SPIE

Chaire IoT
SPIE - INSA Lyon

IOT DESIGN

QUELLES ARCHITECTURES ET COUCHES LOGICIELLES POUR L'IOT ?

Fog/Edge Computing
Cloud
C-RAN
FaaS
MQTT
GPU/TPU

INSA INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUÉES LYON

citi lab

SOMMAIRE

Édito de Frédéric Le Mouël et Laurent Maille 03

CHAPITRE 1
Des architectures Cloud aux architectures Edge/Fog Computing 04

CHAPITRE 2
Acteurs et technologies 06

CHAPITRE 3
Quelle stratégie pour les architectures IoT ? 08

Chaire IoT SPIE - INSA Lyon en chiffres 10

À propos 11

ÉDITO

IoT Design : quelles architectures et couches logicielles pour l'IoT ?

Portés par la miniaturisation et la réduction des coûts des puces électroniques, d'une part, soutenus par les technologies variées et des couvertures importantes de réseaux sans fil, d'autre part, nous assistons depuis plusieurs années à un usage important de périphériques mobiles et à un déploiement massif de capteurs et de boitiers passerelles – aussi appelé l'internet des objets (*Internet of Things* – IoT).

Ces périphériques s'insèrent dans notre vie quotidienne – comme les téléphones portables ou les enceintes connectées (Apple HomePod, Google Home, Amazon Echo), pour améliorer un service à l'utilisateur. Mais ils s'inscrivent également à plus large échelle dans un but d'optimisation : comme dans les véhicules autonomes pour réguler le trafic, dans la ville intelligente pour contrôler la qualité de l'eau, de l'air, réguler la pollution et les déplacements ou, dans l'industrie 4.0, pour créer de véritables jumeaux numériques afin d'améliorer la productivité des chaînes logistiques.

Cette instrumentalisation de notre environnement physique génère un flux très important d'informations. En conséquence, les architectures physiques et les réseaux actuels doivent être revisités pour éviter la saturation et les goulots d'étranglement – avec la 5G, Sigfox et LoRa par exemple–, et les architectures et les déploiements logiciels doivent également être adaptés pour fournir un traitement et un stockage en flux pour des prises de décision en temps réel.

Dans le cadre de la Chaire SPIE-INSA Lyon, nous étudions l'ensemble de la chaîne de remontée et traitement de l'information et présentons l'évolution de l'informatique dans les nuages (Cloud Computing) vers une informatique de bord de réseaux (Egde/Fog Computing).

FRÉDÉRIC LE MOUËL
Professeur des universités à INSA Lyon, directeur adjoint du CITI

LAURENT MAILLE
Responsable du service Incubation IoT & Smart Data, SPIE ICS

FRÉDÉRIC LE MOUËL,
45 ans, est diplômé d'un doctorat en informatique et télécommunications de l'université de Rennes 1 et d'une habilitation de l'INSA Lyon. Professeur des universités à l'INSA Lyon, il est directeur adjoint du laboratoire CITI et dirige l'équipe de recherche DYNAMID. Après avoir animé l'axe déploiement large échelle de la Chaire IoT, il en prend l'animation globale en 2019. Auteur d'une centaine de publications sur les systèmes distribués, il s'intéresse particulièrement à leur application dans les environnements large échelle dynamiques, comme l'IoT.

LAURENT MAILLE,
42 ans, est diplômé d'un master de sciences de l'université de Montpellier. Il intègre SPIE ICS en 2001 en tant qu'ingénieur développement. Responsable du service TMA (2009), il est nommé responsable du service Incubation IoT & Smart Data au sein de la direction Innovation en 2019.

CHAPITRE 1

DES ARCHITECTURES CLOUD AUX ARCHITECTURES EDGE/FOG COMPUTING

Les architectures Cloud

Les architectures Cloud présentent de nombreux avantages :

- fournir un point d'entrée unique pour les applications sous forme d'un ensemble d'interfaces de programmation (Application Programming Interface – API), comme Amazon EC2 API ;
- fournir des offres de virtualisation permettant de s'abstraire de la gestion de la maintenance de l'infrastructure (*Infrastructure as a service* – IaaS), des plateformes (*Platform as a service* – PaaS), des logiciels (*Software as a service* – SaaS) et même, maintenant, des fonctions (*Function as a service* – FaaS). Cette granularité permet d'allouer dynamiquement – de manière élastique – les ressources et de n'avoir qu'un coût correspondant à l'utilisation. Largement utilisées par les applications métiers pour du calcul et du stockage de données, les architectures Cloud présentent toutefois des désavantages pour certaines applications.

