

# Internet des objets et interopérabilité des flux logistiques: état de l'art et perspectives

David R. Gnimpieba Z.<sup>1,2</sup>  
davgnimpie@gmail.com

Ahmed Nait-Sidi-Moh<sup>1</sup>  
ahmed.nait@u-picardie.fr

David Durand<sup>2</sup>  
david.durand@u-picardie.fr

Jérôme Fortin<sup>1</sup>  
jerome.fortin@u-picardie.fr

<sup>1</sup>Laboratoire des Technologies Innovantes (LTI)  
Université de Picardie Jules Verne (UPJV)  
48 Rue Raspail,  
02100, Saint Quentin

<sup>2</sup>Laboratoire Modélisation Information & Systèmes (MIS)  
Université de Picardie Jules Verne (UPJV)  
33 Rue Saint Leu,  
80039, Amiens

## Abstract

L'Internet des Objets (IdO) est un concept en pleine expansion ces dernières années. Il permet de relever certains défis technologiques auxquels la communauté fait face dans la vie de tous les jours. Cet article a pour objectif de présenter une revue de littérature sur les développements récents des technologies de l'IdO et sur leur utilisation dans la gestion de processus et des pratiques logistiques. Il accorde une importance particulière à la collecte et le traitement des données issues des capteurs et des puces RFID, et à leur utilisation pour une chaîne logistique communicante, intégrative, flexible et collaborative.

## General Terms

Logistics flows, Internet of Things, Cloud Computing, Collaborative business process, Interoperability, Middleware, Architectures.

## Mot Clés

Flux logistiques, Internet des Objets, Cloud Computing, Processus métier collaboratifs, Interopérabilité, Middleware, Architectures.

## 1. INTRODUCTION

Cet article présente une revue de littérature au sujet des technologies de l'Internet des Objets et leur application à la gestion et l'exploitation de la chaîne logistique dans son ensemble. Plusieurs travaux de recherche ont abordé et développé ce sujet d'actualité avec des études détaillées de synthèse au sujet des middlewares, des protocoles de communication et des plateformes de service et de tests [7, 8, 26, 47]. A travers ce papier, nous proposons un état de l'art sur l'utilisation des technologies de l'Internet des Objets pour les problèmes de gestion, de pilotage et de coordination de flux et pratiques logistiques (production, distribution, transport, maintenance, vente, marketing, management), à partir des informations collectées par des capteurs sur des objets physiques. Le reste du papier est organisé selon le plan suivant : la section 2 présente quelques concepts de base au sujet de l'IdO et les flux logistiques.

La section 3 présente les technologies, les architectures et les standards de l'IdO. Dans la 4<sup>ème</sup> section, nous présentons l'apport de chaque type de technologies et standards sur la coordination des flux logistiques. Enfin, nous concluons ce travail avec une discussion éclairant les avantages de l'IdO pour la gestion des flux logistiques, et en proposant les pistes retenues pour nos futurs travaux dans ce domaine.

## 2. CONCEPTS ET DEFINITIONS

### 2.1 L'Internet des objets

L'Internet des objets est une révolution technologique dans le domaine de l'informatique et des télécommunications [26, 34]. L'IdO fait référence à une variété d'équipements et de systèmes d'informations de détection tels que les réseaux de capteurs, des dispositifs de lecture (RFID, code à barres), de systèmes de localisation et de communication courte portée basés sur la communication machine à machine (M2M), à travers le réseau Internet pour former un réseau plus grand et plus intelligent [46]. Cette révolution est basée sur une évolution constante de l'Internet, des technologies et des logiciels, des protocoles de communication, des capteurs embarqués qui ne cessent d'être améliorés, des objets physiques de plus en plus intelligents et capables de fournir des informations et de percevoir en temps réel leur environnement [8]. L'IdO peut être vu sous deux angles, soit centré sur l'Internet ou centré sur l'objet. Quand elle est centrée sur l'Internet, les services sont la composante principale de son architecture et les objets contribuent en l'alimentant par des données. Lorsqu'elle est centrée sur l'objet, le centre de l'architecture devient l'objet et on parle de cloud des objets. Le cloud des objets apparaît donc comme une plateforme d'objets permettant un usage intelligent des infrastructures, des applications et de l'information à coûts réduits [35].

L'IdO repose sur un large panel de technologies, de protocoles, de réseaux et de concepts : des infrastructures réseaux, de nouvelles plateformes logicielles, matérielles et de services. L'IdO est en particulier associé à l'identification et la traçabilité via l'intégration des puces RFID (*Radio Frequency Identification Systems*) ; le web sémantique, les nanotechnologies, la mobilité, l'ubiquité, le *crowdfunding* [21]. Cette mutation constante et évolutive des technologies et

l'avènement de nouvelles plateformes, de nouveaux services et de nouvelles architectures entraînent de nouvelles perspectives, de nouveaux marchés avec des enjeux économiques, sociaux, politiques, éthiques, sécuritaires et réglementaires larges et variés.

Nous pouvons citer comme défis à relever l'intégration et le partage de données sur des plateformes Cloud, la sécurisation des données personnelles des utilisateurs (liberté et confidentialité), la bonne gouvernance (transparente et démocratique), l'harmonisation des standards, des réseaux et les aléas de la compétition économique [7]. La gestion de la chaîne logistique s'inscrit dans cette perspective et occupe une place prépondérante parmi les champs d'application de ces nouvelles technologies et concepts liés à l'IdO. Nous pouvons citer à titre d'exemple des problématiques traitées dans le domaine de la logistique, comme abordé dans [47], telles que l'aide à la gestion et à la prise de décision, l'optimisation des stocks, l'amélioration de la qualité de service, l'identification par radiofréquence, le suivi temporel des produits et des processus.

