

PROJET ANR McBIM - Matière Communicante au service du BIM



Intitulé du document :	Etats de l'art WP3
Version :	1.0
Date de version :	27/07/2018
Rédacteurs :	Hang WAN, Michael DAVID, William DERIGENT
N° WorkPackage :	3
N° Livrable :	D3.1/D3.2

Table des matières

1	Glossaire	3
2	Introduction.....	4
2.1	Présentation du projet McBIM	4
3	Contexte : caractéristiques du béton communicant.....	6
3.1	Réseau de nœuds de capteurs intégré dans le béton communicant	6
3.1.1	Typologie des nœuds.....	6
3.1.2	Consommation d'énergie des nœuds.....	8
3.2	Bases de données distribuées sur l'ensemble du cycle de vie du béton	8
4	Organisation topologique de RCSF	11
5	Gestion de l'information dans les WSN	13
5.1	Introduction	13
5.2	Traitements dans le réseau (<i>In-network Processing</i>).....	13
5.2.1	Techniques d'agrégation (<i>Aggregation-based techniques</i>)	13
5.2.2	Techniques de réduction de données.....	16
5.2.3	Techniques d'approximation (<i>Approximation-based techniques</i>)	16
6	Architecture de gestion de données	18
6.1	Structuration des données	18
6.2	Éléments de l'architecture et relation entre éléments	18
7	Lien Digital /Physique	21
7.1.1	Identification automatique.....	21
7.1.2	Synchronisation.....	21

1 Glossaire

BIM	Building Information Modelling
BOL	Begin Of Life
CPS	Systèmes Cyber-Physique
EOL	End Of Life
EPC	Electronic Product Code
EPCIS	EPC information service
ETA	Estimated Time of Arrival
IoT	Internet of Thing
MOL	Middle Of Life
OOP	Object-Oriented Programing
ONS	Object Naming Service
PLM	Product Lifecycle Management
RCSF	Réseau de Capteurs Sans Fil
RFID	Radio-Frequency Identification
SRT	Arbre de Routage Sémantique
SOA	Service-Oriented Architecture
UPC	Universal Product Code
WSN	Wireless Sensor Network
WPT	Wireless Power Transfer
WWAI	World Wide Article Information
XSD	XML Schema Definition

2 Introduction

Cette bibliographie est une étude réalisée dans le cadre du projet ANR McBIM, et constitue le livrable D... Du WorkPackage 2 : « ... ». Ce projet a deux objectifs principaux : premièrement, concevoir et réaliser un élément préfabriqué en béton communicant, équipé d'une technologie sans fil intégrée basse consommation réseau de micro-capteurs, capable de gérer et d'échanger des données avec les plateformes BIM et, deuxièmement, de démontrer l'utilité de ce concept dans deux phases du cycle de vie du bâtiment, qui sont la phase de la construction et la phase d'exploitation.

L'objectif des recherches menées au CRAN (Thèse H. Wan) est d'appliquer ce concept de "matériaux communicants" (Thomas, 2009) (Kubler *et al.*, 2012) (Mekki, 2016) dans le cadre du projet McBIM.

Les systèmes cyber-physique (CPS pour Cyber-Physical Systems) sont une nouvelle direction de recherche et développement de l'informatique et des technologies de l'information et de la communication. Ils sont composés d'entités computationnelles collaboratives qui surveillent le monde physique environnant. De plus, sa gestion des processus, traitement des données et les résultats sont accessibles aux utilisateurs par internet (Monostori, 2014).

2.1 Présentation du projet McBIM

Dans le projet McBIM, le béton communicant est une entité cyber-physique au sens où il est constitué d'une partie physique (le béton lui-même) équipé de capteurs permettant de mesurer des propriétés physiques de l'élément, ainsi que d'une partie numérique ou virtuelle gérant les données associées à l'élément.

Dans les différentes phases du cycle de vie du béton, ces capteurs peuvent être alimentés différemment. Dans la phase de production, une batterie durable est nécessaire car le béton n'est pas connecté à une source d'alimentation externe. Au contraire, dans la phase d'exploitation, il est alimenté par une alimentation externe. Toutes les données physiques (température, humidité, etc.) sur ce matériel seront recueillies depuis la fabrication jusqu'à exploitation pour s'assurer que le fonctionnement du produit.

Les travaux menés dans le cadre de notre travail portent donc non seulement sur la partie physique, qui s'occupe de la dissémination / récupération des données générées par le béton communicant, mais aussi du stockage dans le monde virtuel de données sous une forme compatible avec les plateformes BIM.

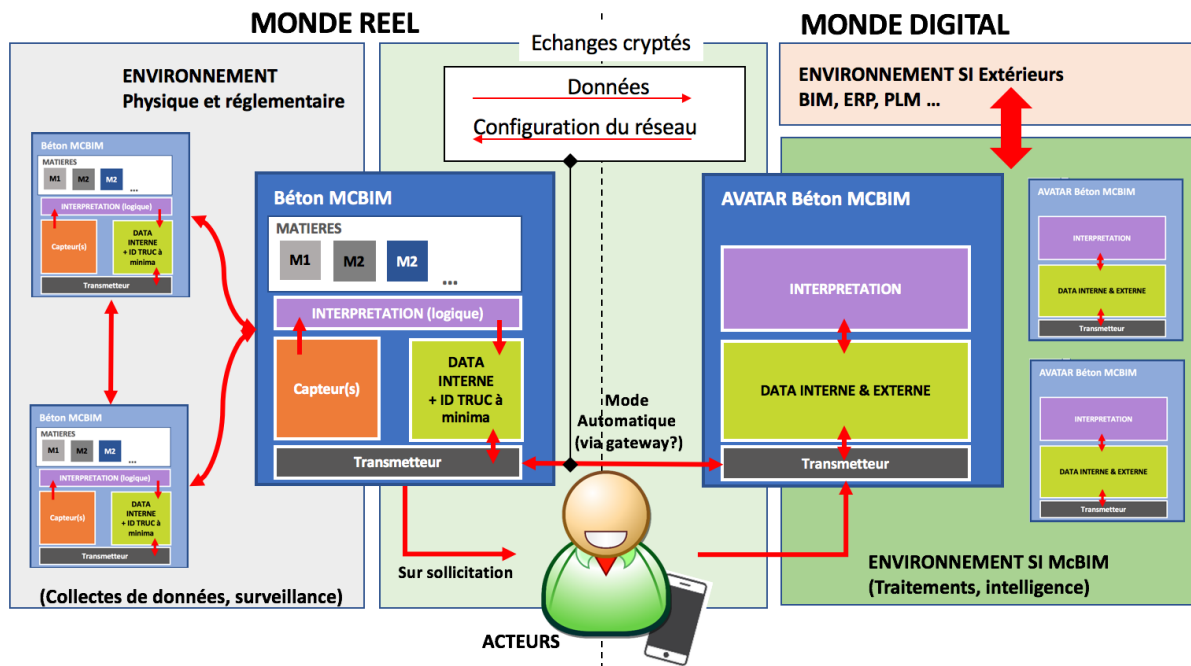


Figure 1 La structure cible du projet McBIM

Afin de réaliser ce produit, les problèmes suivants devront être abordés :

- Dissémination/Récupération de données minimisant la consommation d'énergie ;
- Gestion des informations produit tout au long du cycle de vie par approches récursives.

La conception de la structure cible est montré comme la Figure 1. Sur la partie physique, le béton McBIM est composé de différents capteurs, une batterie et unité de communication et autre composant nécessaire afin de surveille le monde physique environnant. Un béton complet est considéré comme une unité de communication standard qui peut être utilisée seule ou agrégée avec d'autres bétons pour former une unité supérieure. De plus, un béton doit fonctionner comme une passerelle afin de connecter le monde digital via Gateway, il peut être une unité désignée ou sélectionné par une fonction d'élection. Sur la partie digital, une structure virtuelle est formée pour contrôler les comportements des bétons, traiter les données collectées, et répondre les requêtes aux utilisateurs.