Pour les applications à base de flux continus d'information, comme le *streaming* audio ou vidéo et comme les remontées d'informations de capteurs, il est nécessaire d'effectuer également des traitements des stockages en continu pour une prise de décision quasiment en temps réel. Une architecture Cloud – hébergée par un centre de données géographiquement lointain – introduit un délai de temps de réponse de bout en bout non acceptable pour ces applications.

Introduites dans les années 1990, les architectures de périphérie (Edge Computing et Mobile Edge Computing – MEEC) consistent à décentraliser les traitements sur les équipements en bord de réseaux, c'est-à-dire sur les équipements passerelles auxquels sont reliés les capteurs. Au début des années 2010, les architectures « en brouillard », aussi appelées architectures géodistribuées (Fog Computing), sont fortement promues par l'entreprise Cisco. Les architectures Fog décentralisent et distribuent les traitements mais sur des mini *data centers* du réseau local ou de bord de cœur de réseau avec presque les mêmes mécanismes qu'une architecture Cloud.

Les architectures Edge/Fog Computing

Les architectures Edge/Fog Computing présentent de nombreux avantages :

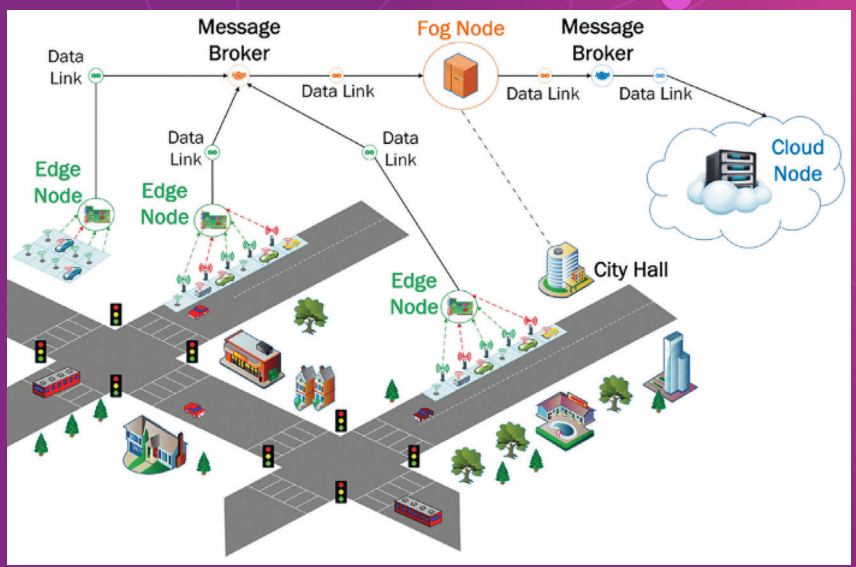
- amélioration du trafic réseau : le volume de données transitant jusqu'au Cloud final est réduit du fait de traitements locaux ; la latence diminue du fait de stockages locaux. Il en résulte qu'une meilleure qualité de service peut être garantie ;
- meilleure sûreté de fonctionnement :

la limitation géographique locale de l'environnement à gérer réduit le risque de panne externe affectant les applications ; le risque de goulot d'étranglement majeur et point de défaillance potentiel vers le Cloud est grandement diminué ;

- meilleure sécurité et préservation des données : le niveau de sécurité peut être adapté à l'application locale, avec une préservation géographique des données au plus proche de l'acteur concerné ;
- virtualisation pour une meilleure évolutivité : les mécanismes de virtualisation des architectures Cloud peuvent ici être appliqués pour gérer l'hétérogénéité de nouveaux capteurs ou passerelles et peuvent être également utilisés pour dimensionner dynamiquement les ressources locales à allouer selon le passage à l'échelle requis.

Les architectures Edge/Fog Computing nécessitent une intégration de nombreux systèmes pour rendre cette chaîne efficace de bout en bout :

- systèmes embarqués pour microcontrôleurs sur les capteurs (comme Contiki-NG, TinyOS, FreeRTOS ou RIOT) avec des préoccupations de réduction de communication et d'efficacité énergétique ;
- systèmes d'exploitation pour passerelles (comme Ubuntu-Core, Yocto Linux, Windows 10 IoT Core, Android Things) avec des préoccupations de gestion de multiples interfaces de communication (ZigBee, 6LowPAN, Bluetooth LE, LoRaWAN, Sigfox) et de gestion de matériels hétérogènes pour agrégations de données et calculs de proximité (ARM, GPU, TPU) ;
- bus distribués de messages (comme MQTT, AMQT, CoAP Proxies, DDS) avec des préoccupations de communications asynchrones, résilientes pour passage à l'échelle ;
- systèmes distribués et virtualisation pour *data centers Fog* (comme Kubernetes, *OpenStack*) avec du *Cloud* "self-service" avec de l'orchestration élastique de containeurs ou VMs (*auto-scaling, blue-green deployment*).