## 2.2 La chaîne logistique

La logistique peut être considérée comme l'intégration et la collaboration d'un ensemble d'activités dont le but est de planifier, mettre en œuvre et contrôler un flux de matières, de produits semi-finis et produits finis, de leur point d'origine au point de consommation. Parmi ces activités, on trouve la planification et la prévision, le contrôle et le stockage, la manutention, le traitement des commandes et la distribution, le marketing, l'achat, l'emballage, le service après vente [9]. Toutes ces activités entraînent des flux d'informations relatifs aux produits et des flux financiers, dont l'optimisation est un enjeu déterminant pour la compétitivité des entreprises. La maîtrise des flux (flux physique et flux d'informations) permet de prendre des décisions stratégiques et tactiques pour la bonne gouvernance de l'entreprise en fonction des contraintes spécifiques qui peuvent être financières (coût d'immobilisation des stocks, encours), physiques (localisation des entrepôts) ou environnementales (réduction de la pollution, des déchets et de la consommation d'énergie) [39].

De nombreux outils et logiciels ont vu le jour afin de faciliter la maîtrise de ces flux. Parmi ces outils nous pouvons citer les ERP (*Enterprise Resource Planning*), les APS (*Advanced Planning System*), les WMS (*WareHouse Management System*), les TMS (*Transport management System*) les CRM (*Customer Relationship Management*) [17]. La plupart de ces outils peinent à s'adapter aux nouveaux défis de la chaîne logistique actuelle, à savoir l'incertitude de la demande, la coordination et la gouvernance globale de la chaîne logistique [45], la collaboration des acteurs de la chaîne pour un contrôle intelligent et dynamique [20], la flexibilité de la chaîne afin de mieux répondre aux exigences de la demande du client [27]. De même, ces outils doivent faire face à la gestion du risque et la prise de décision au niveau local et global pour une chaîne logistique décentralisée [42]; l'interopérabilité des réseaux logistiques avec les contraintes d'hétérogénéité des normes et des standards. La gestion et l'exploitation du flux d'informations générés par les réseaux et les plateformes logistiques comme valeur ajoutée pour la compétitivité des entreprises, et comme vecteur de création de nouvelles structures et de nouveaux

marchés (« entreprises virtuelles », « entreprise 2.0 ») représentent des défis à prendre en compte par les outils susmentionnés [23].

L'internet des objets tel que présenté précédemment contribue à la résolution de certains de ces grands défis. Nous citons à titre d'exemple l'identification par radio fréquences des produits et des objets logistiques (RFID, NFC (*Near Fields Communication*)) dont les usages sont multiples : traçabilité des produits, gestion de la chaîne de production, gestion des abonnés dans les transports et les loisirs, paiement électronique.

## 3. LES TECHNOLOGIES DE L'INTERNET DES OBJETS

L'internet des objets vise à connecter des objets entre eux via les protocoles d'Internet. L'objet représente ici tout ce qui nous entoure (machines, téléphones mobiles, ordinateurs, capteurs) [44]. Pour atteindre cet objectif, il est impératif de pouvoir identifier les objets, leur attribuer une interface virtuelle afin qu'ils puissent communiquer avec leur environnement. Il est important de noter que plus de six milliards d'objets seront connectés d'ici 2015 [40]. Les domaines technologiques couverts par l'IdO sont larges et variés, comme illustré par le diagramme de déploiement de la figure 1.

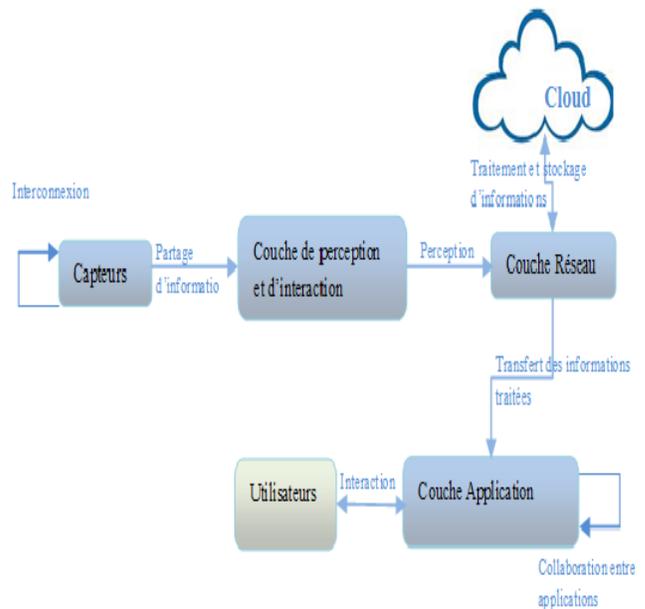


Figure 1 : Diagramme de déploiement dans l'IdO [44].

Dans ce qui suit, nous présentons une liste non exhaustive des différents concepts et technologies de l'IdO et leurs applications dans le domaine de la logistique.

### 3.1 Architectures, protocoles et algorithmes

De nouveaux modèles d'architecture permettent d'intégrer des capteurs et le réseau Internet. Cette communication entre un capteur et le Cloud se fait par une couche virtuelle qui implémente le fonctionnement des capteurs réels. Une telle couche donne naissance à de nouvelles architectures appelées réseaux de capteurs (*Sensor Cloud*) ou Cloud des capteurs virtuels [22]. Avec une telle architecture il est possible de créer des services basés sur des capteurs virtuels, c'est-à-dire des environnements de capteurs distribués géographiquement et pouvant être utilisés à la demande par plusieurs utilisateurs.

