

L'Internet des objets au service de la gestion énergétique des bâtiments

Exploration des possibilités d'IPv6 grâce au projet IoT6

Tout en renforçant la nécessité du passage au protocole IPv6, la prolifération des objets communicants et connectés offre de multiples avantages, notamment pour la gestion énergétique des bâtiments. Néanmoins, l'interopérabilité des différents dispositifs, tels que les smartphones, les ampoules, les volets ou les panneaux solaires, requiert de nombreux développements. Dédié à l'exploration des possibilités offertes par IPv6 pour étendre l'Internet des objets, le projet IoT6 a déjà rendu possible l'intercommunication d'appareils de tout type, ainsi que leur connexion avec Internet.

Yann Bocchi et al.

L'arrivée massive de nouveaux objets communicants et connectés – non seulement des smartphones et autres tablettes ou montres, mais aussi des ampoules, des télévisions, des volets, des panneaux solaires, etc. – ouvre de nombreuses perspectives notamment dans le domaine de la gestion énergétique des bâtiments. Cependant, ce phénomène a accéléré la pénurie des adresses Internet IPv4 (Internet Protocol version 4) nécessaires à cette connectivité. Le passage au protocole IPv6 va étendre la quantité d'adresses Internet disponibles, mais également offrir de nombreuses fonctionnalités supplémentaires notamment en termes de connectivité entre les appareils.

Le projet IoT6 (Internet of Things et IPv6), initié par la fondation Mandat International basée à Genève et financé par la Commission européenne, a justement pour objectif d'explorer les nouvelles possibilités d'IPv6 pour l'Internet des objets. La HES-SO y est doublement représentée par la HEIG-VD et la HES-SO Valais-Wallis et a notamment pour but l'application d'IPv6 à différents domaines, par exemple à la gestion énergétique des bâtiments intelligents.

Dans ce projet de recherche, la HES-SO se concentre sur l'intégration des systèmes, protocoles et objets existants (par exemple KNX, BacNET, etc.) pour les rendre accessibles de manière uni-

forme et transparente à travers le futur Internet des objets basé sur l'utilisation d'IPv6. IoT6 permet d'explorer plus en avant une technologie originale conçue et développée dans le cadre du projet UDG (Universal Devices Gateway) financé par la CTI (Commission pour la technologie et l'innovation) et initié par Archimède Solutions en collaboration avec la HES-SO Valais-Wallis en 2008.

Cet article présente les différentes facettes que doit prendre cette exploration pour, d'une part, rendre ces objets

interopérables en travaillant notamment sur les trois niveaux d'architecture d'un système (les appareils, les services et les applications) et, de l'autre, pour ensuite tirer profit des nouvelles possibilités ainsi offertes. L'Institut des Technologies de l'Information et de la Communication de la HEIG-VD se charge du développement des parties physique et logicielle nécessaires à la connectivité et à la communication sur le réseau avec les objets. L'Institut Informatique de gestion de la HES-SO Valais-Wallis s'occupe du système d'information permettant d'exposer au reste de l'Internet les fonctionnalités de ces objets sous forme de services nécessaires à l'élaboration de nouveaux scénarii d'utilisation et d'applications à forte valeur ajoutée. Finalement, la façon dont les résultats de ce projet pourront être utilisés pour l'Internet de l'énergie et notamment dans la gestion intelligente du microgrid (microréseau électrique intelligent à l'échelle d'un quartier) est décrite.

Vers un bâtiment connecté

Le projet CTI UDG de passerelle multiprotocolaire universelle [1] regroupant déjà la HES-SO Valais-Wallis et