Dans ce cas, l'objet de cette bibliographie est de faire un état de l'art des travaux relatifs aux problèmes évoqués précédemment aussi bien dans la partie physique, ainsi que dans la partie numérique. La section 3 présente le contexte des caractéristiques du béton communicant, qui sont le réseau de capteurs sans fil (RCSF), la typologie des nœuds de RCSF et la conception des produits intelligents. La section 4 introduit l'organisation topologique de RCSF, ensuite, quelques techniques et recherches récentes sur le traitement des données, le stockage de données en réseau sont présentés dans la section 5. Suivi par les recherches de la gestion des données distribuées : les éléments de l'architecture et de la relation, ainsi que les avancées dans Internet of Things (IoT). À la fin, la section 7 présente les technologies qui permettent de les mettre en œuvre.

3 Contexte : caractéristiques du béton communicant

3.1 Réseau de nœuds de capteurs intégré dans le béton communicant

Les réseaux de capteurs sans fil sont des réseaux composés d'un ensemble des nœuds de capteurs. Selon l'application choisie dans différent environnement, le RCSF peut contenir différents types de nœuds, les nœuds de capteur ont la capacité de collecter des données et communiquer entre eux par liaison radio. Bien que le processus de fabrication du capteur se soit amélioré, les capacités des nœuds capteurs sont limitées, surtout en termes de traitement des données, stockage d'information, et consommation d'énergie. À cause des faibles capacités des nœuds, le routage sous forte contrainte de durée de vie du RCSF est un problème scientifique d'intérêt.

Un RCSF peut contenir des milliers des nœuds de capteurs, de sorte que la conception de l'architecture est très importante, surtout en termes d'augmentation de la performance, et prolongation de la durée du cycle de vie. Une solution envisageable est de construire une structure virtuelle dans laquelle une topologie logique est construite sur la topologie physique du réseau pour améliorer la gestion des données distribués dans le RCSF. L'organisation topologique de RCSF est détaillée dans section 4.

Dans le projet McBIM, les nœuds de capteurs sont intégrés dans le béton qui est un environnement impactant fortement le fonctionnement des nœuds. Le traitement des données, transformation d'information, et stockage d'énergie sont les problèmes critique pour les nœuds de captures. Afin de prolonger la durée du cycle de vie, Il est nécessaire de considérer l'utilisation des différents types de nœuds, et de proposer une nouvelle architecture de gestion de données distribuées.

3.1.1 Typologie des nœuds

Dans un grand RCSF, l'utilisation de différents nœuds dédiés peuvent optimiser certains paramètres comme la durée de vie du réseau ou le délai de livraison des données. En général, il y a cinq types de nœud comme la Figure 2: le nœud régulier, le nœud capteur, le nœud actionneur, le nœud passerelle et le nœud puits. L'architecture des différents types de nœud est montrée Figure 2. Tous les différents types de capteurs sont basés sur le **nœud régulier**, il se compose de trois éléments majeurs : L'Unité de Traitement (UT) pour le traitement d'information, l'unité de Communication (UC1) pour la transmission des données, et l'unité de Puissance (UP) pour fournir un soutien énergétique. Le **nœud capteur** est un nœud régulier équipé d'une unité d'Acquisition (UA) laquelle est capable d'observer l'environnement, et convertisseur l'information en un signal numérique. Le **nœud actionneur** est équipé avec une unité Contrôle Command (UCC) permettant d'exécuter certaines taches mécaniques ou physique. Le **nœud puits** est un nœud régulier doté d'une seconde unité de communication (UC2), comparée à la communication primaire, la communication secondaire utilise généralement des méthodes de transmission à énergie relativement élevée (RFID, GPRS, Wi-

Fi, etc.) permettant de transférer les données à un utilisateur ou un serveur. Le **nœud passerelle** a les mêmes composants que le **nœud puits**, mais est utilisé spécifiquement pour la gestion de réseau.

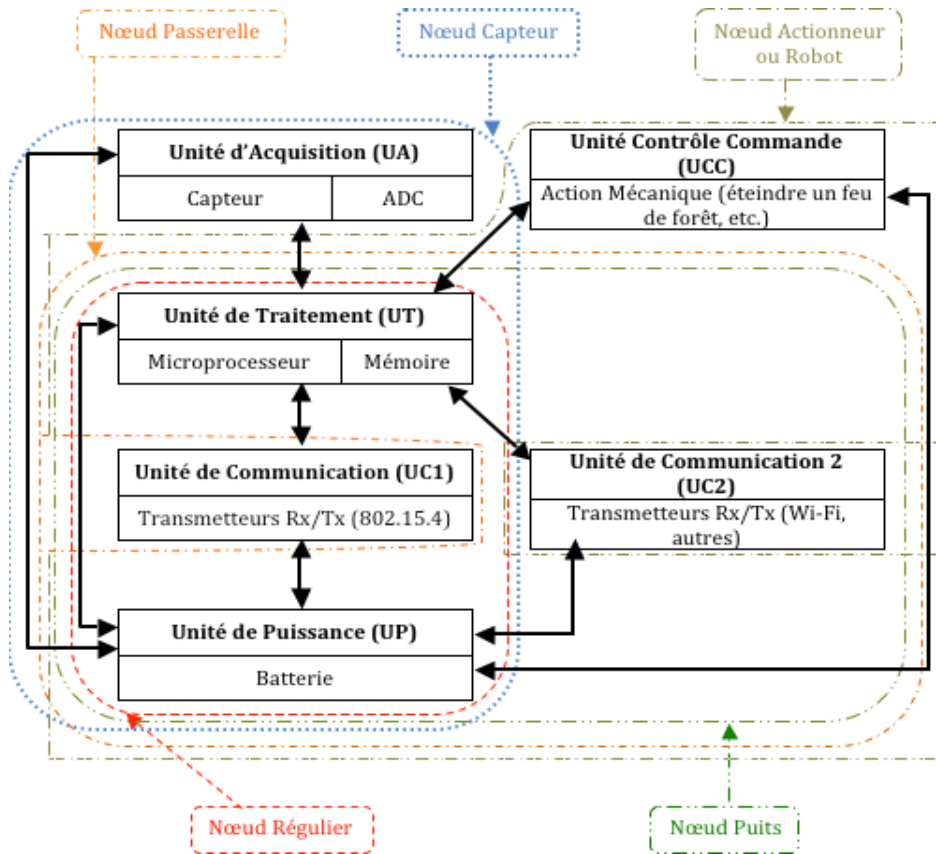


Figure 2 Architecture des différents types de nœuds : régulier, capteur, robot, puits, passerelle

Dans le projet McBIM, puisque les capteurs que nous utilisons sont tous utilisés dans le béton, ils auront un impact sur la fonction des capteurs ordinaires, tels que la transmission de données. Bien qu'il existe de nombreuses options de nœud de capteur sur le marché aujourd'hui, concevoir et fabriquer le nœud approprié sera utile pour améliorer la performance du réseau. Dans ce cas, la conception et le développement de nœud associé sont réalisés par le laboratoire collaboratif LAAS à Toulouse, France. Il y a deux types de nœuds envisagés dans le projet :

- **Nœud capteur** : Le rôle principal de ce type de nœud est de mesurer les phénomènes physiques dans son environnement, par exemple, la température, l'humidité et la corrosion etc. De plus, il peut transmettre les données vers les nœuds communicants par liaison radio. Ce nœud doit en outre pouvoir être rechargé par transmission d'énergie sans fil (Wireless Power transfer) afin de prolonger la durée de vie du réseau.
- **Nœud communicant** : Ce type de nœud est équipé avec des processeurs plus puissants permettant de collecter et traiter l'information provenant des nœuds capteur. Une unité de communication 2 est également intégrée dans ce nœud afin de réaliser sa connexion vers l'extérieur. De plus, ce nœud possède une batterie intégrée permettant de l'alimenter en énergie depuis la phase de fabrication jusqu'au début de la phase d'exploitation.

