www.hipermed.org/>). Ce projet a abouti à la création d'une plateforme de télémédecine à haute performance. Cette plate-forme intègre, dans une seule et même interface, différents outils et services multimédias destinés aussi bien aux professionnels de santé qu'aux patients. Elle permet ainsi entre sites distants, l'échange en temps réel et de façon simultanée de différents flux d'informations parmi lesquels des vidéos haute définition (provenant aussi bien de caméras d'ambiance que d'instruments chirurgicaux), des images radiologiques (au format DICOM) ou encore des fichiers texte. Le projet a reçu l'"Award" d'argent dans la catégorie « Excellence » lors du dernier meeting Celtic Plus, qui a eu lieu à Monaco, les 23 et 24 avril 2014.

Par **Jean-Marie MOUREAUX** *

* Professeur, Centre de Recherche en Automatique de Nancy (CRAN) – UMR 7039 CNRS - Université de Lorraine.

INTRODUCTION

Le projet européen CP7-007 HIPERMED (High PERformance teleMEDicine platform – <http://www.hipermed.org/>) est un projet financé par le *cluster* Celtic Plus (<http://www.celticplus.eu/>) du réseau EUREKA, projet qui a démarré le 1^{er} juillet 2010 (lors d'un *kick-off meeting* à Barcelone), pour s'achever le 31 décembre 2013 (*final review* et événement de communication à Nancy).

Les projets Celtic Plus sont des projets du *cluster* européen EUREKA qui concernent prioritairement les domaines des télécommunications au sens large, ce qui inclut l'Internet du futur. Ces projets sont des projets de recherche qui doivent répondre à une logique économique de marché et qui réunissent aussi bien des partenaires industriels que des partenaires académiques. Dans ce contexte, HIPERMED a réuni dans un même consortium des partenaires ayant déjà investi le domaine de la santé, qu'ils soient industriels (PME, industries, opérateurs téléphoniques) ou académiques (universités, laboratoires de recherche, hôpitaux).

Ces partenaires sont issus des cinq pays suivants : Espagne, Pologne, France, Turquie et Suède. Notons que la partie française a rejoint le consortium en octobre 2011, suite au retrait de l'Égypte (partenaire initial), du fait de la révolution survenue dans ce pays. HIPERMED a vécu plusieurs autres bouleversements importants, comme par exemple l'arrêt du financement d'un partenaire espagnol clé et le changement de coordination qui s'en est ensuivi.

Malgré ces événements, non seulement le projet a survécu, mais il a aussi abouti à la construction de la plate-forme, à sa validation à travers des scénarios professionnel-à-professionnel et professionnel-à-patient, et il a été récompensé par un Prix d'excellence lors du dernier meeting Celtic Plus, à Monaco, les 23 et 24 avril 2014.

La force de ce consortium, sa capacité à travailler en équipe sous la houlette d'un premier, puis d'un second coordinateur – tous deux remarquablement efficaces – et la confiance qui s'est installée entre les différents partenaires ont ouvert aux membres du consortium des perspectives solides en matière économique, d'innovation et de recherche. L'une de ces perspectives a été le dépôt d'un nouveau projet européen, *E-health services Everywhere and for Everybody (E3)*, qui a reçu le label Celtic Plus, le 27 novembre 2013, et qui a démarré en juin 2014 pour une durée de trois ans.

Comme on le comprend par la traduction de son acronyme, HIPERMED est une plate-forme de télé-médecine à haute performance. Celle-ci intègre dans une seule et même interface différents outils et services destinés aussi bien aux professionnels de la médecine qu'aux patients.

Dans la suite de cet article, nous décrirons, dans un premier temps, le contexte de la télésanté et les objectifs du projet et nous présenterons des éléments techniques sur la plate-forme elle-même. Puis nous expliciterons respectivement les scénarios d'usage retenus et le processus de validation de la plate-forme sur la base de l'un de ces scénarios. Enfin, nous terminerons cet article par une présentation des impacts du projet, par des conclusions à en tirer et par des perspectives.

