

**Zeitschrift:** Bulletin Electrosuisse  
**Herausgeber:** Electrosuisse, Verband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik  
**Band:** 106 (2015)  
**Heft:** 7

**Artikel:** Plates-formes IoT flexibles avec intégration automatique des objets  
**Autor:** Ouerhani, N. / Pazos, N. / Puceva, M.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-856675>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 29.03.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Plates-formes IoT flexibles avec intégration automatique des objets

## Concepts, réalisations et applications

Malgré le potentiel évident de l'Internet des objets, son expansion réelle dépendra des solutions apportées à ses défis majeurs, tels que la diversité, voire la fragmentation, des standards de communication et des formats de données au niveau des objets communicants. Une plate-forme IoT a été conçue et implémentée dans l'objectif de proposer des éléments de solutions, essentiellement logicielles, qui se laissent facilement adapter et personnaliser en fonction du type d'objets communicants à relier à une plate-forme IoT centrale.

**N. Ouerhani, N. Pazos, M. Puceva, M. Aeberli, J. Senn**

L'Internet des objets, ou Internet of Things (IoT), est un concept qui se base sur la mise en réseau, souvent via Internet, d'objets ou de dispositifs plus ou moins intelligents, mais surtout communicants. L'objectif consiste à récolter, consolider et exploiter les données générées par ces objets dans le but ultime de créer des services métiers innovants et hautement contextualisés.

### Motivation

Selon Gartner [1], avec 26 milliards d'objets connectés d'ici 2020, le marché de l'Internet des objets va représenter un volume de 300 milliards de dollars pour la même période. Or, cette croissance vertigineuse ne peut être garantie qu'en re-

levant les immenses défis technologiques qui y sont associés, tels que la gestion de grands volumes de données, la sécurité et la confidentialité de ces dernières, mais aussi la gestion de la fragmentation, également identifiée comme un défi majeur [2].

### Les défis de la fragmentation

La fragmentation, dans le contexte de l'Internet des objets, constitue un défi dû à la diversité accrue des normes et des standards qui sont utilisés pour rendre un objet communicant. Elle concerne essentiellement deux attributs relatifs aux objets et aux dispositifs communicants :

- les protocoles de communication que ces dispositifs utilisent pour envoyer et recevoir des données ;

et les formats utilisés pour structurer ces données échangées.

Le projet européen IoT6 [3] a exploré en profondeur le potentiel d'IPv6 pour connecter divers objets dans une architecture Internet des objets. Il a été clairement démontré qu'une utilisation à large échelle d'IPv6 pourrait contribuer à maîtriser les défis de la fragmentation.

Il est vrai qu'une telle utilisation d'IPv6 est envisageable à long terme. Néanmoins un grand nombre d'objets communicants ne se prêtent pas à ce type de protocole pour diverses raisons, comme la consommation et la portée. Pour ces objets, il existe d'autres protocoles plus appropriés, par exemple Bluetooth ou LoRa.

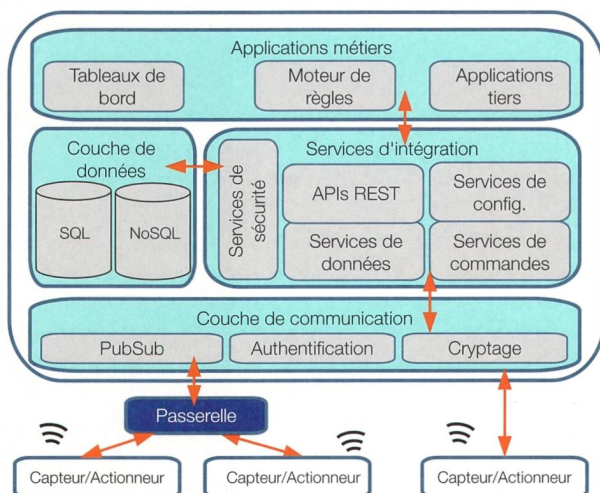
### Le projet ConnectOpen

Le projet ConnectOpen, dont une partie des résultats sont présentés dans cet article, est financé par la Commission pour la technologie et l'innovation (CTI). Il vise à développer une plate-forme IoT sécurisée et flexible qui permet de résoudre une partie du problème de la fragmentation et qui ne requiert pas une modification des protocoles de communication utilisés par les objets à connecter. Cette plate-forme, baptisée « stemys.io » [4], permet la connexion, rapide, de tout type d'objet utilisant n'importe quel protocole de communication.