Dans le domaine de la logistique, et en particulier dans la gestion des parcs éoliens, de telles architectures sont utilisées pour la transmission de données à des fins de maintenance préventive. Dans ce domaine, beaucoup d'autres applications sont en cours afin de coupler des algorithmes d'optimisation mathématiques à des services web pour mieux exploiter les données récoltées par les capteurs afin de fournir de meilleurs outils et services de maintenance [19]. Avec l'IdO, des milliards d'objets seront connectés à l'Internet, chaque objet possédant éventuellement ses propres capteurs. Cet écosystème pose des problèmes d'identification et de localisation d'objets et de services (capteur, actionneurs, palettes, conteneur, service, ...) de façon unique dans l'Internet, et rend plus difficile encore la gestion de l'énorme volume d'informations généré par ces réseaux de capteurs. Pour répondre à cette problématique, plusieurs protocoles et algorithmes ont vu le jour, parmi lesquels CASSARAM, un middleware proposant des modèles de découverte basés sur la sémantique; l'ONS (*Objects Naming Service*) pour adresser de façon unique des objets sur internet afin de faciliter la recherche et l'identification des objets, améliorer la communication entre les objets et les plateformes du Cloud [48]. L'ONS est un service de nommage qui permet de diffuser des informations sur la source d'un produit, depuis le fabricant jusqu'au consommateur. Il est basé sur le même principe que le DNS (*Domain Name System*), pour y accéder il suffit de connaître l'identifiant du produit EPC (*Electronic Product Code*), ou le GTIN (*Global Trade Item Number*) [32].

Plusieurs architectures (2-Tiers, 3-Tiers) couplant la chaîne de production à l'IdO ont été proposées dans le but de mettre en place des plateformes de fabrication basées sur le Cloud Computing [25], il en est de même pour les outils permettant de piloter la chaîne de production à partir d'étiquettes RFID, à l'instar de la gamme de produits *IFM* utilisé dans la chaîne de production. Une application de ces nouvelles architectures basées sur l'IdO en logistique est la chaîne de production où il est question de partager les ressources (machines, robots) et les capacités de production de façon optimale, et faire de l'allocation de ressource à la demande [37]. Une autre fonctionnalité de cette application est la possibilité d'utiliser ces protocoles pour renseigner le client sur l'origine et le contenu du produit. En intégrant les données des capteurs à des plateformes Cloud, les architectures de l'IdO donnent des possibilités d'utilisation plus larges qui dépassent la sphère de la logistique.

### 3.2 Technologies d'interfaçage (RFID, NFC, Zigbee) dans l'IdO

Plusieurs technologies sont utilisées pour faire communiquer un objet avec l'Internet, parmi lesquelles RFID, NFC, le protocole de communication Zigbee [49]. D'autres solutions sont en cours de développement tels que les systèmes d'identification acoustiques, les micro-ondes, les systèmes optiques, l'utilisation de l'ADN, le marquage logiciel ou l'intégration des puces dans la conception des objets [18].

La RFID est constituée d'un couple lecteur/étiquette. Le lecteur envoie une onde radio, l'étiquette envoie à son tour une trame d'identification. Une fois la puce alimentée, l'étiquette et le tag communiquent suivant le protocole TTF (Tag Talk First) ou ITF (Interrogator Talk First). Dans le mode TTF l'étiquette transmet en premier les informations contenues dans la puce à l'interrogateur. En mode ITF, l'interrogateur envoie une requête à l'étiquette, et cette dernière répond par la suite. Il existe trois types d'étiquettes, les étiquettes passives, actives et semi-actives. Les premières n'ont pas leur propre source d'énergie : une petite quantité d'énergie leur est fournie par le champ magnétique induit par le lecteur au moment de l'identification. Les tags actifs sont quant à eux alimentés par piles, ils sont capables d'envoyer eux-mêmes des informations d'identification sans sollicitation d'un lecteur. Les semi-actifs utilisent un mécanisme hybride : auto-alimentés, ils ne s'activent qu'à la demande du lecteur, permettant une plus faible consommation d'énergie que les tags actifs. La distance de lecture des puces RFID varie de quelques cm à quelques mètres (10 m), et peut aller au-delà (200 m) avec des technologies de communication longue portée [31]. Le principe de fonctionnement de la technologie RFID est illustré dans la figure 2.

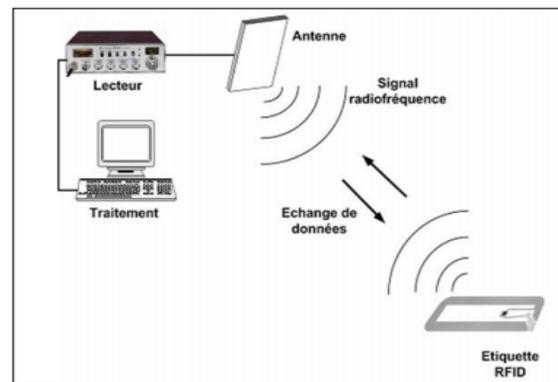


Figure 2 : Principe de fonctionnement de la RFID

La technologie NFC est le résultat de plusieurs évolutions des microcontrôleurs, des cartes à puce, et des communications à courte portée [31]. NFC est basée sur le même principe que la RFID, c'est-à-dire l'identification par radio fréquence. Elle permet l'échange d'informations à courte distance entre deux objets (un lecteur et une carte) sans contact, et fonctionne suivant deux modes : le mode passif et le mode actif. En mode passif, le terminal de l'utilisateur émule une carte à puce et acquiert de l'énergie des radiations

du lecteur (téléphone mobile par exemple). En mode actif, le terminal se comporte comme un lecteur d'étiquettes électroniques (code à barres, étiquettes 2D) et possède sa propre source d'énergie [46] (une batterie embarquée par exemple). NFC permet à l'utilisateur d'échanger des informations avec son environnement, notamment dans le domaine des transports, des loisirs, des achats, ou la lecture d'informations sur des panneaux d'affichage. L'utilisation de la NFC facilite la gestion des données de ventes dans la chaîne logistique, la gestion et la validation de tickets de bus dans le transport urbain [11]. Lorsqu'un utilisateur scanne un tag NFC, il peut en outre avoir accès à des informations sur le produit (origine, fabricant, contenu/ingrédients, procédé de fabrication) [36].