LA TÉLÉSANTÉ ET LA PLATEFORME HIPERMED

L'industrie de la santé est une des plus importantes au monde, avec un des plus forts taux de croissance. Les pays développés consomment en moyenne 10 % de leur produit intérieur brut dans le domaine de la santé publique. Ce taux devrait croître encore dans les quinze prochaines années et dépasser les 15 % en 2016. D'après le volet santé du rapport Attali [1] : « L'industrie de la santé est un facteur de croissance de l'économie, représentant près de 11 % du PIB et employant près de 2 millions de personnes (soit 9 % de la population active). Son chiffre d'affaires a doublé en 40 ans et augmente plus vite que le revenu disponible. Les emplois dans la santé ont augmenté, depuis vingt ans, six fois plus vite que l'emploi total ».

Actuellement, l'industrie de la santé est très fragmentée, que ce soit dans les domaines des équipements médicaux, de la pharmaceutique, des services de santé ou encore des biotechnologies. Elle adresse des produits spécifiques aux applications clientes, sans réel souci ni réelle volonté d'intégration et d'interopérabilité. Un autre inconvénient lié à ces produits réside dans leur coût, en particulier lorsqu'ils concernent des services à haute valeur ajoutée.

C'est ce constat qui a permis de définir l'objectif principal du projet HIPERMED, à savoir de fournir un ensemble de services de santé avancés de façon intégrée et interopérable à travers le développement d'une plate-forme libre. Celle-ci est basée sur une architecture orientée service unifiée (SOA) et sur le protocole de communication SIP (*Session Initiation Protocol*) qui est couramment utilisé dans les télécommunications multimédias.

Cette plate-forme intègre différents services dédiés à plusieurs applications médicales différentes et permet l'échange en temps réel de différents types de données, parmi lesquelles des flux vidéo haute définition. Elle a été validée par les utilisateurs finaux (professionnels de santé, patients) à travers le déroulement de scénarios réels de deux types : Professionnel-à-Professionnel et Professionnel-à-Patient.

L'état de l'art fait apparaître des plates-formes concurrentes, comme (la liste n'est pas exhaustive) : iPath (<http://www.ipath-network.com/ipath/>) qui a été

développée par l'Université de Bâle (Suisse), WiPaM (*Wireless Patient Monitoring*) construite à l'initiative de la société belge IXSyS, ou encore la plate-forme Solstis, qui a été développée en Lorraine (<https://www.sante-lorraine.fr/portail/>)).

Cependant, iPath ne permet pas la communication en temps réel. WiPaM n'inclut pas la transmission vidéo et elle est centrée sur les scénarios Professionnel-à-Patient. Enfin, Solstis est dédiée à la transmission d'images radiologiques fixes et non pas à celle de flux vidéo médicaux haute définition.

Le principal défi qu'a eu à relever HIPERMED a été de permettre à plusieurs types d'utilisateurs (médecins, professionnels de santé, patients) distants géographiquement d'accéder simultanément et en temps réel à différents flux d'informations (signaux médicaux, vidéos médicales haute définition, visioconférences haute définition, images radiologiques (au format DICOM – *Digital Imaging and Communications in Medicine*), fichiers texte), à travers une interface unique multifenêtres.

HIPERMED a exploité les résultats obtenus dans le cadre d'un précédent projet européen, HDVIPER, qui avait permis la définition d'une plate-forme comportant des services de base. Sur cette base, HIPERMED a développé une architecture spécifique basée sur un bus de type *Enterprise Service Bus* (ESB) intégrant les contraintes des applications médicales visées, comme la nécessité de communications sécurisées (cryptage, authentification) pour le transport de données sensibles à travers des réseaux publics, la prise en compte du format DICOM des images radiologiques ou encore l'intégration d'instruments médicaux connectés (endoscopes, microscopes) générant des flux vidéo haute définition. Les échanges entre sites distants ont été effectués *via* le réseau paneuropéen à très haut débit (Gbits/s) GÉANT2 (*Gigabit European Advanced Network Technology 2*).

SIX SCÉNARIOS D'USAGE

Six scénarios d'usage ont été définis pour ce projet afin de valider les outils de la plate-forme HIPERMED. Ils ont été classés en deux catégories : la première, « Professionnel-à-Professionnel », regroupant les scénarios 3 et 5, et la seconde, « Professionnel-à-Patient », les scénarios 1, 2, 4 et 6.

