

## Analyse continue, multicouches et multiparamétriques des diabètes de type 1 et 2

Damien Zufferey, Stefano Bromuri, Michael Schumacher

Institut d'Informatique de Gestion, Haute Ecole Spécialisée de Suisse Occidentale (Valais)

### Résumé

Dans le cadre de ce papier nous rapportons un système de télémédecine pour le suivi de patients diabétiques à risque de développer des comorbidités. L'utilisation de capteurs multiparamétriques et ergonomiques vise à un suivi continu de l'état du patient tout en préservant sa qualité de vie. L'architecture système mise en place selon les spécifications Health Level 7 (HL7) assure l'interopérabilité entre les composants hétérogènes de la plateforme ainsi que son interconnexion avec d'éventuels systèmes tiers. Un système de raisonnement, basé sur des règles définies en accord avec des médecins, a pour but de lancer des alertes à destination du personnel médical en cas de la survenue de complications. Un essai clinique permettra d'évaluer la faisabilité de ce système de télémédecine en situation réelle en comparaison à l'approche conventionnelle.

### Introduction

Bien que l'amélioration du système de santé dans les pays industrialisés ait permis d'augmenter considérablement l'espérance de vie, les maladies chroniques restent un fardeau pour notre société. Notamment, le diabète de type 2 (DT2) est une maladie chronique ayant un fort impact sur les coûts de la santé des pays industrialisés [1]. Les patients souffrant de DT2 ont tendance à développer des comorbidités tel que l'hypertension artérielle, la dyslipidémie, ainsi que des complications micro- et macrovasculaires [2]. Ces patients présentent donc un profil complexe pour les médecins étant donné les interactions entre les maladies et les prescriptions de médicaments. La possibilité de prendre rapidement de bonnes décisions est primordiale pour ralentir la progression des maladies chroniques telles que le DT2. Partant de ce constat, le projet européen FP7 COntinuous Multi-parametric and Multi-layered analysis Of Diabetes TYpe 1 & 2 (COMMODITY12) a pour but de modéliser, d'implémenter et de valider un système expert pour l'analyse de données médicales multiparamétriques. Ce projet réutilise les technologies de pointe de l'informatique médicale en les étendant selon l'état de l'art dans les domaines de l'interopérabilité et de l'intelligence artificielle dans le but d'améliorer le suivi de patients diabétiques dans une optique de médecine personnalisée. COMMODITY12 se base sur l'expérience acquise par le projet G-DEMANDE [3, 4] qui consiste à fournir un suivi

par télémédecine pour les femmes atteintes d'un diabète gestationnel pendant leur grossesse. Afin de satisfaire ces exigences, la plateforme COMMODITY12 est construite sur les quatre couches suivantes:

- *Body Area Network (BAN)*: cette couche utilise différents types de capteurs pour mesurer les valeurs physiologiques des patients, telles que la glycémie, la pression artérielle ou un électrocardiogramme, ces données sont ensuite agrégées et transmises au Smart Hub Layer;
- *Smart Hub Layer (SHL)*: cette couche reçoit les données acquises par le BAN et applique des techniques d'apprentissage automatique afin de détecter de possibles anomalies, telles qu'une arythmie dans un électrocardiogramme;
- *Data Representation and Retrieval (DRR)*: cette couche sert d'interface graphique pour la consultation des données santé des patients par le personnel médical, il s'agit également d'une couche d'interopérabilité assurant les échanges de messages entre les différentes couches du système;
- *Artificial Intelligence Layer (AIL)*: cette couche, composée d'un système multi-agents intelligent, applique un ensemble de règles, définies par des médecins, sur les données des patients afin de lancer des alertes en cas d'anomalies, telles qu'une hypoglycémie par exemple.

La figure 1 présente un schéma qui résume l'architecture précédemment décrite.