Zigbee est un protocole de communication sans fil à bas coût qui permet des échanges à courte distance entre les nœuds d'un réseau WPAN (Wireless Personal Area Networks). Ce protocole est basé sur la norme IEEE 802.15.4 qui spécifie les protocoles de communication entre les couches physiques et liaison de données du modèle OSI, en définissant trois types d'équipements : les FFD (Full Function Devices) qui sont des équipements à fonctionnalité complète, les RFD (Reduce Function Devices) équipements à fonctionnalité réduite, et les coordinateurs de réseau. Les FFD coordonnent l'ensemble du réseau, ce sont des coordinateurs PAN (Personal Area Network), routeur ou dispositif relié à un capteur. Les RFD sont conçue pour des applications simples comme l'allumage d'une lampe. Les RFD ne peuvent communiquer qu'avec un FFD [49]. Parmi les avantages que procure ce protocole de communication, nous pouvons citer la faible consommation d'énergie, l'utilisation optimale de la bande passante, et son faible coût de mise en œuvre. Ces avantages permettent d'adopter le protocole Zigbee dans les environnements embarqués et les réseaux industriels, ou le développement de nouveaux produits basés sur ce protocole [49].



Figure 3 : Module de communication XBee

XBee peut être utilisé pour la transmission de données entre les objets logistiques (capteurs sur conteneurs, étiquettes RFID sur les produits) et les environnements Cloud (traitement de données, *Big Data*, Services Web).

### 3.3 Réseaux de communication (GSM, UMTS, LTE/LTE-A, WSN, VANET) dans l'IdO

Avec l'avènement de l'IdO, un autre défi est celui de la mise à disposition des réseaux de communication fiables, tant au niveau des infrastructures qu'au niveau des protocoles de

communication. Ce défi est lié entre autres à la mobilité des objets, à l'hétérogénéité des données et des plateformes, à l'accès à l'information depuis n'importe quel lieu, à n'importe quel moment et à travers n'importe quel dispositif (PDA, Smartphone, tablette), ce qui rend plus ardue la standardisation des protocoles et des algorithmes. De plus, le volume de données à transmettre par les capteurs pose un grand souci sur la disponibilité de la bande passante, d'où la nécessité de mettre en œuvre des réseaux adaptés à ces nouvelles contraintes. Dans la littérature, il est mentionné deux approches, l'utilisation de réseaux sans fil courte portée (Zigbee, Wifi) qui permettent de connecter les objets à l'Internet via une passerelle ; et les réseaux cellulaires classiques large bande (4G, 3G). L'utilisation de réseaux cellulaires ultra bas débit (*UNB : Ultra Narrow Band*) est en plein essor du fait que la plupart d'objets n'ont pas besoin de la bande passante mise à leur disposition dans les réseaux haut-débit, mais plutôt de réseaux à très faibles coûts et à très faible consommation d'énergie. Parmi les acteurs de ces réseaux ultra bas-débit, nous pouvons citer Sigfox, Neul et On-Ramp. Les réseaux Sigfox sont caractérisés par leur structure hiérarchique ; des serveurs qui vérifient l'intégralité des données et routent les messages vers des systèmes d'information, des modems UNB qui communiquent avec des stations de base ou cellules pour couvrir des zones larges, et des stations de base qui routent les messages vers les serveurs. D'autres solutions existent pour résoudre des problèmes de communications dans l'IdO, à savoir l'intégration de réseaux ubiquitaires à communication sans fil pour gérer la connectivité des objets [4], la virtualisation des ressources réseaux (physiques et virtuelles) pour faciliter le partage et la disponibilité des ressources, les réseaux Xbee [49], l'utilisation des capteurs hertziens, pour des applications domotiques, la surveillance de l'environnement, ou la sécurité des portails. Ces technologies sont utilisées dans la logistique de transport urbain pour l'évitement de collision entre véhicules [43], la localisation des personnes dans les zones à risques par l'utilisation de capteurs sans fils, la prédiction du temps de transport pour les marchandises, ou dans la logistique médicale pour collecter des informations lors d'un transport d'organe [31].

### 3.4 Technologies de localisation et géo-localisation dans l'IdO

La puce GPS (système de localisation mondial) est actuellement le système de repérage le plus utilisé dans le monde. En effet, elle s'intègre facilement dans les dispositifs mobiles, et permet de transmettre la position du mobile en temps réel aux applications dans divers domaines : le transport, les services d'urgence, la météo [28].

Parmi les techniques de localisation nous citons deux principaux algorithmes : La Triangulation et la Trilatération. La trilatération est basée sur la distance entre le mobile et la station de base, la position du mobile est déterminée à partir des distances estimées depuis trois stations de bases distinctes minimum. La triangulation utilise quant à elle la direction du signal provenant du mobile. La localisation dans ce cas se fait en interprétant les angles que fait la direction du signal et les antennes des stations de base [1].



Figure 4 : Géolocalisation d'un transport de marchandises par données GPS

Avec l'arrivée des tags RFID et des périphériques à faible consommation d'énergie, d'autres solutions de localisation émergent, comme RSN (*Radar Sensor Network*) qui utilisent des réseaux à faible puissance et des radars Doppler (5,8 GHz) pour estimer la position et la vitesse de la cible dans les WSN (*Wireless Sensor Networks*), en utilisant un filtre de Kalman étendu. Cette technique permet aussi de localiser des cibles non coopératives utilisant des capteurs actifs [15]. Rappelons que les cibles non coopératives sont des objets qui ne renvoient pas des signaux de localisation pour que l'on puisse déterminer leur position en temps réel. Une des applications de cette technique est la plateforme *iRobot* qui permet de connecter un robot à un PC Linux, et qui fournit une librairie pour déterminer, contrôler ou programmer la trajectoire, la vitesse ou la direction d'un robot et de récupérer aussi beaucoup d'autres informations sur le Robot (distance parcourue, vitesse) [31]. D'autres frameworks s'intéressent particulièrement à la localisation *Indoor* pour l'optimisation des tournées ou la sécurité des personnes. C'est le cas avec ETICOM-FRAMEWORK d'Etineo [10]. L'IETF (*Internet Engineering Task Force*), un organisme proche du W3C chargé du développement et de la promotion des standards d'Internet a développé le protocole HIP (*Host Identity Protocol*) dont le but est de séparer la partie localisation de la partie Identification, celle chargée de l'identification de l'hôte sur un réseau. Ce protocole est basé sur une infrastructure à clé publiques (PKI) et permet entre autres le multi-homing et la mobilité IP [5].