Scénarios 1 et 2 : rééducation du genou à distance

Il s'agit de scénarios qui permettent la rééducation du genou pour des patients atteints (par exemple) d'arthrose, qui ont des prothèses de genou ou encore auxquels on a enlevé le ménisque. Ces deux scénarios sont

basés sur les jeux sérieux (*serious games*). Les patients sont équipés, à leur domicile, d'un capteur d'inertie 3D qui effectue des mesures en temps réel, qui sont directement restituées au médecin distant ou qui sont enregistrées en vue d'une post-consultation.

Scénario 3 : téléconsultation

Il s'agit dans ce scénario de permettre à plusieurs hôpitaux distants (deux, au minimum) de communiquer entre eux en temps réel en échangeant des images, des données médicales, des vidéos – le tout, en utilisant la même interface.

Scénario 4 : rééducation de la parole à distance

Le patient prend rendez-vous *via* l'interface et, au moment de la séance, le thérapeute lui envoie des images et des séquences animées, puis il lui demande, en retour, de prononcer les phrases correspondantes. Ce procédé permet une meilleure rééducation, grâce à la stimulation d'une zone cérébrale liée à la vision.

Scénario 5 : diagnostic et suivi à distance de brûlures

Une demande de diagnostic à distance d'un hôpital régional vers un hôpital de référence est faite par échange d'images. Cela permet la prise de décision quant au transfert éventuel du patient vers le centre des grands brûlés. Pour les patients maintenus dans l'hôpital régional, HIPERMED permet d'assurer le suivi de la cicatrisation par l'hôpital de référence.

Scénario 6 : suivi cardiorespiratoire à distance

Grâce à un *smartphone* dédié et à des capteurs fixés sur une ceinture, un patient souffrant de problèmes cardiorespiratoires peut continuer à se rééduquer dans un gymnase (équipé de vélos et d'autres appareils) proche de chez lui, sous la surveillance de son médecin.

Pour cet article, nous avons choisi de nous focaliser sur le scénario 3, un scénario Professionnel-à-Professionnel qui permet d'établir des collaborations entre professionnels de la santé éloignés géographiquement. Il est basé sur le constat qu'aujourd'hui, certaines compétences médicales pointues sont très dépendantes du lieu d'exercice. On distinguera, dans la suite de l'article, les hôpitaux dits « de référence »

(CHU, instituts de lutte contre le cancer...) des hôpitaux dits « régionaux » (hôpitaux locaux), dans lesquels toutes les compétences ne sont pas représentées. Cette situation, que l'on retrouve dans de nombreux pays, génère des coûts importants, en particulier ceux liés au transport de patients (même pour une simple visite) ou encore ceux liés aux déplacements de certains spécialistes. Ce sont ces coûts que la plate-forme HIPERMED vise à diminuer pour une meilleure prise en charge des patients où qu'ils soient et pour une meilleure qualité des soins, du fait de la possibilité de partager des connaissances et de l'expertise (ce qui est particulièrement important dans le cas des traitements des cancers).

Le scénario 3 est lui-même décliné en trois sous-scénarios :

Les consultations planifiées

Il s'agit de reproduire une réunion de concertation pluridisciplinaire (RCP), comme celles qui se tiennent à l'hôpital généralement une fois par semaine. Ces réunions mettent en présence des experts médicaux relevant de différentes spécialités afin d'étudier les cas de patients présentant des pathologies complexes et/ou graves. La principale difficulté liée aux RCP tient à la nécessité de réunir au même moment des experts provenant de différents sites. HIPERMED permet de pallier ce problème en évitant les voyages et les coûts afférents.

Les consultations en urgence

Ce scénario se déroule, par exemple, lors d'une opération chirurgicale dans un hôpital dit régional au cours de laquelle le chirurgien doit faire face à une situation compliquée nécessitant de solliciter l'aide d'un expert localisé dans un hôpital dit de référence. Celui-ci visualise sur un même écran la vidéo d'ambiance du bloc opératoire, la vidéo produite par la caméra endoscopique haute définition qu'utilise le chirurgien pour opérer, les images radiologiques au format DICOM du patient, ainsi que l'historique de celui-ci.