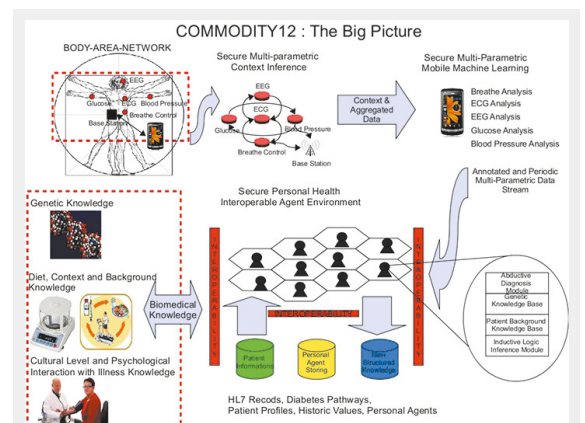


Figure 1

Vue globale de l'architecture du projet COMMODITY12.

La suite du document est structurée de la manière suivante: premièrement les objectifs que le projet tend à atteindre sont décrits, puis dans un deuxième temps, l'implémentation réalisée est présentée, et finalement, la dernière partie traite des premiers résultats obtenus, ainsi que de la conclusion et des extensions à venir.

## Objectifs

Dans cette section, les objectifs que vise à atteindre le projet sont décrits. Dans un premier temps, les objectifs à orientation médicale sont présentés, puis dans un second temps, les objectifs techniques.

D'un point de vue médical, le but principal est d'améliorer la qualité de vie des patients par l'utilisation de moyens techniques permettant de prévenir l'apparition de complications.

Ci-dessous, les principaux objectifs à orientation médicale:

- *Acceptation des capteurs par les patients*: il s'agit d'utiliser autant que possible des capteurs discrets, non invasifs et petits, afin que les patients soient d'accord de les porter;
- *Validation et acceptation du module d'intelligence artificielle*: le moteur de raisonnement doit permettre une application sûre des règles préalablement définies par les médecins;
- *Conformité de la plateforme avec les lois européennes*: le système COMMODITY12, au vu du traitement de données médicales, doit être conforme à la directive européenne sur les équipements médicaux.

Ci-dessous, les principaux objectifs à orientation technique:

- *Utilisabilité de la plateforme*: les différents modules qui composent le système COMMODITY12 doivent être exempt de *bugs* et ergonomiques quant à leur utilisation;
- *Interopérabilité de la plateforme*: l'utilisation de standards reconnus en informatique médicale, tels que l'initiative Health Level 7 (HL7), rendent possible des échanges informatisés de données cliniques entre composants internes du projet, ou partenaires externes, qui implémentent les mêmes spécifications.

Finalement, ce projet vise à une réduction des coûts, grâce à l'utilisation d'une approche de télémédecine qui amène une prise en charge personnalisée et anticipée des patients diabétiques à risque de développer des comorbidités.

## Méthodes

Cette section traite de la mise en œuvre du système COMMODITY12. La première partie décrit les choix entrepris pour l'implémentation en termes d'architecture et d'interopérabilité. Par la suite, la méthodologie utilisée pour la réalisation des tests cliniques est présentée.

## Implémentation

L'architecture système décrite ci-dessous suit le concept COMMODITY12 en quatre couches présenté lors de l'introduction.

Concernant le BAN, le principal capteur utilisé pour l'acquisition de données est le BioHarness 3 de Zephyr (<http://bioharness.com/products/bioharness-3/>). Celui-ci se présente sous forme d'une ceinture à porter sous la poitrine, voir figure 2. Il est discret et confortable et il permet l'enregistrement des données suivantes: ECG, rythme cardiaque, respiration et activité physique (accéléromètres). Nous utilisons également un ensemble de capteurs de l'entreprise BodyTel (<http://www.bodytel.com/sensor-devices.html>) pour l'enregistrement des données suivantes: poids, pression sanguine et glycémie.