## 4. APPLICATIONS A LA LOGISTIQUE

Cette partie du document divise des applications des technologies de l'IdO à la chaîne logistique en quatre points, l'extraction et le traitement de données à des fins de pilotages de la chaîne logistique, la sécurité de ces données qui peuvent être privées et la confidentialité, les technologies de marquage et de détection d'objets, et enfin comment évaluer les performances d'un système dans l'Internet des Objets.

### 4.1 Extraction et traitement des données dans l'IdO

Les « Big Data » remplacent progressivement et de façon très invasive les bases de données relationnelles existant depuis les années 1990. En effet, ces bases de données géantes permettent de gérer un plus grand volume de données, leur disparité, leur hétérogénéité et facilitent l'accès en temps réel aux informations, quelles soient distribuées ou

centralisées. Avec la montée en puissance de l'Internet des objets, les capteurs embarqués sur des dispositifs mobiles permettent de remonter de plus en plus de données (température, pression, position GPS, vitesse, luminosité, rythme cardiaque, etc.). Cette situation complique de plus en plus la tâche des analystes, et de la fouille de données, qui se trouvent face au problème de proposer de nouvelles solutions adaptées à cette forte volumétrie en constante progression, en remplacement aux démarches de fouille traditionnelles qui se basent en général sur des modèles statistiques, la régression linéaire ou logistique [41]. Aussi, il faut noter que la collecte, le formatage et la transmission de données issues de capteurs vers des plateformes Cloud requiert beaucoup d'énergie, ce qui peut s'avérer très contraignant, si bien qu'il faut maintenant penser à déplacer les tâches de traitement vers des périphériques dont la contrainte en énergie est moins forte que celle du capteur (Smartphone, PDA, ordinateur). Il existe des middlewares qui ont été développés dans ce sens (*MOSDEN : Mobile Sensor Data Processing Engine*) [32].

Côté protocoles, ceux utilisés maintenant depuis quelques années pour les applications web (*SOAP : Simple Object Access Protocol*, *REST : Representational State Transfer*) servent également pour les échanges entre objets. Les langages de fouille de données (*SPARC QL*, *ETL : Extract Transform and Load*) facilitent l'extraction et le traitement de données provenant de sources diverses, de bases de données distribuées ou non, relationnelles ou NoSQL. Ces langages, ces standards et ces protocoles visent aussi à intégrer l'Internet des Objets avec le Cloud Computing pour donner naissance au Cloud des objets (Cloud of Things) [2], afin de créer des applications plus intelligentes, de rendre les données collectées sur les objets plus accessibles, et surtout plus pertinentes et significatives.

Les applications sont diverses et variées dans le domaine de la logistique, de la production à la gestion des relations entre tous les acteurs de la chaîne logistique y compris le client. Au niveau de la production, des capteurs (tags RFID) sont intégrés sur des produits (palettes, sacs, bacs) pour stocker des informations sur leurs contenus, des informations de traçabilité (opérations effectuées sur les produits, origine du produit et de ses composants, ...). Des applications de pilotage intelligent de la chaîne de production ont vu le jour, via des lecteurs RFID montés à bord des convoyeurs pour aiguiller automatiquement des articles ou des palettes en fonction des opérations à effectuer ou de leur contenu. D'autre part, il est possible d'intégrer la chaîne de production et les systèmes de gestion de l'entreprise (*MES : Manufacturing Execution System*, *EMI : Enterprise Manufacturing Intelligence*, *ERP : Enterprise Resource Planning*), de sorte que les données transmises par des capteurs intelligents au niveau de la chaîne de production puissent être utilisées pour la prise de décision au niveau local et global pour la fabrication de produits [12]. Cette intégration permet aussi le management stratégique et tactique de l'entreprise au niveau global (planification, management, ordonnancement de la production, management des ressources), et sert à optimiser la maintenance des équipements dans tous les domaines (véhicule électrique, éolien, solaire, aéronautique, transport, ...). Un exemple d'application est celui de BMW qui utilise la technologie *Win River* pour connecter son ordinateur de bord à des opérateurs de télécommunication pour dialoguer en temps réel avec des services Cloud (météo, trafic) à des fins de maintenance ou

véhicule en cas de panne. Ce service permet aussi de remonter des informations sur l'état des pièces importantes du véhicule à l'aide de capteurs intégrés, ainsi qu'à la remontée de statistique (informations sur l'état de la route, fluidité de la circulation) et des diagnostics plus précis.