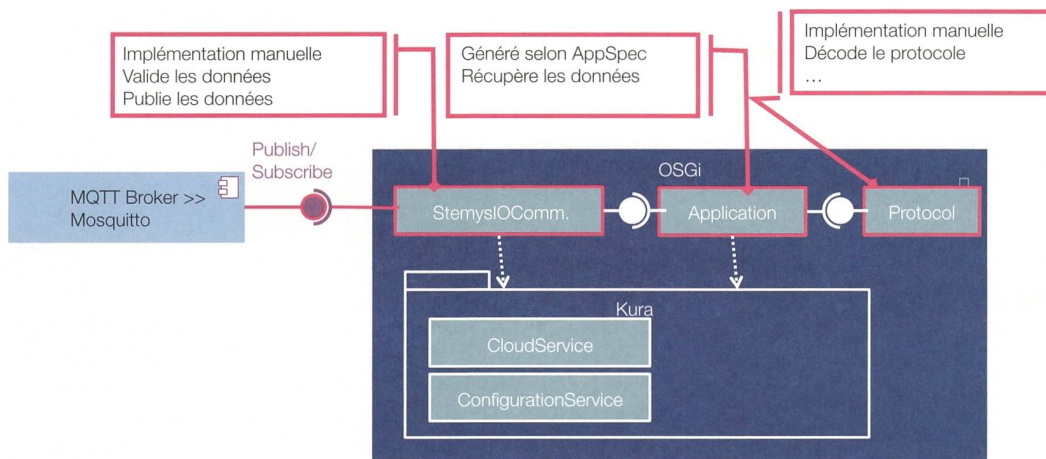
Cet article présente, d'une part, l'architecture et la réalisation de la plate-forme stemys.io et, d'autre part, une application spécifique utilisant cette solution. Les résultats de ces deux projets sont résumés en guise de conclusion.

### Architecture et implémentation de stemys.io

Plusieurs travaux antérieurs ont étudié différents aspects architecturaux des plates-formes orientées Internet des objets [5]. Un consensus émerge de ces différents projets et quelques architectures de référence ont été définies. La plate-forme stemys.io respecte les bonnes pratiques architecturales émises par ces différents travaux.



**Figure 1** Architecture de la plate-forme stemys.io.



**Figure 2** Architecture d'un agent de communication.

### Architecture

L'architecture de la plate-forme stemys.io, schématisée dans la **figure 1**, est composée de quatre couches essentielles, décrites en détail ci-dessous.

### Objets communicants

Il s'agit de capteurs et d'actionneurs intégrés dans un dispositif (carte électronique) capable de « remonter » des mesures (les transmettre au niveau supérieur) et de recevoir des commandes. En fonction des besoins et du domaine d'application, divers capteurs et actionneurs sont utilisés.

### Passerelle / Gateway

La passerelle est constituée d'une unité de traitement portable capable de communiquer avec les dispositifs et de remonter les mesures vers la plate-forme centrale. Elle permet également de relayer les commandes vers les dispositifs. Ce composant est un élément critique de la plate-forme IoT car il doit assurer la connexion de n'importe quel objet communicant, quels que soient le protocole utilisé et les données transmises.

C'est à ce niveau-là que le projet ConnectOpen réalise des éléments de solution destinés à la problématique de fragmentation. En effet, des solutions logicielles sont mises au point et déployées dans la passerelle pour permettre l'intégration rapide et flexible des objets communicants. Des détails d'implémentation de cette couche seront présentés plus loin.

### Couche de communication

Cette couche contient un bus de communication permettant le relais des données entre la passerelle et la plate-forme

centrale. Se basant sur le principe « publish/subscribe » (PubSub ou publication/souscription), ce bus de communication assure une performance et une extensibilité accrues.