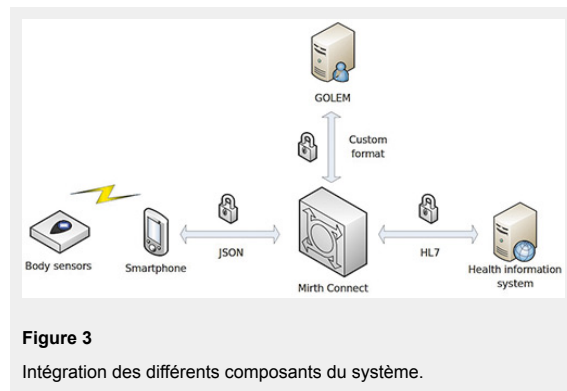
Figure 2

Vue détaillée du BioHarness 3 de Zephyr.

Au niveau du SHL, les données récoltées sont transmises par Bluetooth à une application mobile. Celle-ci effectue de la reconnaissance de patterns sur le signal ECG pour détecter d'éventuelles arythmies ainsi que sur le signal de respiration pour détecter d'éventuelles apnées. Le téléphone transmet ensuite ces données, c'est-à-dire brutes et éventuellement annotées, au système d'information de santé (DRR) pour stockage et visualisation. Un composant annexe (AIL) appelé GOLEM [5] permet d'analyser les données médicales et de lancer des alertes à destination des médecins si des anomalies sont détectées. Il s'agit d'un système multi-agents basé sur des règles logiques en Prolog. Ces règles ont été définies en accord avec les médecins.

Afin d'assurer l'interopérabilité du système, les échanges de données entre les différents composants sont basés sur les spécifications HL7v3 (<http://www.hl7.org/>). Etant donné que le SHL et le AIL ne prennent pas en charge les échanges de messages HL7, un composant intermédiaire joue le rôle de médiateur en transformant les messages afin d'assurer un échange interopérable de messages entre les différentes parties du système. Pour cela, nous avons recours à la solution Mirth Connect (<http://www.mirth->

[corp.com/products/mirth-connect](http://corp.com/products/mirth-connect)) qui est un moteur HL7 d'interfaçage vers divers formats (JSON, XML, etc.) et vers divers protocoles réseaux (HTTP, SMTP, etc.). Au vu des données sensibles qui sont échangées entre les différents composants, toutes les communications sont sécurisées via l'utilisation du protocole TLS. La figure 3 présente un résumé de l'architecture décrite ci-dessus.



## Essais cliniques

L'université médicale de Lodz en Pologne (UMED, <http://www.umed.pl>) effectuera les essais cliniques. Le protocole qui a été défini se concentre sur les aspects décrits ci-dessous. Les patients concernés sont âgés de 18 à 65 ans et sont atteints d'un diabète de type 2. L'étude vise à évaluer la phase de traitement qui consiste à maintenir l'état stable du patient et ainsi éviter l'apparition de complications. Un autre point intéressant est l'habilité du patient à utiliser l'ensemble des capteurs et le téléphone mobile dans une optique de faciliter son traitement et améliorer sa qualité de vie.

Au niveau du déroulement de l'étude, 60 patients seront engagés sur une durée de 12 semaines. Les patients seront répartis, de manière aléatoire, en 2 groupes de taille égale. Le premier groupe utilisera le système de télémédecine COMMODITY12, quant au second, groupe de contrôle, il fonctionnera selon la procédure de traitement habituelle.

Les paramètres évalués lors de l'étude sont de trois types: les paramètres physiologiques, les facteurs génétiques et l'anamnèse du patient. Plus précisément, ces paramètres comprennent: les paramètres de contrôle glycémique, l'électrocardiogramme, l'activité physique, la respiration, le poids, la pression sanguine, l'adhérence du patient au traitement et l'hygiène de vie.

## Résultats

Le projet étant toujours en cours, notamment la partie concernant l'essai clinique doit encore être effectuée, des résultats partiels sont présentés, ciblés sur les aspects techniques.

Du point de vue de l'architecture du système, nous avons mené plusieurs cycles de tests avec des volontaires qui ont joué divers scénarios réalistes. Ces essais ont permis de valider le fonctionnement de toute la chaîne du système, des capteurs au système d'information de santé en passant par le composant d'intelligence artificielle. Notamment, nous avons validé, pour les capteurs sans-fil suivants, le bon

fonctionnement de l'acquisition des données, de la transformation en messages HL7 et le stockage dans le système d'information de santé, pour:

- Appareil pour la mesure de la glycémie,
- Pèse-personne,
- Appareil pour la mesure de la pression artérielle,
- BioHarness 3 pour la mesure de l'ECG, de la respiration et de l'activité physique.