3.1.2 Consommation d'énergie des nœuds

La gestion de la consommation d'énergie est très important dans un RCSF. Dans le cadre du projet Mc-BIM, le RCSF est intégré sous le béton, c'est donc un inconvénient de replacer ou changer les batteries pour les nœuds communicants. Donc, il faut connaître les différents types de consommation d'énergie dans le RCSF :

- **Détection d'évènements** : La consommation d'énergie liée à la détection d'évènements dépend du différent type du capteur, par exemple, la température, l'image ou l'humidité etc. De l'énergie est consommée par le capteur lors de l'activation de son unité d'acquisition. Le type de capteurs influe aussi sur certains paramètres comme la fréquence d'échantillonnage. Une partie de cette consommation est aussi due à la conversion des signaux physique en numérique.

Traitement des données : Ce type d'énergie est consommé par l'unité de traitement de données lors d'opérations de lecture/écriture d'information en mémoire. En outre, en raison des limites de la puissance de calcul et de la mémoire, l'unité de traitement de données ne fait que quelques opérations de base.

- **Transmission d'information** : Ce type d'énergie est consommée par l'unité de transmission, en général, elle est plus élevée que celle consommée par l'unité de traitement. Cela dépend des différentes technologies utilisées, des différentes distances et des différentes fréquences etc. Les transmissions à courte portée consomment généralement moins que les longues distances, le coût d'énergie pour transmission et réception sont respectivement $E_{Tx}(k, P_{out}) = k \cdot C_{Tx}(P_{out}) \cdot V_B \cdot T_{Tx}$, $E_{Rx}(k) = k \cdot C_{Rx} \cdot V_B \cdot T_{Rx}$, où k représente la longueur du message, en octets et P_{out} la puissance de transmission, C_{Tx} et C_{Rx} représentent les intensités du courant pour les modes émission ou réception, T_{Tx} et T_{Rx} sont les temps de transmission et de réception d'un octet.

3.2 Bases de données distribuées sur l'ensemble du cycle de vie du béton

PLM (Product Lifecycle Management) ont suscité un intérêt croissant récemment de la part des industries et des scientifiques. La vie d'un produit commence à partir de sa conception, la fabrication, l'utilisation, et sa retraite ou de recyclage, il peut être caractérisé en trois phases : Début de vie (BOL) se réfère à la conception et la fabrication, Milieu de vie (MOL) se réfère à la l'utilisation, et la fin de vie (EOL) fait référence au recyclage. Comment gérer les informations d'un produit au cours de son cycle de vie est un problème intéressant, non seulement pour améliorer la conception, la réutilisation et le recyclage. Le projet Promise (Information, 2008) fait partie de ces projets qui surveillent le cycle de vie d'un produit.

Dans le projet McBIM, le RCSF surveillera toutes les informations physiques sur ce matériel pour s'assurer que le matériel fonctionne correctement depuis la fabrication jusqu'à exploitation. Les progrès significatifs dans la conception et la production de capteurs permettent d'envisager

une vaste gamme d'applications des réseaux de capteurs sans fil dans divers domaines, comme le transport, la santé et la construction. La Figure 3 montre l'architecture de bases de données distribuées pour les réseaux de capteurs sans fil, où des capteurs sont déployés dans une zone géographique pour collecter des informations, qui seront transférées au nœud puits, les utilisateurs ayant accès à ces informations via la passerelle au niveau application (Diallo *et al.*, 2015).



Figure 3 L'architecture de base de données distribuée pour les réseaux de capteurs sans fil

Dans un tel grand réseau, une grande partie de travaux de recherches sont axées sur la proposition d'une nouvelle architecture pour la gestion de données distribuée. Une solution envisagée est de proposer une architecture virtuelle dans laquelle une topologie logique est construite sur la topologie physique du réseau. Dans le projet Mc-BIM, une telle architecture virtuelle sera mise en œuvre pour les bétons communicants, les différentes techniques en traitement de requête, système multi-agents sera étudié aussi pour construire l'architecture de gestion des données distribuées.

Grâce au développement de la technologie RFID, cela conduit au paradigme du produit intelligent. Les produits intelligents sont les produits qui sont capables de s'adapter de façon autonome aux changements de leur environnement, ils peuvent être divisés en plusieurs niveaux en fonction de leur niveau d'intelligence. À partir des définitions existantes des produits intelligents, une nouvelle classification des produits intelligents est proposée par Meyer (Meyer *et al.*, 2009) comme Figure 4. Cette classification est basée sur trois dimensions orthogonales,

qui sont : Niveau d'intelligence, Emplacement de l'intelligence, et Niveau d'agrégation de l'intelligence.

Sous la dimension du niveau d'intelligence, il contient trois sous-niveaux : **traitement d'information, notification de problème et la prise de décision**. Un produit intelligent au niveau **traitement d'information** est seulement capable de gérer les informations provenant du capteur, et d'envoyer les informations aux autres.

Il y a deux niveaux d'intelligence sous la dimension d'**emplacement d'intelligence**, qui sont **l'intelligence à travers le réseau et l'intelligence à l'objet**. La différence est la localisation de l'intelligence, dans le premier, l'intelligence du produit est complètement en dehors du produit, c'est toujours un serveur où un agent dédié pour le produit est en cours d'exécution. Le deuxième, tous les traitements d'information, même la prise de décision avancée sont à lieu du produit lui-même.

Le niveau d'**agrégation de l'intelligence** est une dimension importante aussi, il est divisé en deux niveaux : **élément intelligent ou conteneur intelligent**. L'élément intelligent ne gère que les informations, les notifications et les décisions de lui-même, S'il contient des composants, ils ne peuvent pas être distingués en tant qu'objets individuels. Contrairement, la conteneur intelligent est conscient des composants dont il est fait, Même une partie est retirée, elle peut également fonctionner comme des objets intelligents ou des conteneurs intelligents.

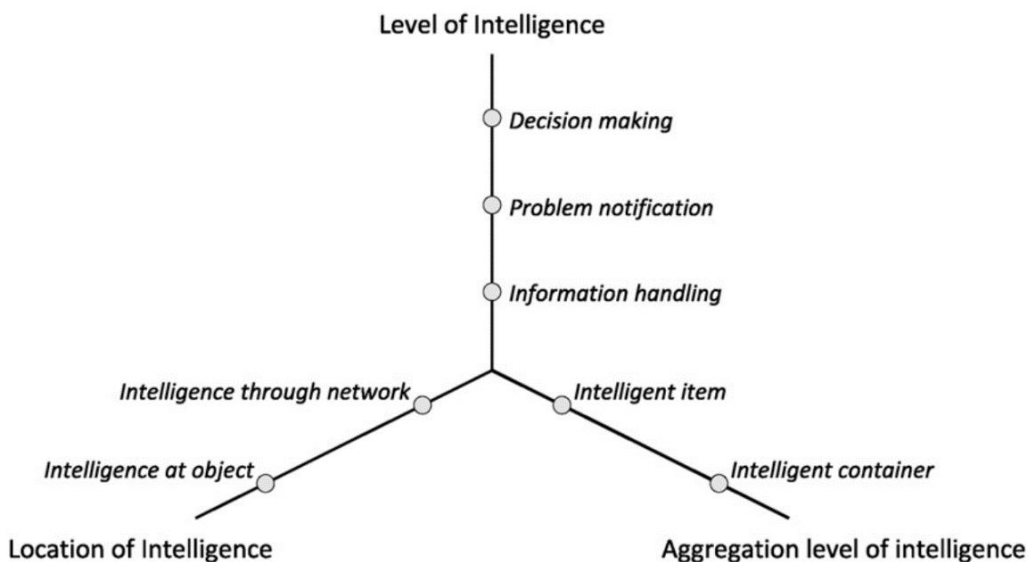


Figure 4 Le modèle de classification de produit intelligent

4 Organisation topologique de RCSF

Dans le RCSF, il existe deux approches plus couramment utilisées : Premièrement, le réseau à plat qui est généralement utilisé pour un réseau dans lequel les exigences de sécurité sont faibles. Il connectant les périphériques à un seul commutateur au lieu de commutateurs distincts pour réduire le nombre de routeurs et de commutateurs sur un réseau informatique, les protocoles de communications sont déployés directement dans le réseau.