Source : Cao, H.; Wachowicz, M. "An Edge-Fog-Cloud Architecture of Streaming Analytics for Internet of Things Applications". Sensors 2019, 19, 3594.

CHAPITRE 2

ACTEURS ET TECHNOLOGIES

En dix ans, le trafic Web est passé de 0,7 % à partir de téléphones portables à 53 % en 2019[1]. Le type de données et de services a également grandement changé avec 60,6 % du trafic mondial réalisé par du *streaming* vidéo – contre 13,1 % pour le trafic en Web, en 2e position[2]. Cette évolution tend vers un internet mobile complètement intégré.

« Nous travaillons sur la prochaine génération de fondations pour la création de services à la demande qui maximisent l'utilisation efficiente des ressources virtualisées. »

JULIEN PONGE,
chercheur associé au laboratoire CITI et Principal Software Engineer chez Red Hat

« Nous cherchons à contrôler la complexité croissante des applications (IoT) de demain par l'usage d'architectures passant à l'échelle, adaptatives et évolutives vers tous les nouveaux outils de déploiement. »

PATRIK FORTIER,
doctorant au laboratoire CITI

Architectures Edge/Fog

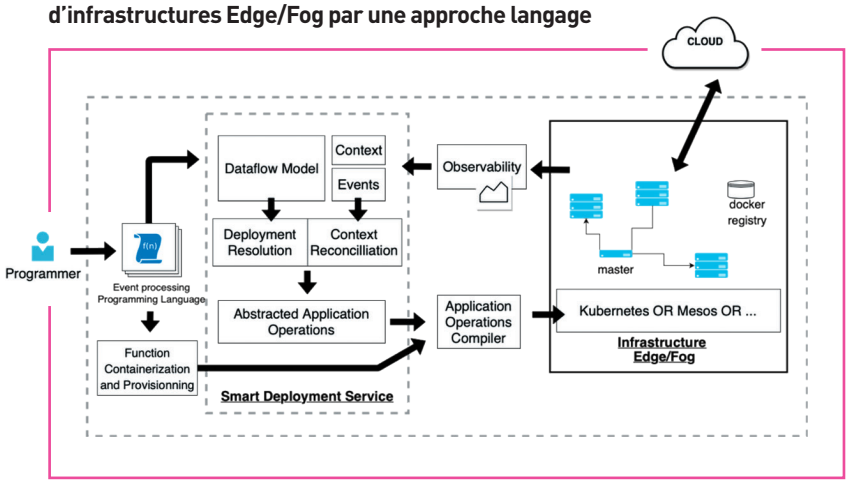
Cette tendance se retrouve avec les différents acteurs qui convergent autour des architectures Edge/Fog :

- des acteurs du monde de l'IT services et infrastructures Cloud – Google, Amazon, Microsoft, IBM – respectivement avec les technologies Edge TPU, AWS IoT for the Edge, Azure IoT Edge, Red Hat Quarkus / Openshift ;
- des opérateurs télécommunications de cœur de réseaux – Cisco, Huawei – respectivement avec Cisco NFV & Multi-Access Edge Computing, Huawei's 5G MEC & EC-IoT ;
- des opérateurs télécommunications utilisateur final /fournisseurs d'internet – ISP Orange, Free, Bouygues – avec des technologies de virtualisation C-RAN/OpenStack au niveau des stations de base et le support d'objets connectés dans leur « box ».

En 2015, le consortium OpenFog est fondé par ARM, Cisco, Dell, Intel, Microsoft, et l'université de Princeton, pour réfléchir à la conception et promotion de ces architectures. OpenFog publie, en février 2017 une architecture de référence pour le Fog Computing[3]. Cette architecture est standardisée par l'IEEE, en juin 2018 sous la référence « IEEE 1934-2018 - IEEE Standard for Adoption of OpenFog Reference Architecture for Fog Computing »[4] .