## 4.2 Gestion de la sécurité, des données privées, et de la confidentialité avec l'IdO

La sécurité est un des problèmes majeurs de l'internet en général, et de l'Internet des Objets en particulier. Plus de 70% d'objets connectés sont vulnérables aux attaques d'après le cabinet d'analyse VDC. Le programme EagleEye, mis au point par Dan Tentler, permettrait de prendre le contrôle de près d'un million de webcams via le moteur d'objets connectés Showdan. La question de la sécurité tourne autour de quelques points centraux parmi lesquels la protection des données personnelles et confidentielles contre des intrusions de toute sortes (lecture non autorisée, falsification, usurpation d'identité, espionnage). Il y a aussi la protection des canaux de routage de l'information contre des attaques passives (écoute du réseau), la protection de l'intégrité des capteurs. Il faut donc porter une attention particulière sur la protection des périphériques connectés contre les différentes formes de piratage : détournement de capteurs, accès aux données de vidéo-surveillance et autres données confidentielles, l'authentification. Pour gérer tous ces problèmes, des protocoles, des algorithmes et des architectures ont été proposés, parmi lesquels APHA (*Agregate-Proof based Hierarchical Authentication scheme*) pour la transmission sécurisée de données dans les réseaux ubiquitaires et en couches [29]. Nous citons également les algorithmes cryptographiques utilisant des opérations arithmétiques qui proposent des architectures assez légères en terme de calcul et de ressources, adaptés à l'environnement de l'embarqué et de l'IdO [6]. D'autres protocoles proposent des solutions basées sur la structure des ressources web, en couplant des informations liées au contexte de l'objet aux informations d'identification usuelles pour résoudre le problème des permissions et de contrôle d'accès décentralisé aux ressources et informations publiées par les objets dans le Cloud [30].

## 4.3 Technologies de marquage, et de détection dans l'IdO

Plusieurs techniques sont utilisées dans le marquage et l'identification dans l'IdO. Les marqueurs ADN (enchaînement de base azoté : guanine, cytosine, thymine, adénine), utilisent un mélange de produits (liquide ou poudre) pour mettre au point un code unique d'identification et d'authentification du produit marqué, typiquement les produits pétroliers et pharmaceutiques, et les pièces techniques de l'industrie. Basés sur de l'ADN synthétique, les marqueurs ADN sont en théorie impossibles à contrefaire, au vu du nombre de combinaisons sur les segments de base (G-C-T-A) [13]. La RFID permet, à l'aide d'un identifiant contenu dans une puce, d'adresser beaucoup plus d'objets que les codes à barre et les codes OCR (*Reconnaissance Optique de Caractères*). Les tags RFID sont maintenant largement incorporés dans des objets logistiques (containers, wagons, palettes, chariots, bacs plastiques, vêtements) à des

fins de traçabilité, de suivi temps réel et de coordination des flux de produits. La numérisation 3D de la zone de fabrication du produit permet de mettre en place un code dit hybride qui permet d'identifier l'objet de façon unique. D'autres techniques telles que le code matricielle (*Datamatrix, QR code, Maxi code*) [16] sont utilisées pour le tri des colis dans le transport du courrier. Des techniques de marquage comme le code numérique, les nano traceurs (électroluminescents, nano particules), la biométrie (reconnaissance faciale, empreintes, voix), les hologrammes, sont également utilisés pour l'identification, la traçabilité, et la coordination des objets logistiques.

## 4.4 Évaluation de performances dans l'IdO

Mesurer les performances d'un système dans l'IdO pose encore beaucoup de problèmes, du fait que les objets doivent être testés dans des conditions réelles d'utilisation. Une autre difficulté est due au fait que les systèmes dans l'IdO sont la plupart du temps basés sur des capteurs/actionneurs et requièrent une interaction plus ou moins forte avec les opérateurs humains. Ils peuvent intégrer plusieurs technologies et plusieurs disciplines, ce qui complexifie considérablement les processus de tests et d'évaluation des performances de tels systèmes. Il existe dans ce domaine plusieurs solutions de tests à différents degrés de réalisme, classées selon leur architecture (2-Tiers ou 3-tiers) et les domaines couverts comme l'illustre la figure 5. Les bancs d'essai peuvent proposer des fonctionnalités génériques (*MoteLab, WISBED, SenseLab*) ou spécifiques à un domaine d'application (*CitySense, Friedrichshafen, Oulu Smart City*). En fonction de leurs architectures, les environnements d'évaluation peuvent être classés en deux catégories, selon que l'architecture soit 2- tiers (*Capteur- Serveur*) ou 3- tiers (*Capteur-Serveur-Internet*). Pour les architectures 2-tiers nous pouvons citer MIRAGE, Vinelab, City Sense, FrONTS, dont la limite est leur incapacité à prendre en charge la couche réseau. Les architectures 3-tiers telles que TWIST, INDRIYA, prennent en compte la couche réseau pour faciliter la communication entre les objets et les serveurs de test, en offrant plus de flexibilité et des gains en performance. Ces solutions de test peuvent intégrer un ou plusieurs systèmes d'exploitation utilisés généralement dans le domaine de l'embarqué (*TinyOS, iSense, MoteRunner, Contiki, Sunspot*) [3].

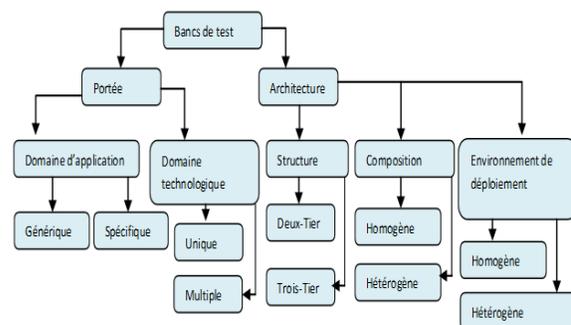


Figure 5: Classification des technologies d'évaluation de l'IdO

## 5. CONCLUSION

Il ressort de ce panorama que les technologies de l'Internet des objets sont vastes et couvrent des domaines variés. Elles peuvent intégrer divers composants, des algorithmes, des protocoles de communication, des middlewares, des données et des services de nature différente. Les données récoltées et échangées dans l'IdO entre capteurs, actionneurs, serveurs, et l'Internet proviennent de sources diverses, sont fortement hétérogènes, disparates et représentent une masse de plus en plus volumineuse. Il est clair que l'exploitation intelligente de ces données représente un atout concurrentiel pour les entreprises, à des fins d'optimisation de la chaîne logistique, de la production à la livraison au client final, en passant par le transport, la logistique de maintenance, le marketing et la gestion de la relation client.