Deuxièmement, la structure auto-organisée est utilisée pour minimiser le trafic dans le réseau et augmenter la durée de vie. Il supporte une grande variété de protocoles comme le routage, la localisation, la découverte de services, etc.

Dans un grand RCSF composé de plusieurs types de nœuds, il n'est pas possible de préserver une structure de communication unique car les nœuds n'ont pas le même rôle et les mêmes caractéristiques. Dans ce cas, une solution est d'introduire une hiérarchie dans le réseau en créant une structure virtuelle par contrôle topologique (Santi, 2005). Comme montré dans la Figure 5, le RCSF est réduit en diminuant la puissance d'émission des nœuds. Bien que cette approche puisse simplifier le routage et limiter les interférences et la consommation d'énergie, les techniques de découpage en clusters pour construire l'architecture hiérarchique sont plus adaptées.

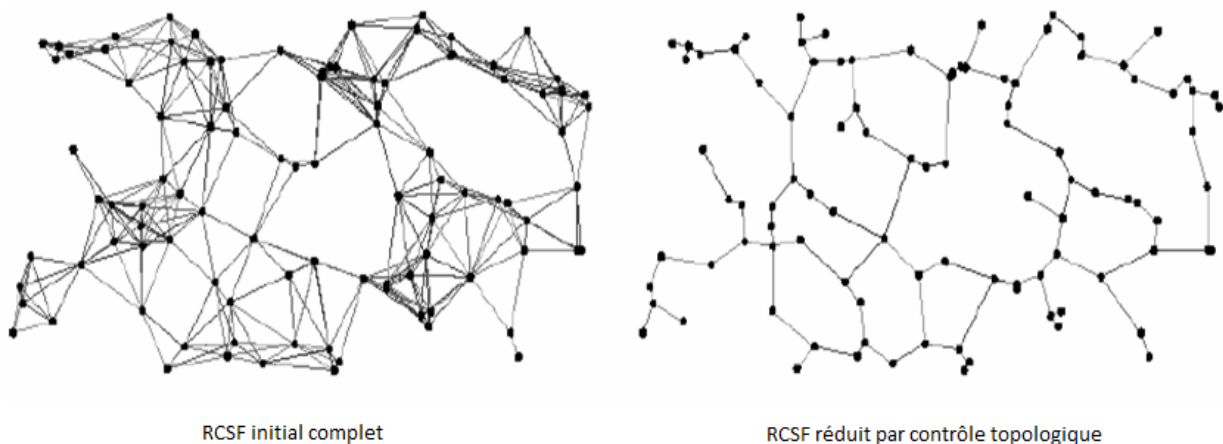


Figure 5 Création d'une structure virtuelle par contrôle topologique

Regrouper les nœuds en cluster est une solution efficace pour l'organisation d'un grand RCSF car elle permet de réduire le nombre de nœuds participant à des communications sur de longues distances (un exemple est présenté sur la Figure 6). Dans ce type d'organisation, il existe deux niveaux de communications : intra-cluster et inter-cluster. Dans chaque cluster, un nœud est identifié par le leader « cluster-head » qui est choisi au hasard ou par un algorithme spécifique. Au niveau intra-cluster, les membres peuvent être actifs ou endormis, les nœuds actifs transmettent leurs données au cluster-head, dans lequel des opérations d'agrégation ou de synchronisation peuvent être effectuées. Au niveau inter-cluster, chaque leader gère les activités

de son groupe et envoie les données aux les autres leaders jusqu'au puits. Ce type d'organisation simplifier le trafic du réseau, réduit la consommation d'énergie et augmente la durée de vie.

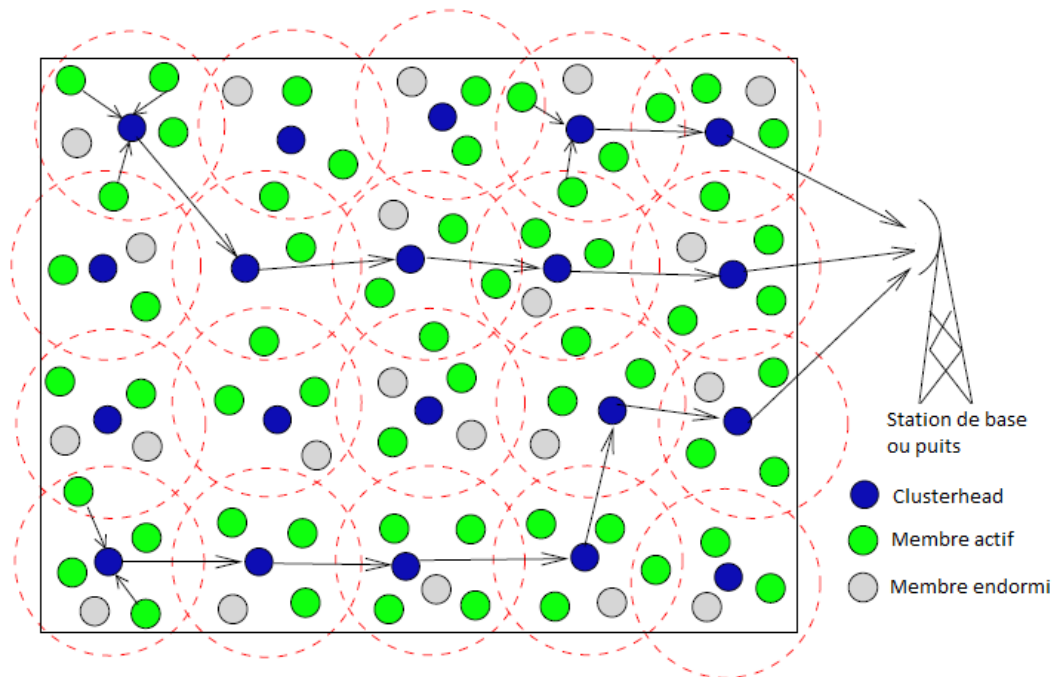


Figure 6 Exemple d'un RCSF en clusters

Dans ce type d'organisation, l'élection des cluster-heads, la tailles des clusters, le modèle de fonctionnement du réseau sont des problèmes critiques. Le principe général de construction d'une structure auto-organisée en clusters contient 3 étapes :

1. Découverte du voisinage : Chaque nœud dans le réseau découvre son voisinage et calculer son poids pour la sélection du header.
2. Choix d'un cluster-head : Les nœuds sont regroupés dans différents clusters selon la taille du cluster, homogénéités des nœuds dans le cluster, nœuds passifs ou actifs, et etc. Et les leaders sont déterminés en fonction de leur poids
3. Construction des clusters : Tous les leaders diffusent leurs statuts à leurs membres afin de former les clusters.

De plus, il y a nombreuses techniques de regroupement sont proposés afin de résoudre ce problème. Par exemple, l'algorithme LBC (Load Balanced Clustering) dans (Gupta and Younis, 2003) et GLBCA (Greedy Load Balanced clustering Algorithm) dans (Chor Ping Low, Can Fang, 2007), et etc. Ces algorithmes seront analysés pour trouver si elle sera adaptée à notre projet McBIM.