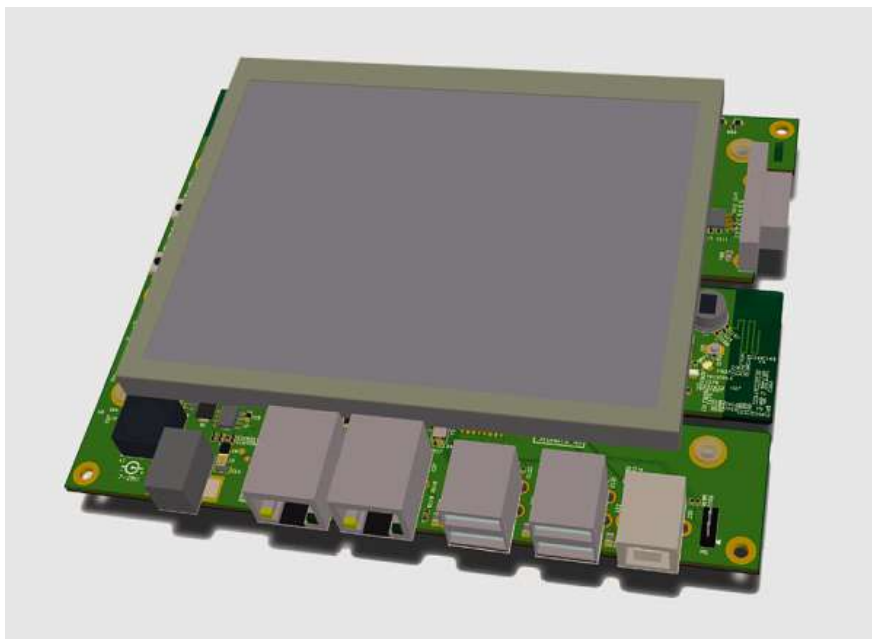


Figure 1 Vue de dessus de la carte multiprotocolaire réalisée (surface : 16 cm x 13 cm).

HEIG-VD

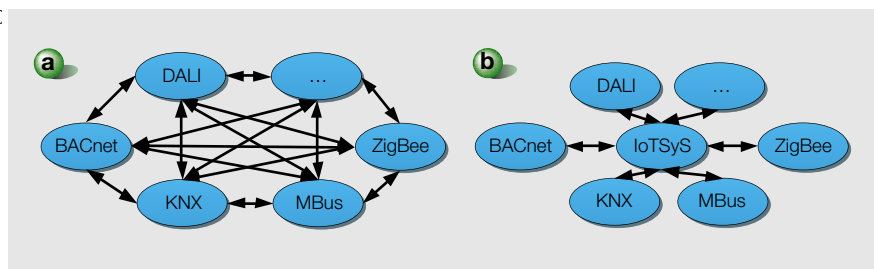


Figure 2 Intégration N-N (a) vs intégration 1-N (b).

Mandat International a démontré l'intégration et l'interopérabilité entre des objets hétérogènes utilisant différentes technologies et protocoles de communication, dont X10, KNX, ZigBee, Bluetooth, GSM/GPRS, DLNA (Digital Living Network Alliance), WiFi et RFID. Le concept de « smart IPv6 building » visant à intégrer l'ensemble des sous-systèmes intelligents d'un bâtiment à travers IPv6 pour ouvrir la voie à de nouvelles formes d'interactions était donc réalisable [2].

Objectif

Le projet IoT6 [3] a pour but d'approfondir ce concept initial et de l'élargir à l'ensemble de l'Internet des objets. Il s'agit en particulier d'explorer le potentiel d'IPv6 et des protocoles liés pour intégrer l'ensemble des domaines de l'Internet des objets, tels que les tags RFID, les réseaux de capteurs, les téléphones mobiles, les actionneurs domotiques et les services de « cloud computing » (SaaS, Software as a Service). IoT6 vise notamment à développer et à valider une architecture orientée service qui facilite l'intégration de ces différents composants.