Dans le cadre de la Chaire sur l'internet des objets, nous développons au laboratoire CITI un système de déploiement automatique d'applications pour environnements Edge/Fog Computing (Figure 2).
Après que le développeur a spécifié son application, l'analyse du programme permet de "containeriser" les fonctions – c'est-à-dire de les encapsuler dans une archive autocontenue déployable. Le service intelligent de déploiement, à partir du modèle de flot de données entre les fonctions et à partir du contexte d'exécution, construit alors une architecture abstraite de containers à déployer. Selon l'infrastructure réelle existante, les containers sont alors compilés et spécialisés pour Kubernetes ou Mesos ou tout autre plateforme. Ce processus est dynamique et se répète en cas de changement de charge pour équilibrer entre plusieurs infrastructures hétérogènes ou en cas de mobilité de l'utilisateur pour que ces services le suivent (*service roaming*).

Figure 2 → Déploiement automatique et reconfigurable d'infrastructures Edge/Fog par une approche langage



(1) Source : Oberlo https://www.oberlo.com/statistics/mobile-internet-traffic

(2) Source : https://www.telecompaper.com/news/netflix-falls-to-second-place-in-global-internet-traffic-share-as-other-streaming-services-grow--1307811

(3) Source : OpenFog Consortium Architecture Working Group https://www.iiconsortium.org/pdf/OpenFog_Reference_Architecture_2_09_17.pdf

(4) Source : https://standards.ieee.org/standard/1934-2018.html

CHAPITRE 3

QUELLE STRATÉGIE POUR LES ARCHITECTURES IOT ?

CHIFFRES CLÉS

50
> milliards d'objets connectés dans le monde en 2020 (Source : Statista)

400 M€
> d'investissement dans l'IoT sur le marché français (Source : Statista)

94 %
> des clients qui ont réalisé un projet IoT mesurent des effets bénéfiques (Source : Statista)

85 %
> des entreprises ont budgété un projet IoT à court terme (Source : IDC)

La chaîne de valeur des architectures IoT est composée de passerelles, traitements locaux, intégration au SI. Cette superposition de couches technologiques est induite par l'augmentation des flux de données et l'hétérogénéité des données (capteurs d'entreprise, capteurs personnels, données externes). Les entreprises de services numériques (ESN) doivent apporter une réponse globale sur toute cette chaîne de valeur guidée par les besoins métiers. Pour cela, SPIE ICS intègre dans sa proposition de valeur les filiales métiers de SPIE : Industrie, Facilities, City Network, Nucléaire, Tertiaire.

Cas concrets d'architectures IoT

Afin de répondre aux enjeux métiers de ses clients, SPIE ICS apporte une réponse concrète en matière d'architectures IoT.

Collecte des données

La plupart des projets IoT sont réalisés dans un contexte hétérogène de matériels connectés et de technologies. SPIE ICS propose une passerelle pouvant traiter des formats d'entrée très divers tels que OPC-UA, Modbus, BACnet, BLE, MQTT, CoAp, Solace, AMQP, JSON, etc. Cette passerelle utilise des composants développés par SPIE ICS ainsi que le serveur Kepware de l'éditeur PTC. En fonction de la topologie de l'architecture IoT et de la distribution des données entre les différents nœuds (Edge/Fog/Cloud), le traitement peut être opéré par des modules de gestion de flux tels que Kafka, Storm ou Flink. Fort de son expertise et de son partenariat avec Nutanix, SPIE ICS propose des solutions de data centers locaux Fog Computing dans le cadre de projets à volumétrie de données importante ou lorsque le projet nécessite des traitements conséquents, comme l'exécution d'algorithmes d'intelligence artificielle. La connectivité est assurée grâce à la technologie sM2M by SPIE ICS pour sécuriser le transport entre le réseau local.

Traitement de la donnée, gestion et développement des applications

SPIE ICS propose une plateforme IoT composée de services applicatifs conçus par ses équipes d'ingénieurs en s'appuyant sur les grands acteurs du marché et des start-up (Azure, AWS, PTC, Pilot-things, etc.).

Stockage de la donnée

La donnée est stockée dans un ensemble Big Data composé d'une base de données de production et d'un *data lake* qui repose sur une base de données NoSQL Cassandra / DataStax. L'objectif de ce stockage est de répondre à l'augmentation des besoins de stockage avec une conception de dimensionnement automatisé.