5 Gestion de l'information dans les WSN

5.1 Introduction

La section 5 présente le traitement en réseau dans les WSN, le traitement distribué des requêtes probabilistes Top- k (Ye *et al.*, 2013), une nouvelle méthode pour optimiser la requête continue (Jun-Zhao and Jiehan, 2008), l'approche Cougar (Yao and Gehrke, 2002) et la section 4.3 examine les techniques de gestion utilisées dans les réseaux de capteurs sans fil, différentes techniques sont discutées.

5.2 Traitements dans le réseau (*In-network Processing*)

Dans les réseaux de capteurs sans fil, la consommation d'énergie se fait en deux parties principales : l'opération de détection et de traitement au niveau des nœuds de capteurs et la communication sans fil entre eux. Parce que la communication sans fil prend plus d'énergie dans la vie du réseau, les techniques d'agrégation et d'approximation sont des solutions pertinentes.

La technique de traitement en réseau (Giridhar and Kumar, 2006; Demirbas, Lu and Singla, 2009) est l'une des méthodes essentielles pour la gestion de données distribuées, l'objectif est d'économiser de l'énergie en effectuant certaines opérations sur le nœud du réseau au lieu du serveur, en utilisant des techniques basées sur l'agrégation ou basées sur l'approximation.

5.2.1 Techniques d'agrégation (Aggregation-based techniques)

COUGAR (Yao and Gehrke, 2002) est l'une des premières approches adoptées dans le traitement de requêtes en réseau pour les réseaux de capteurs sans fil. Cette approche est utilisée par les réseaux de capteurs au travers de requêtes déclaratives qui sont utilisées pour protéger les caractéristiques physiques du réseau de l'utilisateur. Dans ce cas, les utilisateurs et les programmes d'application émettent des requêtes sans savoir ni la manière dont les données sont générées par le réseau de capteurs ni comment les données sont traitées pour calculer la réponse à la requête. En outre, l'auteur propose une couche composée d'un proxy de requête sur chaque nœud de capteur pour activer les requêtes déclaratives, qui filtrent les caractéristiques physiques du réseau avant de transférer l'information aux utilisateurs.

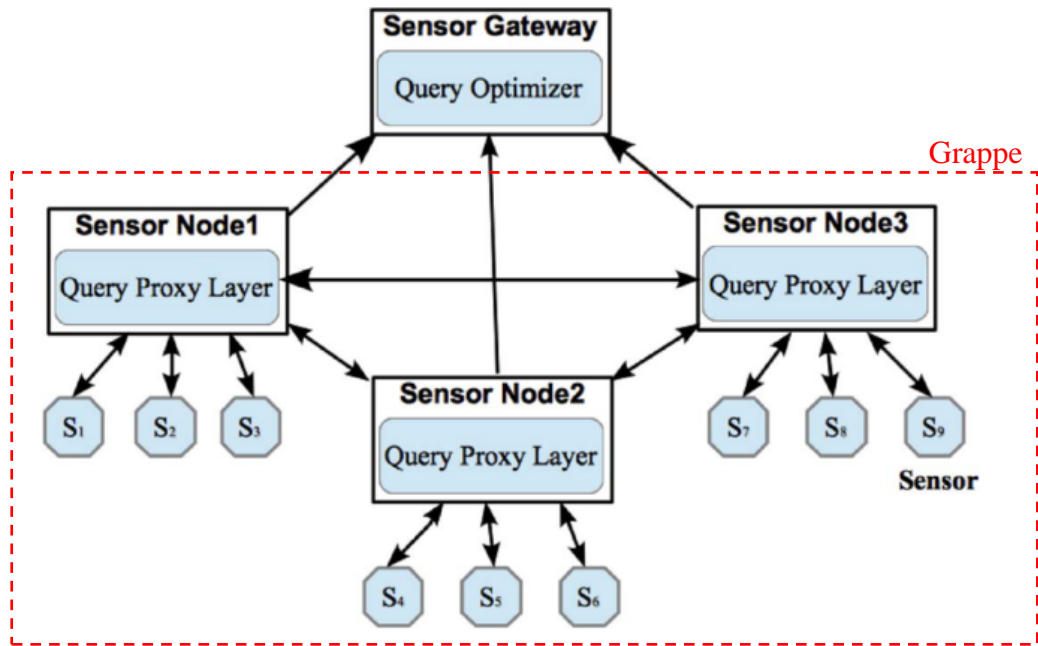


Figure 7. Architecture de l'approche COUGAR

L'approche Cougar est composée de plusieurs grappes, une grappe des nœuds est montrée comme la Figure 7, chacune d'entre elles soutient une tête de grappe qui agrège les informations reçues à partir des nœuds enfants. Pour une requête utilisateur donnée, l'optimiseur de requêtes, localisé dans la passerelle du WSN, génère un plan de requête. Celui-ci spécifie le leader (ou nœud dominant) pour chaque cluster, qui peut être un nœud fixe ou sélectionné par l'algorithme d'élection de leader distribué. De plus, chaque nœud intègre un couche de requête pour filtrer les caractéristiques physiques des réseaux comme mentionné précédemment afin de répondre à la requête reçue

Le traitement en réseau se produit sur les nœuds non-dominants dans les grappes, ils ont une fonction de supervision permettant de lire les valeurs des capteurs, de plus ils contiennent également un opérateur d'agrégation pour rassembler les données d'autres capteurs avant de les transférer au leader. Le leader contient deux opérateurs : Un opérateur d'agrégation et un opérateur SELECT, l'opérateur SELECT permettant de savoir si le résultat est supérieur au seuil. Par exemple, pour répondre à une requête donnée de température dans le RCSF. Tout d'abord, la requête est optimisée par l'optimiseur qui se trouve à la passerelle, en même temps, l'optimiseur génère un plan de requête qui sont diffusés aux proxys de tous les nœuds pertinents. Dans les grappes, les proxys enregistrent la requête, créent un arbre d'opérateur local. Tous les nœuds non-dominants envoient l'information à leur leader, et le leader génère un enregistrement et l'envoie au plan de requête si la température moyenne est supérieure au seuil défini par l'utilisateur.

Le projet TinyDB (Madden *et al.*, 2005) est un autre pionnier des bases de données distribuées sur les WSN comme COUGAR, ils sont les premiers basés sur l'approche déclarative d'acquisition de données. Ce projet est développé sur la base du système d'exploitation TinyOS, les requêtes pour les capteurs sont spécifiées en utilisant un langage de requête de type SQL.

Avec l'interface fournie par le système, la requête donnée est décomposée par un processeur de requêtes et distribuée au réseau. Les nœuds de capteurs associés collectent, filtrent et agrègent les données aux utilisateurs.