### Plate-forme centrale

Il s'agit ici d'un ensemble de services qui tournent soit dans le « cloud », soit sur un serveur dédié permettant le traitement et l'exploitation des données. Les applications métiers sont intégrées à ce niveau. Il est à signaler que des services sécurisés sont mis en place pour ne permettre l'accès à ces données qu'aux utilisateurs et applications qui en ont l'autorisation.

### Implémentation

Cette section est consacrée à la description plus détaillée des programmes logiciels implémentés pour rendre la passerelle plus flexible et facilement extensible à de nouveaux objets communicants.

### Agent de communication

L'agent de communication (**figure 2**) est constitué d'un ensemble de logiciels qui permet, rapidement, de connecter des objets communicants jusque-là inconnus de la plate-forme. Pour ce faire, un « framework » (une structure logicielle) basé sur OSGi (Open Services Gateway initiative) [6] est utilisé pour développer, en Java, les trois modules essentiels pour la connexion d'objets communicants :

- Le module protocole : il permet de décoder un protocole, filaire ou sans fil, afin de pouvoir extraire les trames véhiculées par ce dernier. Ce module est développé une seule fois pour chaque nouveau protocole et peut être réutilisé par d'autres applications d'intégration.

Plusieurs modules protocoles ont été développés dans le cadre du projet ConnectOpen pour divers protocoles de communication comme ZigBee, 6LowPan, etc.

- Le module applicatif : celui-ci est dédié à l'analyse des trames véhiculées par un protocole, afin d'en extraire des informations pertinentes pour l'application pour laquelle l'agent de communication est développé. Ces informations sont mises en format standard pour leur remontée vers la plate-forme centrale. Ce module est fortement spécifique à une application donnée. Pour faciliter son développement, un générateur de code est réalisé dans le cadre de ce projet. Plus de détails sur le générateur d'agents de communication seront donnés plus loin.
- Le module de communication : sa fonction consiste à récupérer les données mises en format par le module applicatif et les remonter vers la plate-forme centrale d'une manière standard. Ce composant est développé une seule fois et dessert tout type d'application. Il est fortement réutilisable.

Les modules protocole, applicatif et de communication sont tous des composants OSGi.

### Générateur d'agent de communication

Le générateur d'agent de communication a pour objectif de faciliter et d'accélérer la réalisation du module applicatif de l'agent de communication qui est, comme indiqué, spécifique à l'application pour laquelle l'agent de communication est développé.

Le module applicatif de l'agent de communication a une double fonction. Premièrement, il doit analyser les trames de communication et en extraire les données pertinentes (payload) qui pro-

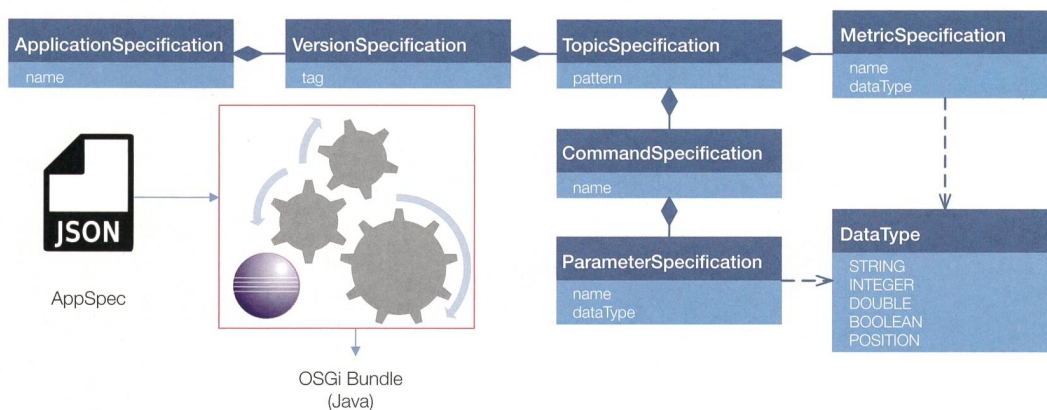


Figure 3 Structure du générateur d'agent de communication.

viennent des capteurs. Deuxièmement, il doit relayer les commandes provenant de la plate-forme centrale destinées à interagir avec les actionneurs intégrés dans les objets communicants. De ce fait, le module applicatif de l'agent communicant doit implémenter l'ensemble des commandes possibles pour l'objet communicant et récupérer l'ensemble de données et métriques possibles fournies par ce même objet.