Cette revue de littérature servira de base pour mener notre travail de recherche sur la modélisation des flux logistiques en vue du développement d'une plateforme d'interopérabilité des objets logistiques en se basant sur les technologies de l'IdO et du Cloud Computing.

## 6. REMERCIEMENTS

Ce travail est soutenu et financé par la région Picardie dans le cadre du projet IndustriLab COM-SLoT.

## 7. REFERENCES

- [1] Ana Roxin, J. Gaber, M. Wack, A. Nait-Sidi-Moh, "Survey of Wireless Geolocation Techniques", In: proceedings of IEEE-GLOBECOM'07, Workshop SUPE'07, 26-30 November 2007, Washington, DC, USA. CD-ROM: ISBN 1-4244-1943-6.
- [2] Aazam, Mohammad, Khan, Imran, Alsaffar, Aymen Abdullah, Huh, Eui-Nam, "Cloud of Things: Integrating Internet of Things and cloud computing and the issues involved", 11th International Conference on Applied Sciences and Technology (IBCAST), 2014.
- [3] Alexander Gluhak, Srdjan Krco, Michele Nati, Dennis Pfisterer, Nathalie Mitton and Tahiry Razafindralambo, "A survey on facilities for experimental Internet of Things research", IEEE Communications Magazine, November 2011.
- [4] Alexiou, A., Wireless World 2020: Radio Interface Challenges and Technology Enablers, Février 2014
- [5] Al-Shraideh, "Host Identity Protocol, Networking", International Conference on Systems and International Conference on Mobile Communications and Learning Technologies. ICN/ICONS/MCL, 2006.
- [6] Bayat-Sarmadi, S., Kermani, M.M., Azarderakhsh, R., Chiou-Yng Lee, "Dual-Basis Superserial Multipliers for Secure Applications and Lightweight Cryptographic Architectures", IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs, (Vol. 61, Nu. 2), 2013.
- [7] Benghozi Pierre-Jean, Bureau Sylvain, MASSIT-FOLLÉA Françoise, "L'Internet des objets: Quels enjeux pour les Européens ?", Ministère de la recherche, Délégation aux usages de l'Internet, Paris, 2008.
- [8] Coetzee L., Eksteen, J., "The Internet of Things - promise for the future? An introduction", IST-Africa Conference Proceedings, May 2011, Gaborone
- [9] Council of Logistics Management (1991) Definition of Logistics. <<http://www.cscmp.org/>>.
- [10] Decarli, N., Guidi, F.; Dardari, D., "A Novel Joint RFID and Radar Sensor Network for Passive Localization: Design and Performance Bounds", Selected Topics in Signal Processing, IEEE Journal of (Volume:8, Issue: 1), 24 Octobre 2013.
- [11] Dominique Paret, Xavier Boutonnier, Youssef Houiti, "NFC NearField Communication, Principes et applications de la communication en champ propre", DUNOD, Paris, 2012.
- [12] Eric GAUDREAU, Bruno AGARD, Martin TREPANIER, Pierre BAPTISTE, "Pilotage réactif des systèmes de production à l'aide de capteurs intelligents", 6e Congrès international de génie industriel — Besançon (France), 7-10 juin 2005.
- [13] François Bertucci, Béatrice Loriod, Rebecca Tagett, Samuel Granjeaud, Daniel Birnbaum, Catherine Nguyen, Rémi Houlgatte, "Puces à ADN: technologie et applications". Bulletin du Cancer. Volume 88, Numéro 3, 243-52, Mars 2001.
- [14] Gogliano, O.G., Cugnasca, C.E., "An Overview Of The EPCglobal Network", Latin America Transactions, IEEE, 17 Sept. 2013
- [15] Jong Hyun Lim, I-Jeng Wang, Andreas Terzis, "Tracking A Non-cooperative Mobile Target Using Low-power Pulsed Doppler Radars". Research report, Michigan Technological University. 2011.
- [16] José Rouillard, "Contextual QR Codes". The Third International Multi-Conference on Computing in the Global Information Technology (ICCGI08). Athens, Greece, July 27 - August 1, 2008
- [17] Julien FRANCOIS, "Planification des chaînes logistiques : Modélisation du système décisionnel et performance", Thèse de doctorat, Université Bordeaux1. 2008.
- [18] Kausalya Devi, P., Ravichandran, N. Shakeel Mohammed Hanif, S., "An automated cloud based vehicular emission control system using Zigbee", IEEE International Conference on Smart Structures and Systems (ICSSS), Chennai, India, 2013.
- [19] Kausalya Devi, P., Ravichandran, N., Shakeel Mohammed Hanif, S., "An automated cloud based vehicular emission control system using Zigbee", IEEE International Conference, Smart Structures and Systems (ICSSS), 2013.
- [20] Lianfang Kong, Jie Wu, "Collaboration attitude choice-based intelligent production control model in dynamic supply chain system", IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, Niagara Falls, Ont., Canada, 2005
- [21] Lu Tan, Neng Wang, "Future internet: The Internet of Things", Advanced Computer Theory and Engineering (ICACTE), 3rd International Conference on (Volume: 5), 2010.
- [22] Madria S., Kumar, V., Dalvi, R., "Sensor Cloud: A Cloud of Virtual Sensors", Software, IEEE (Volume:31, Issue: 2), 12 November 2013.
- [23] Manju K. Ahuja, Kathleen M. Carley, "Network Structure in virtual organisations", Journal of Computer-Mediated Communication, 2006.
- [24] Mao Cuiyun, Han Yuanhang, "Discussion on the Application of Internet of Things in Logistics Production Management", International Conference on E-Business and E-Government (ICEE), 2010.
- [25] Marcelo Dias de Amorim, Serge Fdida, Nathalie Mitton, Loïc Schmidt, David Simplot-Ryl, "Distributed Planetary Object Name Service: Issues and Design Principles", Rapport de recherche n° 704, Centre de recherche INRIA Lille – Nord Europe, Sep 2009.
- [26] Miao Wu, Ting-Jie Lu, Fei-Yang Ling, Jing Sun, Hui-Ying Du, "Research on the architecture of Internet of Things", Advanced Computer Theory and Engineering (ICACTE), 3<sup>rd</sup> International Conference on (Volume:5), Chengdu. 2010.