Optimisation d'une carte multiprotocolaire

Le projet IoT6 a permis d'optimiser la carte multiprotocolaire développée pour le projet UDG en l'adaptant aux contraintes de l'Internet des objets et d'un déploiement réel. Afin de permettre la communication entre tous les appareils, il a fallu gérer leurs divers types de connecteurs. L'enjeu essentiel a consisté à concevoir, développer et tester une carte multiprotocolaire utilisant IPv6 comme protocole faîtière agrégateur de nombreux protocoles IP ou non IP. Cette carte devait :

- permettre une pluralité d'accès filaires (Ethernet, USB, PLC) ou non filaires (radio haut-débit de type WiFi ou à consommation réduite de type IEEE 802.15.4) ;

- autoriser la connectivité avec un ensemble de protocoles de communication utilisés dans la domotique ou la gestion de bâtiments ;
- être munie d'un certain nombre de capteurs et d'actionneurs embarqués ;
- avoir une faible consommation électrique afin de limiter son impact ;
- disposer d'un système d'exploitation puissant et modulaire de type Linux embarqué offrant une grande évolutivité ;
- être compacte, de dimensions raisonnables, flexible et pouvoir être facilement déployée pour les applications du projet.

Afin de profiter de ce qui semblait offrir le meilleur compromis entre la puissance de calcul requise et la faible consommation exigée, une architecture industrielle de type ARM9 a été retenue. Pour éviter l'écueil d'une carte conçue de A à Z depuis le hardware et ses drivers, il a été décidé de s'inspirer fortement de la plateforme SPEAr320 de ST-Microelectronics. Ceci a permis d'hériter de toute la puissance du firmware (micrologiciel intégré dans le hardware) déjà développé par ST-Microelectronics et de se concentrer sur l'optimisation du hardware.

L'un des problèmes rencontrés au cours des 14 premiers mois de conception a été l'obsolescence de certains composants. Une version industrialisable a finalement été réalisée avec des composants facilement disponibles sur le marché. Une carte de puissance accompagnant la carte principale a également été conçue pour le déploiement dans des scénarii de gestion de bâtiments.

La figure 1 montre une vue tridimensionnelle de la carte multiprotocolaire réalisée. Les différents connecteurs y sont visibles.

Développement d'un langage commun

Une fois les appareils connectés grâce à la carte multiprotocolaire, il a fallu s'intéresser au développement d'un langage commun afin que ceux-ci puissent se comprendre. En effet, l'un des grands enjeux de l'Internet des objets est lié aux

technologies héritées et non compatibles IP. Plus particulièrement, dans le domaine des systèmes d'automatisation des bâtiments, les appareils utilisent des technologies basées sur des protocoles propriétaires qui ne sont pas prévus pour être compatibles entre eux.

L'Internet des objets ne considère pas les périphériques comme des composants autonomes, mais comme des parties d'un système devant communiquer entre elles. Ces systèmes sont généralement construits sur trois niveaux d'architecture : les appareils, les services et les applications. Deux voies permettent d'obtenir l'interopérabilité entre des technologies n'étant pas compatibles (figure 2) :

- la voie N-N pour laquelle il est nécessaire d'effectuer une traduction entre chaque couple de technologies ;
- la voie 1-N nécessitant un système intermédiaire et qui correspond à la technologie développée par le projet UDG, voie choisie dans le cadre du projet IoT6.

L'objectif de ce système intermédiaire consiste à fournir aux applications un accès simple et standardisé aux appareils au travers de la couche de services. Pour ce faire, une interface commune permettant aux différents systèmes connectés à l'architecture IoT6 de communiquer les uns avec les autres a été définie. Le choix s'est porté sur une pile protocolaire utilisant le standard oBIX (Open Building Information Xchange) [5] pour créer une représentation de tous les types de systèmes ou ressources accessibles et le protocole CoAP (Constrained Application Protocol) [6] pour faciliter l'accès aux données via une interface de type RESTful¹⁾.

OBIX offre une interface standardisée pour le développement de services Web RESTful dans le domaine de la gestion intelligente des bâtiments en utilisant un modèle objet pour représenter les appareils. CoAP est un protocole logiciel destiné à être utilisé dans des dispositifs électroniques disposant de ressources limitées en termes de mémoire ou de puissance de calcul. Celui-ci leur permet de communiquer entre eux par le réseau Internet. Il est donc utile pour donner aux applications un accès standardisé aux services offerts par les appareils.