Le générateur d'agent de communication est implémenté en Java sous forme de « plug-in » (module d'extension) Eclipse. Celui-ci reçoit en entrée une spécification (en JSON ou en XML) de l'application propre à l'objet communicant et fournit en sortie un composant OSGi, compatible avec la plate-forme stemys.io, qui peut être déployé sur la passerelle. La figure 3 schématise la structure du générateur et illustre les données de spécifications indispensables, notamment les métriques mesurées par l'objet communicant et les commandes que cet objet peut exécuter.

Le déploiement de l'agent de communication sur la passerelle se fait d'une manière intuitive et peut être automatisé à partir de l'interface graphique de la plate-forme centrale.

### Exemple d'application

Plusieurs applications ont été développées sur la plate-forme stemys.io. Parmi elles, « Opec », une application destinée à l'optimisation de l'éclairage public.

### Optimisation de l'éclairage public

Les travaux sur l'optimisation de l'éclairage public sont financés par la Haute école spécialisée de Suisse occidentale (HES-SO) [7] dans le cadre de son programme de recherche thématique « iNuit » (Internet of Things for urban innovation).

Le projet Opec vise à valider la technologie de contrôle automatique et dynamique de l'éclairage public en se basant sur des indicateurs environnementaux fournis par des capteurs spécifiques, et ce, tout en garantissant, voire en améliorant, le niveau de sécurité fourni par les technologies traditionnelles.

Ce projet a un effet collatéral : une PoT (proof of technology ou « mise à l'épreuve de la technologie ») de la supervision à distance de l'infrastructure de l'éclairage public (état des luminaires, consommation réelle, etc.). Ces PoT sont appliquées à un scénario bien déterminé, celui de l'optimisation de l'éclairage dans le cadre de manifestations (concerts, matchs, etc.). Pour atteindre ces buts, le projet poursuit les objectifs détaillés ci-dessous.

### Comprendre et spécifier les besoins en éclairage

Il s'agit de recueillir et de formaliser les besoins fonctionnels et les contraintes, en termes d'éclairage, des organisateurs de manifestations et des professionnels

de l'éclairage public. Différents aspects en relation avec l'éclairage public sont analysés :

- l'aspect géographique, qui permet d'identifier les éléments géographiques à considérer dans l'optimisation de l'éclairage public, comme le périmètre à éclairer intensivement autour du lieu de la manifestation, les rues y menant, les parkings réservés pour cet événement, etc. ;
- l'aspect environnemental, spécifiant les indicateurs environnementaux qui pourraient influencer l'intensité de l'éclairage à régler sans pour autant modifier le niveau de sécurité des usagers et des biens. La luminosité ambiante et la météo sont des exemples de tels indicateurs ;
- l'aspect lié au trafic, mettant en exergue la relation entre l'intensité du trafic routier ou piétonnier et le besoin en éclairage.

Des interactions avec des villes et des professionnels de l'éclairage public sont en cours afin de tenir compte des besoins réels relatifs à l'éclairage public.

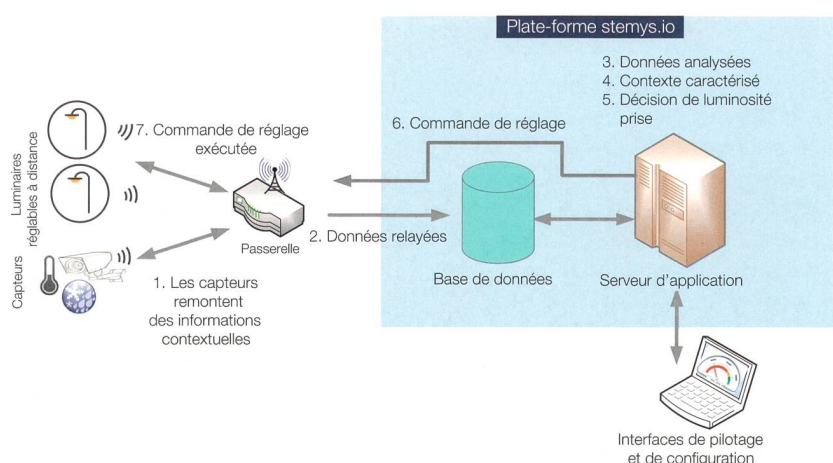


Figure 4 Concept de base de la solution d'éclairage public dynamique.