Selon divers scénarios préétablis, nous avons testé le bon fonctionnement de la partie d'intelligence artificielle, notamment la survenue des alertes suivantes:

- Hyper- et hypoglycémie,
- Arythmie cardiaque,
- Bradycardie,
- Tachycardie,
- Apnée du sommeil,
- Demande de contrôle visuel des pieds,
- Demande d'ajustement du traitement,
- Apparition d'un symptôme.

Nous avons également évalué la montée en charge, en prenant en compte l'envoi simultané de plusieurs messages de longue durée (monitoring continu de l'ECG).

Finalement, les essais cliniques qui auront lieu ces prochains mois vont nous permettre d'évaluer la pertinence d'utiliser ce système de télémédecine par rapport à une démarche conventionnelle.

## Conclusion

Dans ce papier, nous avons fait la démonstration d'un système de type télémédecine pour le suivi de patients diabétiques. D'un point de vue architecture système, l'utilisation de standards de l'informatique médicale, tels que la spécification HL7, a permis à des systèmes hétérogènes de communiquer de manière intégrée. La sélection de capteurs multiparamétriques et ergonomiques, tels que le BioHarness 3 de Zephyr, est primordial pour le confort du patient, aspect indispensable pour un suivi optimal de sa maladie. Finalement, l'intégration des directives médicales, en accord avec les médecins, dans le composant d'intelligence artificielle, permet un suivi en temps réel de l'état du patient, par l'apparition d'alertes en cas d'anomalies. Cela ouvre la porte à une prise en charge anticipée et personnalisée du patient, dans un objectif de réduction des complications médicales.

Dans un futur proche, les résultats de l'essai clinique apporteront une indication sur la faisabilité du système de télémédecine COMMODITY12 sur le terrain dans des conditions réelles.

## Remerciement

Ce travail a été soutenu partiellement par le projet européen FP7 287841 COMMODITY12.

**Correspondance:**

Damien Zufferey  
Institut d'Informatique de Gestion  
HES-SO Valais/Wallis  
Techno-Pôle 3  
CH-3960 Sierre  
[damien.zufferey\[at\]hevs.ch](mailto:damien.zufferey[at]hevs.ch)

**Références**

---

- 1 McAdam Marx C. Economic implications of type 2 diabetes management. *Am J Manag Care*. 2013;19:143–8. [http://www.ajmc.com/publications/supplement/2013/ACE009\\_13jun\\_Diabetes/ACE009\\_13jun\\_McAdamMarx\\_143to48](http://www.ajmc.com/publications/supplement/2013/ACE009_13jun_Diabetes/ACE009_13jun_McAdamMarx_143to48)
- 2 Cade WT. Diabetes-related microvascular and macrovascular diseases in the physical therapy setting. *Phys Ther*. 2008;88:1322–35. <http://phyther.org/content/88/11/1322>
- 3 Puricel S, Bromuri S, Krampf J, Diolosa L, Puder J, et al. Telemedical Outpatient Monitoring and Management of Gestational Diabetes Mellitus by the G-DEMANDE System: a randomized controlled Feasibility Study (Tele-GDM). *Proceedings of the 7th International Conference on Advanced Technologies & Treatments for Diabetes, Diabetes Technology & Therapeutics*, 2014.
- 4 Puricel S, Bromuri S, Diolosa L, Krampf J, Montreuil C, et al. Evaluation de la faisabilité d'un suivi par télémédecine pour les femmes avec un diabète gestationnel dans le cadre du programme de suivi systématique dans la consultation de diabétologie CHUV-PMU. *Diabetes & Metabolism*. 2014, Volume 40, page 413. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S126236361472227X>
- 5 Bromuri S, Kostas S. Situating cognitive agents in GOLEM, Engineering environment-mediated multi-agent systems. Volume 5049, *Springer*; 2008. p. 115–134. [http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-85029-8\\_9](http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-85029-8_9)