Une première version de ce système a été développée (figure 3). Ce dernier peut être implémenté dans la carte multiprotocolaire réalisée dans le cadre de

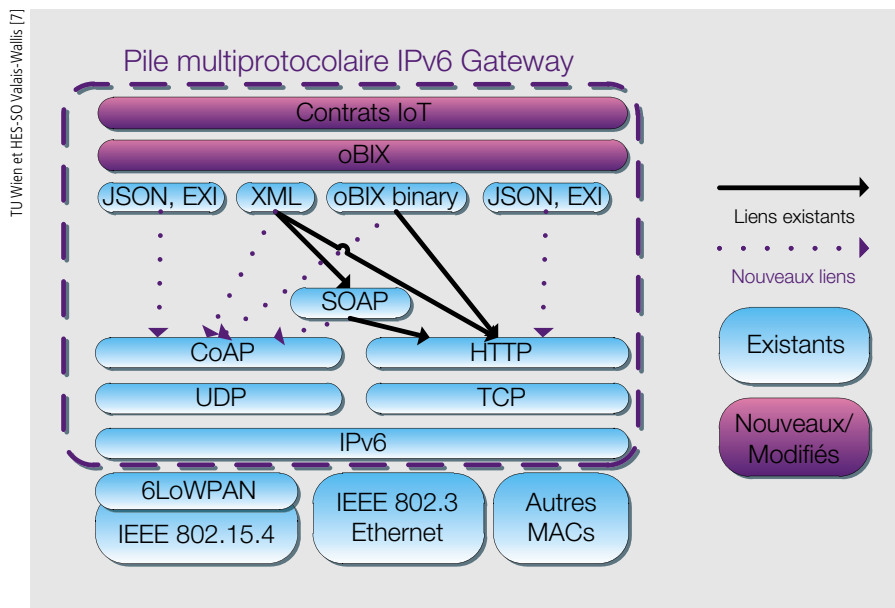


Figure 3 Pile protocolaire du système intermédiaire de communication.

ce projet. Il permet aux applications d'accéder de manière transparente aux appareils et services utilisant des technologies différentes en leur fournissant un moyen simple et efficace d'interagir avec eux.

Une passerelle IPv6 pour la communication avec Internet

À ce stade, les appareils sont capables de communiquer entre eux mais dans un périmètre restreint comme celui du réseau local d'un bâtiment. Pour rendre l'ensemble compatible avec le reste de l'Internet, il est nécessaire d'attribuer à tous les appareils une adresse IP grâce à une passerelle (proxy IPv6).

Étant donné que les appareils utilisant des protocoles comme KNX, BACnet, Zigbee, RFID, W-Mbus, EnOcean et Bluetooth ne supportent habituellement pas l'IPv6, le proxy IPv6 permet à ceux-ci d'être accessibles depuis Internet en leur assignant à chacun une adresse IPv6 et en faisant toutes les conversions nécessaires entre la couche technologique de l'ancien protocole et IPv6. Afin de faciliter l'intégration de ces appareils dans l'Internet, les adresses qui leur sont attribuées par le proxy satisfont les exigences suivantes :

- **Cohérence au sein d'un proxy** : un appareil doit recevoir la même adresse IPv6 chaque fois qu'il se connecte au proxy. Il est important d'éviter de reconfigurer les applications et les systèmes chaque fois que l'appareil se connecte au système.
- **Unicité au sein d'un proxy** : la partie hôte d'une adresse IPv6 doit être unique

pour chaque appareil. Cela permet d'éviter les conflits entre les appareils avec le même identifiant au sein d'un proxy.

■ **Evolutivité** : le système de lien doit être applicable à une très large gamme d'appareils tout en ayant des performances acceptables. Par exemple, le délai introduit ne doit pas affecter de manière significative la qualité perçue du service au niveau applicatif.

De ce fait, l'ensemble des appareils connectés au proxy est désormais accessible pour tout autre appareil, service Web ou application Internet.

Un système intelligent pour gérer ces appareils

Le projet IoT6 poursuit également le développement d'un logiciel de contrôle et de gestion (CMS, Control and Monitoring System) qui gère le comportement d'un système d'automatisation d'un bâtiment. Ce CMS est composé de règles dynamiques qui permettent d'agir sur les appareils composant le système, indépendamment des technologies utilisées. Ces règles peuvent être définies au moyen d'interfaces utilisateur accessibles, par exemple via des tablettes tactiles, rendant le tout facilement utilisable et paramétrable.