Figures : HE AC Ingénierie

### Sélectionner les capteurs adaptés

Il s'agit d'évaluer divers capteurs capables de mesurer les différents aspects importants pour l'optimisation de l'éclairage public décrits plus haut : par exemple des stations météo pour évaluer les indicateurs environnementaux ou des caméras pour quantifier l'intensité du trafic routier ou pédestre.

### Concevoir et implémenter des algorithmes de fusion de données

La décision de l'intensité de lumière à régler sur un luminaire doit prendre en considération les indicateurs pertinents pour l'éclairage public. La fusion des données provenant de capteurs différents est une problématique récurrente en informatique, qui a été largement traitée dans la littérature. Une multitude d'approches existent, allant de règles simples (rule-based) à des apprentissages avancés (machine learning). Néanmoins, le choix des algorithmes et des approches existants dépend essentiellement du domaine d'application. Dans le cadre de ce projet, les approches appropriées au contexte donné vont être analysées et les algorithmes de fusion de données seront sélectionnés sur la base de tests et de validations.

### Réaliser un démonstrateur

Il s'agit là de sélectionner et d'implémenter les composants matériels et logiciels pour valider les différents choix conceptuels et algorithmiques. Le démonstrateur (figure 4) est composé :

- de capteurs environnementaux et de trafic afin de quantifier les différents aspects pertinents pour l'éclairage mentionnés ci-dessus ;
- d'un luminaire réglable pour tester l'éclairage graduel en fonction des indicateurs mesurés ;
- ainsi que d'une plate-forme logicielle qui permet de traiter les indicateurs fournis par les capteurs, de fusionner les données afin de décider de l'intensité de lumière à régler sur le luminaire et, finalement, d'envoyer la commande de réglage de l'intensité lumineuse vers le luminaire. Actuellement la plate-forme stemys.io est utilisée pour réaliser le démonstrateur. À terme, le projet doit être intégré dans une plate-forme appelée iNuit qui est le fruit de divers projets de recherche financés par la HES-SO.

Un démonstrateur qui se base sur des indicateurs d'environnement et sur la détection de mouvement (voitures et piétons) est actuellement disponible.

L'extension et l'enrichissement de ces indicateurs, ainsi que leur fusion avancée, constituent la prochaine étape du projet.

### Conclusions

Le projet ConnectOpen a clairement contribué à trouver des solutions aux problèmes relatifs à la fragmentation dans le domaine de l'Internet des objets. Des approches logicielles novatrices ont pu être validées pour faciliter et accélérer la connexion de différents objets communicants, quel que soit le protocole de communication utilisé.

Le projet Opec démontre, quant à lui, la faisabilité et la validité de ces concepts novateurs pour résoudre des problèmes sociétaux concrets, comme l'optimisation de la consommation énergétique, tout en assurant une qualité de service élevée.

### Références

- [1] [www.gartner.com/newsroom/id/2636073](http://www.gartner.com/newsroom/id/2636073).
- [2] Debasis Bandyopadhyay, Jaydip Sen: Internet of Things - Applications and Challenges in Technology and Standardization. Wireless Personal Communications Vol. 58, No. 1, pp. 49-69, May 2011.
- [3] Projet européen IoT6. [iot6.eu/](http://iot6.eu/).
- [4] [www.stemys.io/](http://www.stemys.io/).

[5] Projet européen « Internet of Things – Architecture » (IoT-A). [www.ietf-a.eu/](http://www.ietf-a.eu/).

[6] OSGi Alliance. [www.osgi.org](http://www.osgi.org).

[7] [www.hes-so.ch](http://www.hes-so.ch).

### Auteurs

**Nabil Ouerhani** est professeur chargé d'enseignement en informatique au sein de la Haute école Arc Ingénierie. Ses activités de recherche se focalisent sur les architectures IoT et leurs applications à divers domaines, comme la smart city.