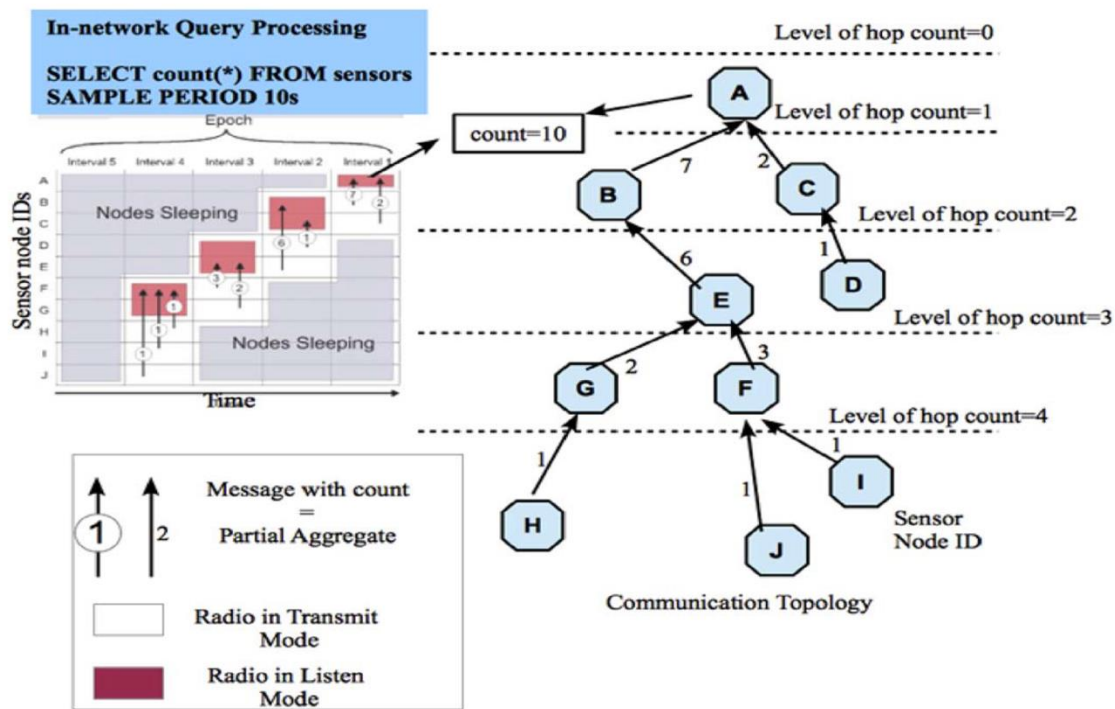


Figure 8. Les étapes d'agrégation des capteurs de TinyDB

A la différence de l'approche en cluster utilisée dans COUGAR, les données sont récupérées selon un arbre de routage sémantique (SRT) à travers le réseau comme indiqué sur la Figure 8, le SRT qui est le routage des nœuds intermédiaires qui contiennent des informations pertinentes pour répondre la requête. Les données du capteur sont sous forme de tuples, par exemple, les tuples produits par un capteur de température sont $\langle \text{sensorId}, \text{location}, \text{temperature}, \text{timestamp} \rangle$. Un protocole d'ordonnancement des communications basé sur les intervalles est utilisé pour collecter les réponses aux requêtes via le SRT, tous les nœuds concernés envoient l'information jusqu'au nœud passerelle afin de répondre aux utilisateurs par la topologie multi-sauts.

Dans TinyDB (Madden *et al.*, 2005), grâce au processeur de requêtes, seuls les nœuds de capteurs associés sont sélectionnés pour le traitement de la requête, les opérations d'agrégation sont effectuées à chaque niveau, tel que MIN, MAX, SUM, MOYENNE, etc. Le traitement en réseau filtre et réduit les énormes données, minimise la consommation d'énergie pour les communications, augmente le cycle de vie du système embarqué.

TINA (Temporal coherency-aware In-Network Aggregation) (Sharaf *et al.*, 2003) est dérivée de TinyDB. Il améliore l'arborescence de routage sémantique existante pour les WSN en ajoutant un intervalle de temps fixe dans la syntaxe d'agrégation de requêtes de TinyDB. L'intervalle fonctionne comme un opérateur de sélection, ce qui signifie que les données collectées seront envoyées uniquement si la différence avec les dernières données enregistrées

est supérieure à l'intervalle. Cette amélioration est très utile pour certaines constantes physiques stables comme la température ou l'humidité.

5.2.2 Techniques de réduction de données

Par rapport à l'agrégation de données, les techniques de réduction de données visent à économiser l'énergie des nœuds capteurs en diminuant la taille des données à transférer dans le réseau. Dans l'ensemble des techniques de réduction de données, les plus utilisées sont la fusion et la compression de paquets. (Jun-Zhao and Jiehan, 2008) présente une nouvelle méthode de réduction des données orientée puissance en utilisant des techniques de fusion ou de compression de paquets pour réaliser la réduction des données. Cette méthode de réduction de données est proposée pour les requêtes continues (ce sont des requêtes qui sont émises une fois et ensuite logiquement exécutées en continu sur la base de données) et vise à optimiser la collecte des résultats. L'auteur a proposé un algorithme pour estimer la consommation d'énergie à partir de deux critères de puissance (la consommation d'énergie qui contient deux types de coûts énergétiques, les coûts de traitement des données et les coûts de transmission des données) et le délai (du rapport de résultat). Quelques expériences connexes ont été réalisées pour valider l'efficacité de cet algorithme. Cette méthode prouve que la fusion de paquets et la compression sont des techniques efficaces pour la réduction des données et qui permettent d'augmenter la durée de vie du réseau.

La fusion de paquets est une technique simple pour le traitement des requêtes puisqu'elle combine plusieurs petits paquets dans un grand pour réduire la fréquence de la communication sans fil, afin d'améliorer la durée de vie du réseau. En général, le format de paquet pour la communication contient deux parties, la partie qui contient des informations de numérotation, d'adressage et de vérification des erreurs, par exemple, l'ID de nœud, l'ID de requête, adresses et etc., l'autre partie contient les données du capteur. En cas de requête périodique, la plupart des informations dans l'en-tête de paquet sont les mêmes avec toutes les lectures, et par conséquent, elles peuvent être partagées.

La compression de paquets est une autre technique simple pour la réduction de données, qui intègre plusieurs paquets dans un paquet réduit par certains algorithmes de compression de données. Bien que la taille des données soit réduite, ce qui peut réduire la consommation d'énergie pour la communication sans fil, l'accès à la mémoire pendant le processus de compression peut augmenter le temps d'exécution. Dans ce cas, la sélection d'un algorithme de compression approprié est très importante, un cadre de compromis de l'efficacité énergétique, la précision et la latence pour la compression de paquets dans le RCSF est proposé dans (Chen and Fowler, 2004).

5.2.3 Techniques d'approximation (*Approximation-based techniques*)

Les techniques basées sur l'approximation sont des techniques statistiques telles que la régression linéaire, les probabilités, etc. utiles pour réduire la taille des données en approximant les réponses à la requête.

Les requêtes top- k trouvent les k tuples les mieux classés avec une fonction de notation et l'ensemble de données, ce type de requête est largement utilisé dans les réseaux de capteurs sans fil. Un ensemble d'algorithmes est proposé basé sur des requêtes top- k , telles que U-Topk, U-kRanks (Soliman, Ilyas and Chang, 2007) and PT-Topk (Hua and Pei, 2008). Le but de U-

Topk est de trouver le classement top- k le plus probable dans un monde possible aléatoire, et de préserver cet ordre de classement. U-kRanks considère le gagnant dans chaque rang individuel, et PT- k considère la probabilité d'être l'un des meilleurs (Jin *et al.*, 2010). Ces requêtes basées sur top- k sélectionnent les réponses les plus pertinentes de manière efficace pour éviter la transmission de données non pertinentes.

Dans le RCSF, la qualité des capteurs varie considérablement en termes de précision de détection, de précision, de tolérance au bruit matériel / externe, etc. De plus, l'effet de l'environnement ambiant rendra les lectures du capteur incertaines (Cheng, Kalashnikov and Prabhakar, 2007). Dans ce cas, les recherches sur les bases de données probabilistes ont reçu un regain d'attention au cours des dernières années.

Ye (Ye *et al.*, 2013) introduit deux notions: l'ensemble suffisant et l'ensemble nécessaire pour le traitement distribué des requêtes top- k probabilistes dans des réseaux de capteurs sans fil basés sur des clusters. La requête top- k probabilistes est l'ensemble des tuples dont les "probabilités top- k " sont au moins p , où les "probabilités top- k " d'un tuple t sont la probabilité agrégée de t étant dans les réponses top- k sur toute la situation possible pour l'ensemble des données incertain.