Le CMS fournit également des mécanismes pour l'échange d'information avec l'environnement externe pour deux raisons : dans le cas où un service Internet désire observer les actions ou événements qui s'échangent entre les appareils connectés au CMS ou si le comportement du système doit être

influencé par des facteurs externes. Pour les communications entrantes, le CMS fournit des services Web RESTful en utilisant le proxy IPv6 pour l'adressage des appareils. Tandis que pour les communications sortantes, il expose des API (Application Programming Interfaces) qui peuvent être utilisées pour communiquer avec ses composants.

Applications et perspectives

Les résultats du projet IoT6 permettent la communication avec tous les appareils, IP ou non IP. Grâce à cette connectivité entre appareils de tout type, et surtout leur lien avec le réseau Internet, de nouveaux champs d'exploration sont désormais ouverts.

L'énergie : un champ d'application de l'Internet des objets

Outre la communication entre les appareils, ces réalisations rendent désormais possible l'accès à de nombreuses données liées à la gestion énergétique. Il est à présent encore nécessaire de développer de nouveaux systèmes d'information capables de recueillir et de traiter ces données afin d'améliorer la gestion de la production, du stockage et de la consommation d'énergie.

Les informations relatives à ces trois derniers domaines sont indispensables à l'établissement de modèles statistiques du système électrique destinés à prévoir le comportement de ce dernier. Des facteurs externes comme la météo ou les heures d'ensoleillement peuvent également être pris en compte. Toutes ces données permettent, une fois réunies, d'effectuer des prédictions dans le but d'optimiser la consommation par rapport à la production. Au final, le système informatique de gestion d'un microgrid offrira la possibilité d'influencer le comportement du système électrique – par exemple en faisant fonctionner certains appareils sur leurs batteries lorsque l'ensoleillement est plus faible – afin d'adapter la consommation à la production.

Bien évidemment, ce système d'information interagit de manière dynamique et, grâce à l'historique des informations récoltées, des décisions prises et des résultats enregistrés, il peut contrôler ses performances en utilisant des logiciels basés sur des modèles mathématiques inspirés des domaines de « pattern recognition » (identification des modèles).

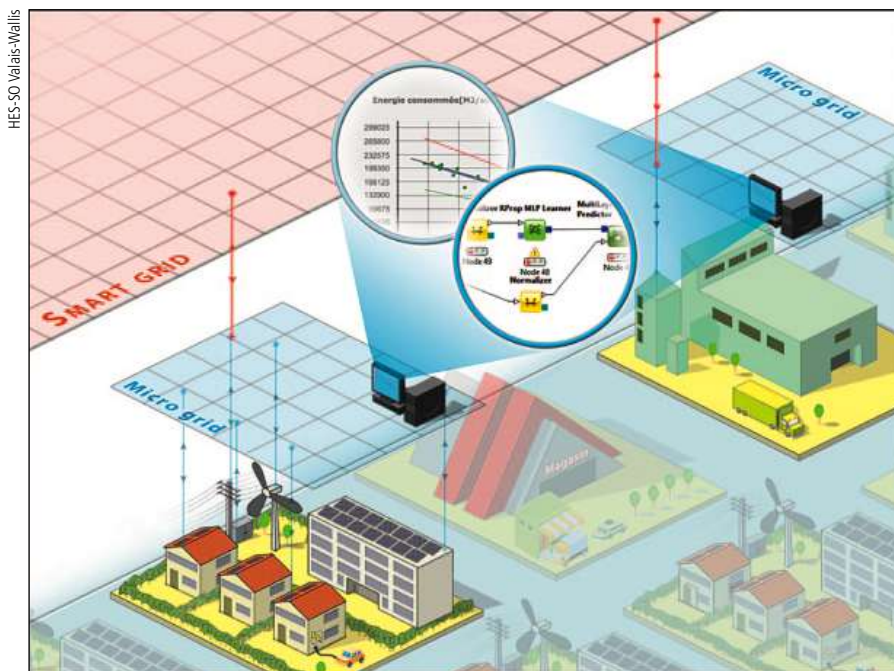


Figure 4 Récolte et analyse des données énergétiques afin de piloter un microgrid à travers l'Internet des objets.