Figures (large format)

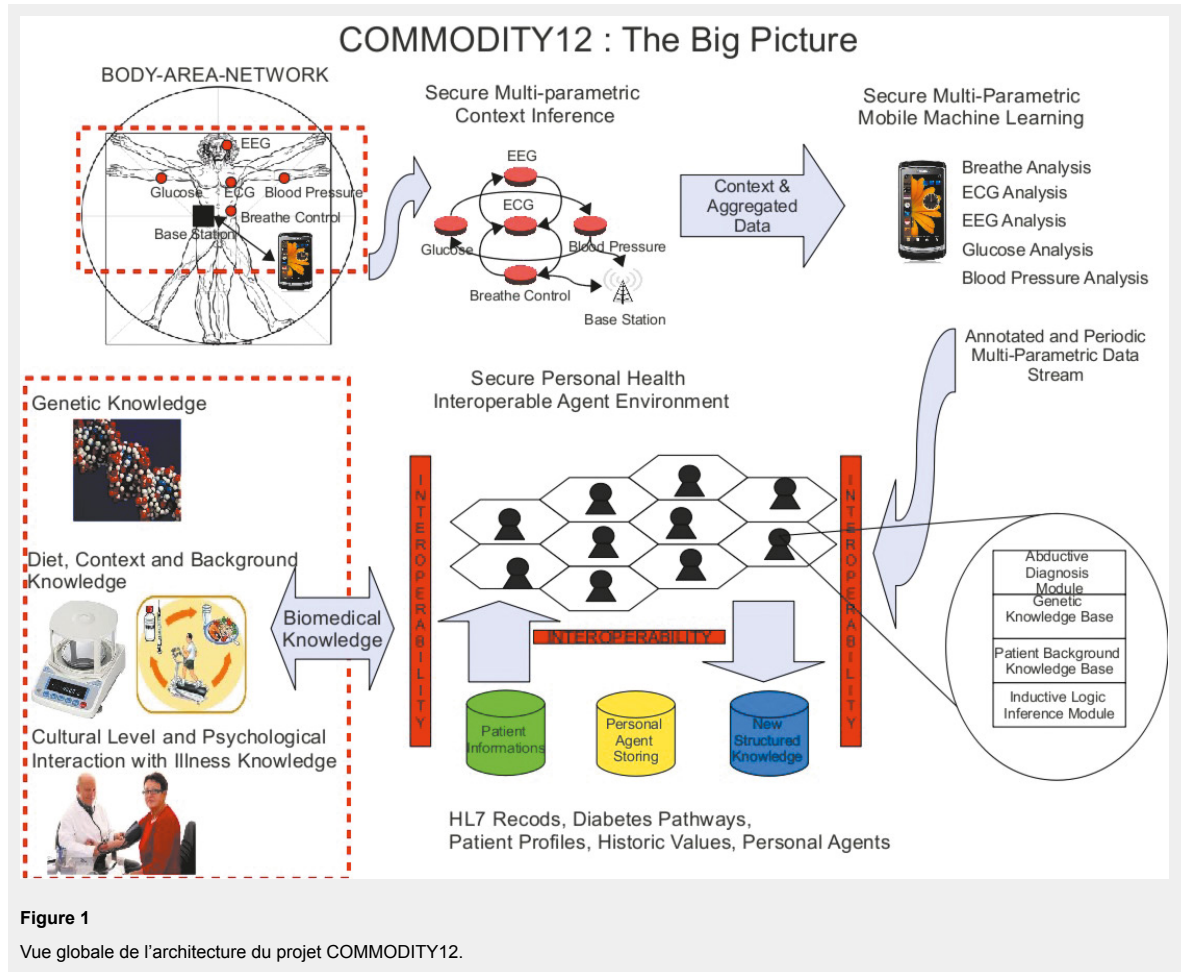


Figure 1

Vue globale de l'architecture du projet COMMODITY12.