Gestion et développement des applications

Le besoin IoT de chaque entreprise nécessitant une approche adaptée, spécifique et évolutive, la plateforme proposée permet une implémentation en microservices à l'aide d'une API Rest. En complément de développements spécifiques, SPIE ICS intègre un outil de *Mashup* permettant à des utilisateurs de créer des indicateurs graphiques ou des fonctionnalités dans un contexte *Low Code.*

« Afin de proposer une architecture adaptée aux besoins métiers, mon objectif est d'accompagner nos clients tout au long du projet, de la phase d'idéation jusqu'au passage à l'échelle. »

MARC LABAT,
Architecte

Une Chaire IoT pour IMAGINER LES USAGES DE DEMAIN

4 axes de recherche

- Déploiement de masse et logiciels embarqués pour l'IoT
- Sécurisation et respect de la vie privée
- Architecture de réseaux cognitifs
- Objets connectés : low energy, zero battery

01 juillet 2016 : signature officielle de la Chaire IoT

1 partenariat

SPIE et INSA Lyon, porté par la Fondation INSA Lyon

1 écosystème de partenaires

ADIRA, BOSCH, CA3B, EGIS, FFSTAR, IRT SystemX, Métropole Grand Lyon, MINALOGIC, RTONE, SIDD, SITIV, Visioglobe

3 ans de production et de transmission

20 publications
(18 conférences, 1 journal, 1 thèse)

38 missions,
dont 1 mobilité longue à Princeton

3 plateformes
- LoRa (2 antennes gateways)
- YOUPI (20 nœuds gateway/Edge IoT, 1 cloud)
- UrPolSens (12 capteurs de qualité de l'air)

1 plateforme exploratoire : SCENE
(prévision 5 capteurs parking, 20 capteurs QVT, 2 clouds)

1 école d'hiver européenne IoT
avec 30 participants

9 recrutements au sein de la Chaire
(7 doctorants, 1 ingénieur, 1 stagiaire)

28 diplômés INSA Lyon recrutés chez SPIE,
10 apprentis et 21 stagiaires depuis 2016

À PROPOS...

... de SPIE ICS

Filiale de services numériques de SPIE France, SPIE ICS est spécialisée dans les services liés aux infrastructures ICT, depuis l'environnement utilisateurs jusqu'au data center. Sa vocation est de « co-construire » avec ses clients ETI et grands comptes des services innovants adaptés à leurs métiers, pour accompagner la transformation digitale et simplifier l'expérience du numérique.

... de SPIE France

SPIE France filiale du groupe SPIE, est un acteur majeur de la transition énergétique et numérique. Ses cinq filiales interviennent sur quatre marchés stratégiques : e-fficient Buildings, Smart City, Energies et Smart Industry.

... de SPIE

SPIE est le leader européen indépendant des services multitechniques dans les domaines de l'énergie et des communications.

www.spie.com
@spieicsfrance
@spiegroup

... de l'INSA Lyon

L'INSA Lyon est l'une des plus Grandes Écoles d'ingénieurs françaises. Pluridisciplinaire, internationale, elle forme en cinq ans des ingénieurs pluricompétents, humanistes, innovants et dotés d'un esprit entrepreneurial. Premier des INSA, créé en 1957 avec une ambition d'ouverture sociale, l'INSA Lyon diplôme plus de 1000 ingénieurs par an dans 9 spécialités, et délivre environ 150 doctorats par an et une centaine de mastères. L'INSA Lyon est, avec 770 enseignants, enseignants-chercheurs et chercheurs et 23 laboratoires, un pôle de recherche internationalement reconnu.

www.insa-lyon.fr
@insadelyon

... du laboratoire CITI

Le CITI, Centre of Innovation in Telecommunications and Integration of Service, est un laboratoire académique associé à l'INSA Lyon et à l'INRIA. Ses domaines de recherche relèvent des sciences du traitement de l'information, des réseaux et des communications pour adresser les problèmes liés au développement de l'internet des objets.
Ces réseaux planétaires d'objets fournissent un continuum numérique pour lequel le laboratoire CITI propose des architectures hétérogènes de communication sans fil incluant la mobilité, différents protocoles d'accès, des systèmes embarqués autonomes, des services distribués ubiquitaires et adaptables.

www.citi-lab.fr
@citi_lab

www.spie-ics.com

SPIE ICS

148, avenue Pierre Brossolette
92247 MALAKOFF Cedex
Tél. : +33 (0)1 41 46 41 46
Fax : +33 (0)1 41 46 41 47

INSA Lyon

20, avenue Albert-Einstein
69100 VILLEURBANNE
Tél. : + 33 (0)4 72 43 83 83
Fax : + 33 (0)4 72 43 85 00

Conception-Réalisation : MotàMeaux

SPIE

INSA INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES APPLIQUÉES LYON

citi lab