Le microgrid: un outil pour la gestion énergétique intelligente

La notion de microgrid vise à construire un réseau électrique intelligent à l'échelle d'un quartier (figure 4). Il s'insère dans un contexte plus général de gestion intelligente du réseau à des échelles régionale et internationale (smart grids). Les microgrids peuvent être pilotés plus facilement si toutes les données sont prises en compte, soit la consommation, la production et le stockage, ainsi que les facteurs externes comme la météo.

Afin d'éprouver ce concept, un microgrid a été installé en collaboration avec Sierre Energie au Techno-Pôle de Sierre, site où se trouve l'Institut Informatique de gestion de la HES-SO Valais-Wallis. Ce quartier, avec sa centrale photovoltaïque ainsi que la cinquantaine d'entreprises résidentes, constitue un terrain de recherche et d'expérimentation en situation réelle idéal.

Actuellement, des informations sont récoltées au niveau du transformateur basse tension 400 V, des compteurs globaux des bâtiments et des compteurs individuels des entreprises localisées au Techno-Pôle. Les résultats du projet IoT6 permettront d'ajouter des informations fournies directement par les appareils, par exemple par le biais de l'installation de prises intelligentes calculant la consommation des appareils et offrant la possibilité d'interagir avec eux. Cela permettra de constituer des bases de données de référence d'appareils dans le but

d'analyser et comprendre les différents facteurs qui influent sur la gestion énergétique dans les bâtiments.

Des modèles statistiques de gestion énergétique pourront ainsi être conçus selon le type d'activité des composants d'un microgrid – un restaurant ou un bureau – afin d'optimiser l'utilisation des différents appareils concernés: chauffage, climatisation, stores, lumières, batteries, panneaux photovoltaïques, etc. L'implémentation de ces modèles ainsi que l'utilisation d'informations telles que l'ensoleillement, la température extérieure et intérieure ou encore le nombre de personnes présentes dans une pièce laisse envisager un pilotage intelligent d'un microgrid.

Conclusion

Le projet IoT6 offre aux instituts de recherche de la HES-SO une belle opportunité de développer et de valoriser leur savoir-faire dans des domaines porteurs, tels que l'Internet des objets ou la gestion énergétique. Les nouvelles compétences acquises bénéficient directement aux étudiants des formations bachelor ou master, que ce soit dans le cadre de l'enseignement ou en donnant la possibilité à certains d'entre eux d'effectuer leur travail de fin d'étude dans ces domaines. Il permet également de tisser un large réseau de contacts internationaux tant au niveau scientifique qu'économique.

Références

- [1] www.devicegateway.com.
- [2] www.smartip6building.com.
- [3] www.iot6.eu.
- [4] M. Jung, J. Weidinger, Ch. Reinisch, W. Kastner, C. Crettaz, A. Olivier et Y. Bocchi: A transparent IPv6 multi-protocol gateway to integrate building automation systems in the Internet of Things. Proceedings of the 2012 IEEE International Conference on Internet of Things, Besançon (France), 20-23 nov. 2012, ISBN: 978-0-7695-4865-4, pp. 225-233, 2012.
- [5] www.obix.org.
- [6] <http://datatracker.ietf.org/doc/draft-ietf-core-coap/>.
- [7] M. Jung, J. Weidinger, D. Bunyai, Ch. Reinisch, W. Kastner et A. Olivier: Demonstration of an IPv6 multi-protocol gateway for seamless integration of building automation systems into constrained RESTful environments. Proceedings of the 2012 International Conference on the Internet of Things, Wuxi (China), 24-26 oct. 2012, IEEE Press, ISBN: 978-1-4673-1346-9, pp. 211-212, 2012.