Le télé-enseignement

Ce scénario offre la possibilité à des étudiants en médecine de suivre en direct, depuis un amphithéâtre, une opération chirurgicale en visualisant à la fois le bloc opératoire et la vidéo produite par la caméra endoscopique haute définition qu'utilise le chirurgien pour opérer. Ce type de pédagogie est reconnu beau-

coup plus efficace que les méthodes classiques recourant à la visualisation en différé d'actes chirurgicaux enregistrés.

PRINCIPAUX RÉSULTATS LIÉS AU SCÉNARIO 3

La validation de la plate-forme HIPERMED

Afin d'évaluer les performances de la plate-forme HIPERMED, une méthodologie basée sur des indicateurs de performance (*Key Performance Indicators* – KPI) a été adoptée [2]. Celle-ci a été appliquée à l'ensemble des scénarios décrits précédemment. Elle implique les professionnels de la santé et les patients (selon la catégorie de scénario), à travers des questionnaires dédiés au recueil de la perception qu'ont de la plate-forme les utilisateurs eux-mêmes lors de la validation expérimentale des scénarios. Nous nous intéresserons ici uniquement aux résultats de l'étude menée sur le scénario 3 de téléconsultation, ou plutôt sur chacun de ses sous-scénarios, tels qu'ils ont été définis plus haut.

La méthodologie basée sur les indicateurs de performance énoncée précédemment a été mise en place sur la base de cinq indicateurs fréquemment utilisés, à savoir la *pertinence*, l'*efficacité*, l'*utilité*, les *résultats* et la *durabilité* d'une telle plate-forme. À l'issue des validations expérimentales de chacun des trois sous-scénarios, les médecins et leurs étudiants ont rempli un questionnaire dont certaines des questions portaient sur un ou plusieurs KPI.

La Figure 1 (de la page suivante) résume les résultats pour les 5 KPI et les 3 sous-scénarios. Comme on peut le constater, les résultats sont bons et équilibrés pour les cinq indicateurs.

La plate-forme HIPERMED vue par des médecins français et par leurs homologues polonais, dans cette étude, semble être à la fois pertinente, efficace et utile pour leurs usages professionnels. Lorsque l'on regarde plus en détail, en particulier pour le sous-scénario dit *Consultation en urgence*, les utilisateurs se projettent dans le futur et demandent des solutions qui soient compatibles avec des terminaux mobiles. C'est l'un des objets du futur projet E3 que nous avons cité en introduction.

La validation de la qualité des vidéos médicales compressées

La téléconsultation étant la plus gourmande en bande passante, les vidéos ont nécessité une compression irréversible qui a entraîné des questions d'acceptabilité de la qualité (après compression) par les profession-