- [27] MingHua Jiang, Shuqing Ma, Jingli Zhou, Ming Hu, "Availability Analysis and Evaluation of Flexible Supply Chain System," *cccm*, vol. 1, pp.495-499, 2008 ISECS International Colloquium on Computing, Communication, Control, and Management, 2008.
- [28] Nait-Sidi-Moh A., M Bakhouya, J Gaber, M Wack, "Geopositioning and Mobility". Wiley-ISTE, Networks and Telecommunications series; 272 pages. isbn:978-1-84821-567-2. Septembre 2013.
- [29] Ning, H., Liu, H., Yang, L., "Aggregated-proof Based Hierarchical Authentication Scheme for the Internet of Things", *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, (Volume: PP, Issue: 99 ), 14 mars 2014.
- [30] Oh Se Won , Kim, Hyeon Soo, "Decentralized access permission control using resource-oriented architecture for the Web of Things", 16th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT), 2014, Pyeongchang, Korea (South).
- [31] Olonibua Abiodu, Akingbade kayode Francis, "Wireless Transmission of Biomedical Signals Using the Zigbee Technology", *IEEE International Conference on Emerging & Sustainable Technologies for Power & ICT in a Developing Society (NIGERCON)*, 2013.
- [32] Perera, C., Zaslavsky, A., Liu, C.H. Compton, M., Christen, P., Georgakopoulos, D., "Sensor Search Techniques for Sensing as a Service Architecture for the Internet of Things", *Sensors Journal, IEEE* (Volume:14, Issue: 2 ), 2013.
- [33] Perera, C., Jayaraman, P.P., Zaslavsky, A., Georgakopoulos, D., Christen, P. "MOSDEN: An Internet of Things Middleware for Resource Constrained Mobile Devices", 47<sup>th</sup> Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS), 2014.
- [34] Pierre-Jean Benghozi, Sylvain Bureau, Françoise Massit-Folléa, "L'internet des objets: Quelles enjeux pour l'Europe", Éditions de la Maison des sciences de l'homme, 2009.
- [35] Sunil K. Timalisina, Rabin Bhusal, and Sangman Moh, "NFC and Its Application to Mobile Payment: Overview and Comparison". 8th International Conference on Information Science and Digital Content Technology (ICIDT), Jeju, 2012 .
- [36] Surya Michrandi Nasution, Emir Mauludi Husni, Aciek Ida Wuryandari, "Prototype of train ticketing application using near field communication (NFC) technology on android device", *International Conference on System Engineering and Technology*, Indonesia, 2012.
- [37] Tao, F., Cheng, Y. Xu, Li Da, Zhang, L. , Li, Bo Hu, "CCIoT-CMfg: Cloud Computing and Internet of Things based Cloud Manufacturing Service System", *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, (Volume:10 , Issue: 2 ), Fev 2014.
- [38] Tapalina Bhattasali, Rituparna Chaki, Nabendu Chaki , Secure and Trusted Cloud of Things, 2013 Annual IEEE India Conference (INDICON).
- [39] Tchokogue André, "Fonction logistique et management financier de l'entreprise", *Logistique & Management*, vol 3 n°1 - 1995.
- [40] The Internet of Things – new infographics, <http://blog.bosch-si.com/theinternet-of-things-new-infographics/>
- [41] Tongrang Fan, Yanzhao Chen, "A scheme of data management in the Internet of Things, 2nd IEEE International Conference on Network Infrastructure and Digital Content, Beijing, 2010
- [42] Uta Jüttner, Helen Peck Martin Christopher, "Supply chain risk management: outlining an agenda for future research", *International Journal of Logistics Research and Applications*, 2003
- [43] Vignesh, P.J.A., Vignesh, G.K., "Relocating Vehicles to Avoid Traffic Collision through Wireless Sensor Networks", *Computational Intelligence, Communication Systems and Networks (CICSyN)*, Fourth International Conference, 2012.
- [44] Vivek Kumar Sehgal, Anubhav Patrick, Lucky Rajpoot, "A Comparative Study of Cyber Physical Cloud, Cloud of Sensors and Internet of Things: Their Ideology, Similarities and Differences", *IEEE International Advance Computing Conference (IACC)*, 2014.
- [45] Yuefan Sun, Jiapeng Wang, Hao Zhang, Zhenhao Zhang, "The research on coordination of Supply Chain system with uncertain demand", *Robotics and Applications (ISRA)*, 2012 IEEE Symposium, 3-5 Jun 2012, Kuala Lumpur.
- [46] Yuxi Liu Guohui Zhou, Key "Technologies and Applications of Internet of Things." Fifth International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation (ICICTA), Zhangjiajie, Hunan, 2012.
- [47] Zhonggui Ma, Xinsheng Shang, Xinxi Fu, Feng Luo, "The architecture and key technologies of Internet of Things in logistics", *International Conference on Cyberspace Technology (CCT 2013)*, Beijing, China, Nov. 2013.
- [48] Zhongwen Li , Yi Xie, Chengbin Wu, Binbin Ding, "A security query protol of ONS in EPC system", *Anti-Counterfeiting, Security and Identification (ASID)*, International Conference , 2012.
- [49] Zigbee alliance, "Network device: gateway specification", version 1.0, March 23rd, 2011