L'ensemble suffisant est l'ensemble minimum des données locales qui sont suffisantes pour répondre à une requête donnée, et l'ensemble nécessaire est l'ensemble de données à connaître pour que la station de base traite les requêtes. Sur la base des deux notions, les auteurs proposent trois algorithmes (Figure 9) pour le traitement en réseau des requêtes PT-Topk : sufficient set-based (SSB), necessary set-based (NSB) et boundary-based (BB).

Dans l'algorithme SSB, toutes les têtes de cluster calculent leur ensemble suffisant et les envoient à la station de base, si un envoi suffisant ne peut être obtenu, toutes les données locales sont transmises. Dans l'algorithme de NSB, tout d'abord, chaque tête de cluster calcule son propre ensemble nécessaire et envoie à la station de base. Après avoir reçu tous les ensembles nécessaires, la station de base fusionne toutes les données reçues pour trouver la limite globale (GB) nécessaire. Seules les données de rang supérieur à GB seront envoyées à la station.

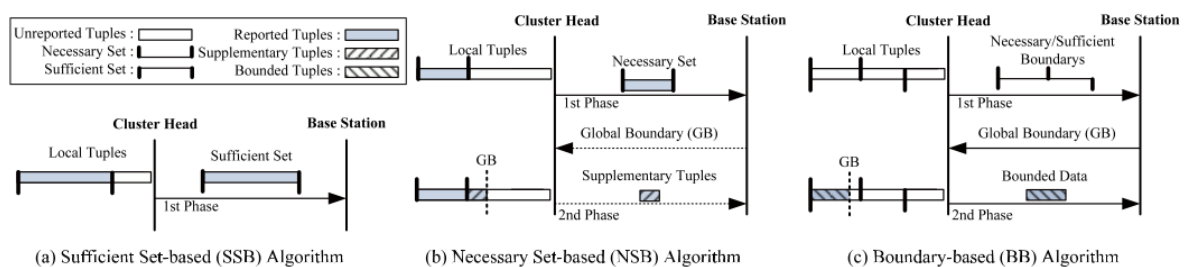


Figure 9 Algorithmes pour le traitement des requêtes interclusters.

Dans le cas de l'algorithme BB, chaque tête de cluster calcule d'abord ses ensembles suffisants et nécessaires et envoie les limites à la station de base. La station de base calcule la limite globale : la $SB_{highest}$ qui est la limite suffisante la plus élevée et la NB_{lowest} indique la limite nécessaire la plus basse, puis la limite globale (GB). Ensuite les données ayant un rang supérieur à GB, et entre la $SB_{highest}$ la NB_{lowest} seront envoyées à la station.

En outre, un algorithme adaptatif a également été présenté, qui peut basculer dynamiquement entre les trois algorithmes proposés pour minimiser la consommation d'énergie. L'objectif ces algorithmes est de retourner les données les plus pertinentes au lieu de transférer toutes les données pour minimiser le coût de la transmission.

6 Architecture de gestion de données

6.1 Structuration des données

Afin d'augmenter le cycle de vie du produit intelligent, de nombreuses informations sur l'environnement physique environnant seront mesurées et stockées au cours des différentes phases. Une structure efficace des données peut réduire le stockage des informations nécessaires lors de l'analyse, la validation, le téléchargement. Morariu et al. (Morariu *et al.*, 2013) proposent une structure de données formalisée pour les produits intelligents sous la forme d'un schéma XSD (*XML Schema Definition*) pour la représentation XML dans la fabrication orientée services.

Le format des données proposé est défini à l'aide de XSD et contient trois sections décrivant : l'identité du produit, son statut en temps réel et la liste des opérations à exécuter. L'identité du produit contient les informations de base du produit, telles que l'identifiant du produit, le type de produit etc. Son statut en temps réel incluant l'empreinte énergétique enregistrée dans chaque opération exécutée par une ressource, et le chemin d'exécution choisi. Le plus complexe est la liste des opérations qui contiennent toutes les informations pour une opération, telles que la ressource, le temps d'exécution, l'énergie, etc.

Cette structure de données répond aux exigences de la réimpression des opérations requises pendant le processus de fabrication, elle permet la définition des dépendances entre les opérations et l'estimation de l'ETA (Estimated time of arrival) à l'exécution en fonction du chemin choisi par le planificateur. De plus, elle enregistre également l'empreinte énergétique de chaque produit et chaque opération effectuée.

Il existe d'autres formats permettant de suivre le produit tout au long de son cycle de vie, tels que SOM, PRONTO...etc.

6.2 Éléments de l'architecture et relation entre éléments

A côté de la structure des données, une architecture efficace peut simplifier l'organisation des éléments. Sallez et al. (Sallez, Montreuil and Ballot, 2015) passe en revue l'Internet physique et le concept de conteneurs PI (Montreuil, 2011), puis propose la notion d'actif PI-conteneur, et introduit un cadre descriptif capable de soutenir une activité multicouche.

Le conteneur PI est non seulement utilisé pour stocker et protéger les produits, mais est également un objet intelligent qui pourrait se connecter avec les plateformes de gestion de données. À l'aspect physique des conteneurs PI, Montreuil (Montreuil, 2011) décrit les principales spécifications fonctionnelles et physiques des conteneurs PI conçus, les principales exigences sont: il devrait avoir différentes tailles modulaires, facile à manipuler, stocker, transporter, ayant des capacités de conditionnement. Dans ce cas, Montreuil propose trois catégories modulaires de conteneurs PI (Montreuil, Eric Ballot, 2016), les conteneurs *T* abrégés, les conteneurs *H* (ou boîtes PI) et les conteneurs *P* (ou packs PI), respectivement les niveaux de transport, de manutention et d'emballage. Aux aspects informationnels, les principales

exigences sont : l'identification, la traçabilité et le suivi, la surveillance de l'état, la compatibilité et l'interopérabilité des données, ainsi que la confidentialité.

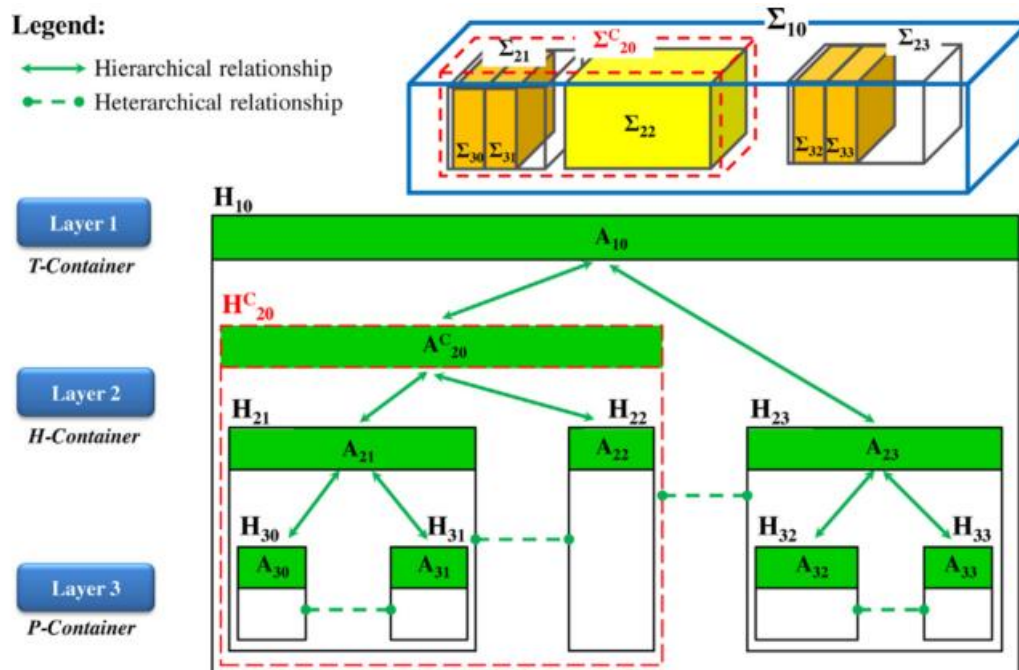


Figure 10 illustration du cadre PI

Basé sur le concept des conteneurs Internet physiques, Sallesz proposé le cadre multicouche comme la Figure 10. Ce cadre contient trois niveaux qui correspondent aux trois niveaux de PI-conteneur. Dans ce cadre, il y a certaines notions qui sont présentées :