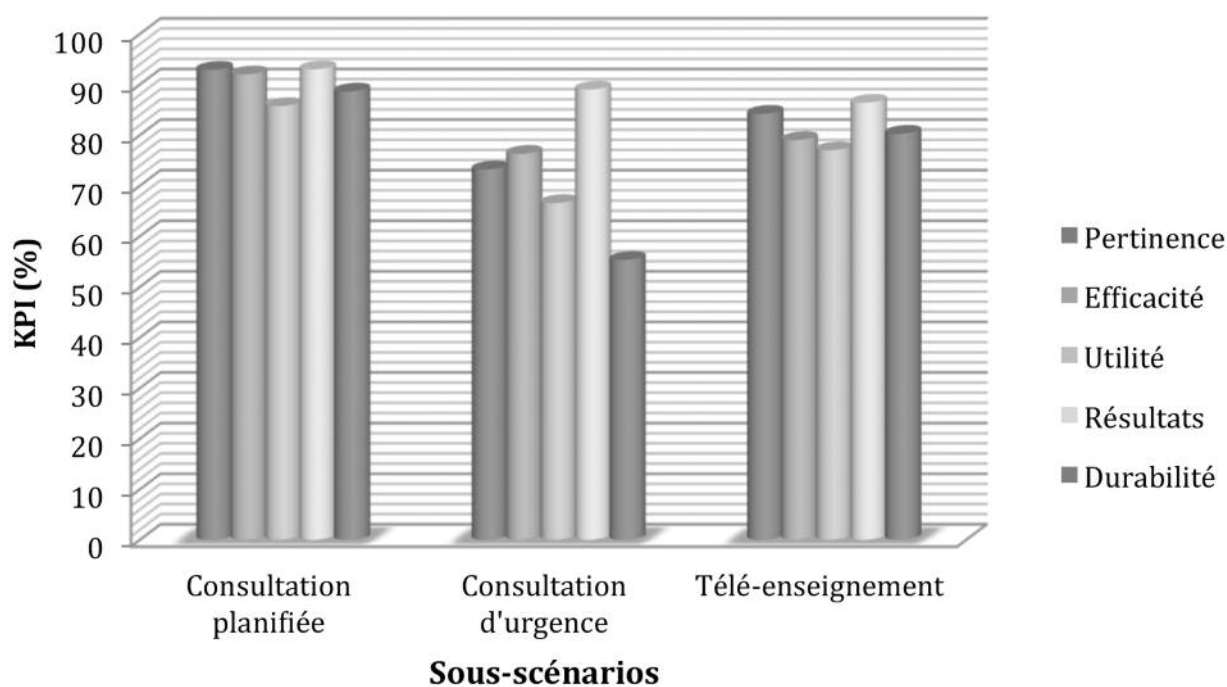


Figure 1 : Calcul des indicateurs de performance (KPI) pour les trois sous-scénarios ORL du projet européen Celtic Plus CP7-007 HIPERMED.

nels, en fonction de leurs usages. La compression des vidéos initiales a été effectuée selon le standard H264 [4], non seulement de façon logicielle, dans les serveurs minisip (*minisip.org*, solution libre de vidéoconférence haute définition basée sur le protocole SIP), mais aussi matérielle, dans les encodeurs vidéo faible latence de la société VITEC Multimédia, qui est membre du consortium.

Nous avons ainsi mené, en parallèle, une seconde étude sur la perception, par les médecins, de la qualité des vidéos compressées. Un ensemble de tests subjectifs a été effectué selon le protocole *double-stimulus continuous quality-scale* (DSCQS) issu de la recommandation ITU-BT.500-13 de l'*International Telecommunication Union*. Ils ont eu lieu dans l'environnement normalisé de type *living lab* PROMETEE («PeRceptiOn utilisateur» pour les usages du Multimédia dans les applications médicales) installé dans les locaux de Télécom Nancy, une école d'ingénieurs de l'Université de Lorraine associée à l'Institut Mines Télécom. À ces tests a été adossée une batterie de métriques objectives utilisées dans la littérature. Les résultats obtenus sont issus de la validation des trois sous-scénarios cités précédemment impliquant les services ORL du Centre Hospitalier Régional Universitaire de Nancy (CHRU de Nancy) et de l'Hôpital Universitaire de Poznan (Pologne) interconnectés *via* le réseau paneuropéen haut débit GEANT2.

Les tests ont été effectués sur quatre séquences vidéo ORL originales haute définition (Full HD 1920x1080 - 60 images/s - 4:2:2 - 8 bits) d'une durée de 10 secondes chacune [3], toutes encodées initialement à 1,91 Gbits/s (de nombreux détails et résultats sont donnés dans l'ouvrage cité en référence [4]).

Les tests ont montré que les séquences pouvaient être compressées (avec des déperditions) par le standard AVC-H264 jusqu'à un débit d'environ 3 Mbits/s sans perte de confiance par les médecins et sans gêne dans leur pratique ! Ces résultats sont particulièrement prometteurs pour de futurs travaux liés à des transmissions sur des réseaux à faible bande passante, tels qu'ils sont prévus dans le projet E3.

IMPACT DU PROJET, CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Le projet HIPERMED a eu un impact important en termes :

- académique, du fait de la promotion d'un environnement de recherche collaborative dans le domaine de l'e-santé ;
- d'écosystème entre partenaires de la santé et partenaires du numérique, ce qui se traduit notamment par des partenariats renforcés avec le monde hospita-

lier, le développement de nouveaux marchés économiques pour les partenaires ou encore par le développement du *Living Lab* PROMETEE en direction des industriels et des professionnels de la santé concernés par les usages du multimédia dans le domaine médical ;

– d'optimisation des ressources dans le secteur de la santé à travers l'intégration d'outils dans une plateforme unique offrant des gains économiques potentiels significatifs aux systèmes de santé publics.