Informations sur les auteurs

Prof. **Yann Bocchi**, ingénieur-maître en informatique et télécommunication, responsable de l'unité Software Engineering à l'Institut Informatique de gestion de la HES-SO Valais-Wallis, est responsable du projet IoT6 pour la HES-SO.

HES-SO Valais-Wallis, 3960 Sierre, yann.bocchi@hevs.ch

Zusammenfassung

Das Internet der Dinge im Dienste des Energiemanagements in Gebäuden

Erkundung der Möglichkeiten von IPv6 mithilfe des Projekts IoT6

Die zunehmende Verbreitung von miteinander kommunizierenden Objekten bietet zwar viele Vorteile, besonders für das Energiemanagement in Gebäuden, beschleunigt andererseits aber einen Wechsel zum IPv6-Protokoll. Zudem erfordert die Interoperabilität der verschiedenen Geräte wie beispielsweise Smartphones, Leuchten, Rollläden oder Solarpaneele noch zahlreiche Entwicklungen.

Das Projekt IoT6, das sich mit der Erforschung der Möglichkeiten von IPv6 zur Erweiterung des Internets der Dinge befasst, hat bereits die Kommunikation zwischen Geräten jeder Art sowie deren Verbindung zum Internet ermöglicht. Dieses Projekt befasst sich auch mit der Entwicklung einer Steuer- und Monitoringsoftware (CMS, Control and Monitoring System), die das Verhalten eines Gebäudeautomationssystems steuern soll.

Diese Entwicklungen eröffnen neue Anwendungsgebiete, sei es im Bereich des grossflächigen Energiemanagements (Verbesserung des Managements in Bezug auf Energieerzeugung, -speicherung und -verbrauch), im Bereich des Microgrids oder auch bei der Untersuchung der Faktoren, die das Energiemanagement in Gebäuden beeinflussen.

CHe

Benjamin Nanchen, MScBA en management et ingénierie des services, est adjoint scientifique à l'Institut Informatique de gestion de la HES-SO Valais-Wallis.
HES-SO Valais-Wallis, 3960 Sierre, benjamin.nanchen@hevs.ch

Jean-Philippe Rey, ingénieur en électronique embarquée, co-fondateur et responsable technique de Novaccess SA, est responsable du développement de la plateforme hardware du projet IoT6.

HEIG-VD, 1400 Yverdon-les-Bains, jean-philippe.rey@heig-vd.ch

Alex C. Olivieri, Master in software engineering, est assistant doctorant à l'Institut Informatique de gestion de la HES-SO Valais-Wallis.

HES-SO Valais-Wallis, 3960 Sierre, alex.olivieri@hevs.ch

Gianluca Rizzo, PhD in computer science, est adjoint scientifique à l'Institut Informatique de gestion de la HES-SO Valais-Wallis.

HES-SO Valais-Wallis, 3960 Sierre, gianluca.rizzo@hevs.ch

Luc Dufour, ingénieur généraliste en systèmes d'information, est assistant doctorant à l'Institut Informatique de gestion de la HES-SO Valais-Wallis.

HES-SO Valais-Wallis, 3960 Sierre, luc.dufour@hevs.ch

Prof. **Dominique Genoud**, ing. dipl. EPFL en micro-technique, Dr ès sciences techniques en systèmes de communication, est professeur à l'Institut Informatique de gestion de la HES-SO Valais-Wallis.

HES-SO Valais-Wallis, 3960 Sierre, dominique.genoud@hevs.ch

Prof. **Hervé Dedieu**, PhD en électronique et traitement du signal, co-fondateur de plusieurs startups dont Netguardians SA, BrightNoise Sarl et Novaccess SA, est professeur à la HEIG-VD.

HEIG-VD, 1400 Yverdon-les-Bains, herve.dedieu@heig-vd.ch

Sébastien Ziegler, licencié HEI, directeur de la fondation Mandat International, est coordinateur du projet IoT6.

Mandat International, 1209 Genève, contact@mandatint.org

¹⁾ Les systèmes de type RESTful reposent sur une architecture REST (Representational State Transfer).