HE-Arc, 2000 Neuchâtel, [nabil.ouerhani@he-arc.ch](mailto:nabil.ouerhani@he-arc.ch)

**Nuria Pazos** est professeure chargée d'enseignement en informatique à la Haute école Arc Ingénierie. Ses activités de recherche se concentrent actuellement sur les systèmes communicants intelligents, ainsi que sur le design et l'implémentation de systèmes embarqués autonomes basse consommation.

HE-Arc, 2610 St-Imier, [nuria.pazosescudero@he-arc.ch](mailto:nuria.pazosescudero@he-arc.ch)

**Magdalena Punceva** est adjointe scientifique au sein de l'Institut de systèmes interactifs et communicants de la Haute école Arc Ingénierie (ISIC-Arc). Ses activités de recherche englobent des systèmes d'information distribués, l'analyse de données et les réseaux sociaux.

HE-Arc, 2610 St-Imier, [magdalena.punceva@he-arc.ch](mailto:magdalena.punceva@he-arc.ch)

**Marco Aerberli** est assistant de recherche au sein de l'ISIC-Arc. Il a participé au développement de ConnectOpen et plus particulièrement à celui de la communication M2M et des agents de communication.

HE-Arc, 2610 St-Imier, [marco.aerberli@he-arc.ch](mailto:marco.aerberli@he-arc.ch)

**Julien Senn** est assistant de recherche à l'ISIC-Arc. Il y travaille comme développeur software depuis 2007.

HE-Arc, 2610 St-Imier, [julien.senn@he-arc.ch](mailto:julien.senn@he-arc.ch)

### Zusammenfassung

#### Flexible IoT-Plattformen mit automatischer

#### Objektintegration

#### Konzepte, Realisierungen und Anwendungen

Trotz des offensichtlichen Potenzials des Internets der Dinge (IoT) hängt seine Ausbreitung von der Bewältigung der wichtigsten Herausforderungen ab, wie beispielsweise den vielfältigen Kommunikationsstandards und Datenformaten. Eine IoT-Plattform wurde entwickelt mit dem Ziel, vor allem Softwarelösungen vorzuschlagen, die je nach Art der kommunizierenden Dinge, die mit einer zentralen IoT-Plattform verbunden werden sollen, leicht angepasst und individualisiert werden können.

Diese Plattform – genannt «Stemys.io» – setzt sich aus vier Hauptschichten zusammen: den kommunizierenden Dingen (Sensoren und Aktoren), dem Gateway, der Kommunikationsschicht (die die Daten und Befehle zwischen Gateway und zentraler Plattform überträgt) und schliesslich der zentralen Plattform (Gruppe der Business-Dienste und -Anwendungen). Als zentrales Element muss das Gateway die rasche Integration jedes beliebigen kommunizierenden Objekts sicherstellen, unabhängig davon, welches Protokoll verwendet wird und welche Daten übermittelt werden. Dazu wurde ein Kommunikationsagent implementiert. Er besteht aus drei Hauptmodulen: dem Protokollmodul, das das Protokoll dekodiert und die Frames extrahiert, die von diesem transportiert werden, dem Applikationsmodul, das diese Frames analysiert, die darin enthalten wichtigen Informationen extrahiert und diese in ein Standardformat bringt und schliesslich dem Kommunikationsmodul, das diese Daten an die zentrale Plattform weiterleitet.

Während das Protokollmodul (das nur einmal pro Protokoll entwickelt wird) und das Kommunikationsmodul (das einmal entwickelt wird) leicht wiederverwendet werden können, ist das Applikationsmodul selbst anwendungsspezifisch. Um seine Entwicklung zu vereinfachen, wurde im Rahmen dieses Projekts ein Codegenerator konzipiert.

Diese neuen Konzepte konnten mithilfe mehrerer Anwendungen bestätigt werden, die auf der Plattform «Stemys.io» entwickelt wurden. Eine dieser Anwendungen, die gestützt auf Umweltindikatoren und Bewegungsmelder die öffentliche Beleuchtung bei Veranstaltungen optimieren soll, wird im Artikel näher beschrieben.

CHe