Ainsi, dans le bilan (non exhaustif) du projet, les points majeurs à retenir sont : les deux brevets développés par les partenaires suédois et les 480 millions d'euros de contrats générés par le déploiement d'HIPERMED dans douze hôpitaux suédois, les huit nouveaux produits développés et commercialisés par les partenaires du consortium (parmi lesquels, par exemple, figure un capteur inertiel pour la rééducation du genou), ou encore la contribution au groupe de standardisation de codage vidéo MPEG apportée par les partenaires français et polonais dans le cadre des travaux relatifs à la définition de la future norme de codage vidéo HEVC.

En matière d'imagerie médicale au sens large, c'est-à-dire celle incluant l'imagerie radiologique (de type scanner, IRM, échographie...) et la vidéo endoscopique ou microscopique, le projet affiche des résultats d'importance. Il a montré qu'il était possible de partager, à distance et en temps réel, sur plusieurs sites, plusieurs flux vidéo haute définition, qu'il s'agisse de flux issus de caméras d'ambiance ou de flux générés par des instruments chirurgicaux (endoscopes, microscopes), ainsi que d'autres types de données (imagerie radiologique, par exemple), le tout de manière dynamique sur une seule interface utilisateur. Les résultats obtenus dans le scénario 3 ont également mis en évidence la tolérance des vidéos à une forte compression, y compris dans un domaine aussi sensible que celui de la chirurgie, ce qui ouvre des perspectives particulièrement intéressantes pour le projet *E-health services Everywhere and for Everybody* sur lequel va travailler le consortium. Aux perspectives techniques ouvertes par HIPERMED en matière de télésanté sur des réseaux de communication à faible débit s'ajoutent des perspectives économiques dans les différents pays du consortium avec, par exemple, pour la France, le projet d'expérimentation de cette technologie au sein du service ORL du CHU de Nancy.

REMERCIEMENTS

J'adresse mes plus vifs remerciements à l'ensemble des partenaires du consortium HIPERMED (dont la liste complète est consultable à l'adresse : www.hipermed.org) et à tous ceux de l'Université de Lorraine, à travers le Centre de Recherche en Automatique de Nancy et Télécom Nancy, pour leur contribution à la réussite de ce projet et la parfaite collaboration qui a régné entre tous. Un remerciement tout particulier va à Oscar Chabrera (Vlynx, Espagne), Jordi Garriga (OSM, Espagne), Piotr Pawalowski et Wojtek Pieklik (PSNC, Pologne), Didier Nicholson et Nicolas Tizon (VITEC, France), Denis Abraham (Institut Mines Télécom, France), Yann Gaudeau (Université de Strasbourg, France), Amine Chaabouni, Julien Lambert et Sabine Petitjean, (Université de Lorraine, France), Nicolas Visona (Service Informatique du CHU de Nancy, France), au Dr Nicolas Boulanger (Nancy, France) et, enfin, au Dr Patrice Gallet du CHU de Nancy (France) pour sa grande implication dans le projet.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] ATTALI (J.), « Rapport de la Commission pour la libération de la croissance française », XO Éditions, La Documentation Française, 2008.
- [2] Europe Aid Cooperation Office (ec.europa.eu/europeaid), "Families of Evaluation criteria". http://ec.europa.eu/europeaid/evaluation/methodology/methods/mth_ccr_en.htm#03, january 2006
- [3] NICHOLSON (D.), PAWALOWSKI (P.) & MOUREAUX (J.-M.), *Selected medical imaging sequences for HEVC development*, Joint Collaborative Team on Video Coding (JCT-VC) of ITU-T SG 16 WP 3 and ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG 11, 15^e Meeting : Genève (Suisse), 23 oct.-1 nov. 2013.
- [4] CHAABOUNI (A.), GAUDEAU (Y.), LAMBERT (J.), MOUREAUX (J.-M.) & GALLET (P.), *Subjective and Objective Quality Assessment for H264 Compressed Medical Video Sequences*, 4th IEEE International Conference on Image Processing, Theory, Tools and Applications, IPTA 2014, Paris, 14-17 octobre 2014.