- Σ_i : PI-Conteneurs i ;
- Σ_i^C : PI-Conteneurs composite i ;
- H_i : Holon associé au PI-conteneur i ;
- H_i^C : Holon associé à un PI-conteneur composite ;

Dans ce cadre, les conteneurs PI sont capables de communiquer entre eux, entre le même niveau ou un niveau différent, il y a donc les interactions hiérarchiques et les interactions hétéroarchies. Comme indiqué dans la Figure 10, un T -Conteneur H_{10} contient deux H -Conteneurs (H_{20} et H_{23}), où le premier H_{20} est un composite de deux H -Conteneurs différents (H_{21} et H_{22}). De plus, les H -Conteneurs contiennent les différents P -Conteneurs où le produit passif est stocké. Ce cadre est très intéressant pour nous, où le béton communicant de notre projet McBIM peut être considéré comme le conteneur. Dans ce cas, nous pourrions peut-être aussi proposer un cadre similaire pour notre projet d'organisation de béton communicant.

(Främling and Ala-Risku, 2007) montre les correspondances entre le concept produit-agent et OOP (Object-Oriented Programming) comme illustré Figure 11. Par exemple, l'objet du concept OOP peut être présenté par l'agent dans la concept produit-agent, la référence d'objet peut être représentée par l'ID @ URI (où la partie URI identifie une ressource (adresse de l'entreprise), l'identifiant peut utiliser une norme d'identification existante tant qu'elle reste unique dans

l'espace adresse de l'URI...etc. Basé sur les correspondances entre ces deux concepts, il introduit comment appliquer les pratiques de OOP bien connues à la gestion de l'information des produits composites et pour propager les mises à jour de l'information à travers le modèle observateur.

OOP concept	Product-agent concept
Object	Agent: Internet-accessible software component
Object reference	ID@URI or similar
Method	Message
Interface	Interface defining messages and message formats
Object Container	Database table for object relations, stored as ID@URI references

Figure 11 Correspondance entre les concepts de base dans les systèmes OOP et produit-agent.

Le modèle Composite (Hussey, 1999) est l'un des modèles de conception les plus importants, dont l'objectif est de composer des objets dans des structures arborescentes pour représenter des hiérarchies partielles. L'auteur applique ce concept à la phase d'expédition du produit où l'unité d'expédition contiennent généralement des pièces provenant de nombreuses sociétés différentes. Comme montré dans la Figure 12, chaque partie du produit a une liste de références aux pièces qu'il contient au format ID @ URI, le produit individuel forme une hiérarchie à plusieurs niveaux.

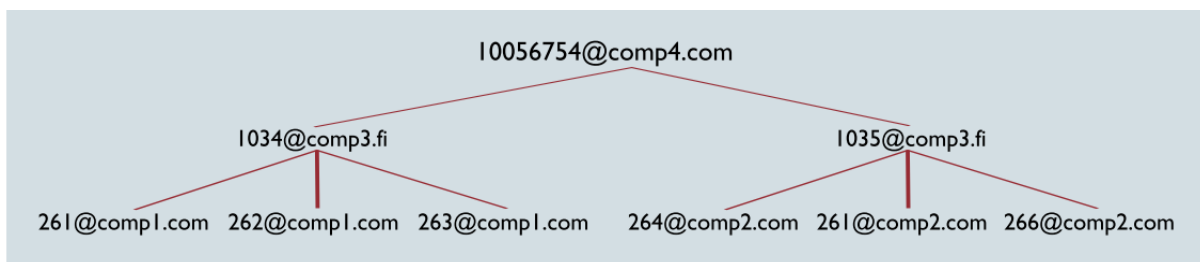


Figure 12 Exemple de hiérarchie de produits composites

La propagation d'une actualisation d'information est représentée sur la Figure 13. la partie la plus externe est la seule accessible en la lecture, et est aussi le haut de la hiérarchie des produits. L'agent produit *comp4.com* reçoit la mise à jour de l'emplacement, puis transmet l'information à l'agent *comp3.com* en suivant les structures arborescentes, et *comp3.com* la transfère à *comp1.com* et *comp2.com*. Ce type de conception ressemble au conteneurs PI par Sallez, dans notre projet, le béton communicant peut également être agrégé dans une grande partie, la composition d'arbre peut être une solution appropriée pour la conception de la partie virtuelle de notre projet.

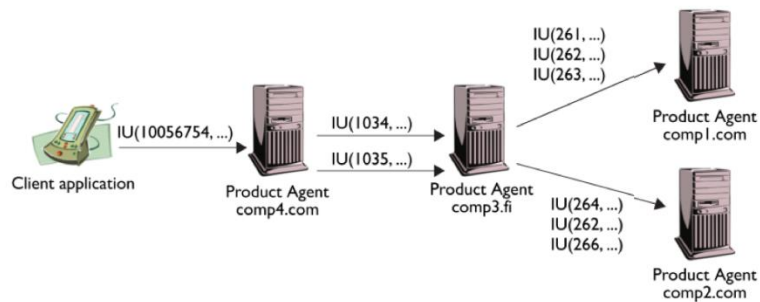


Figure 13 Propagation des mises à jour d'informations

7 Lien Digital /Physique

Récemment, le développement de l'identification automatique et du traitement embarqué est évident, qui conduit au paradigme du produit intelligent. L'utilisation du produit intelligent permet de réaliser la connexion entre le monde physique et le monde digital.

7.1.1 Identification automatique

Depuis le début des années 1970, les codes à barres ont été installés pour assurer le suivi des pièces de la ligne de production, et L'adoption de la norme UPC (Universal Product Code) en 1973 a provoqué une augmentation soudaine des codes à barres, ce qui a entraîné une utilisation généralisée du balayage laser pour suivre les articles. Mais les codes à barres nécessitent une analyse manuelle, un accès visuel au code-barres et ne permettent de lire qu'un seul élément à la fois, ce qui entraîne un flux d'informations lent. Au contraire, les technologies d'identification radio-fréquences (RFID pour *Radio-Frequency Identification*) surmontent ces limitations.

RFID est une technologie de collecte de données sans fil qui repose sur des étiquettes, constituées de puces de mémoire de silicium équipées d'antennes radio, qui peuvent être attachées à des objets pour transmettre des flux de données à leur sujet. L'avantage de la RFID est évident, plusieurs étiquettes peuvent être lues simultanément, plus difficile à contrefaire. Les technologies de RFID et RCSF ont créé de nouveaux niveaux de visibilité de l'état du produit.

7.1.2 Synchronisation

Pour l'instance, les trois principales approches plus connues des produits intelligents qui relient les produits dans le monde physique avec les systèmes d'information pour soutenir les stratégies PLM sont EPC Global (Cole and Ranasinghe, 2008), DIALOG (*Dialog*, 2003) et WWAI(*World wide article information*, 1992).

L'EPC Global est montré dans la Figure 14, où les flèches indiquent le flux de données des étiquettes vers le système de support du réseau et le flux de commande et de données vers les lecteurs et les étiquettes. Chaque produit est étiqueté avec un code de produit électronique (EPC) unique, les informations du produit sont lues par le lecteur, puis filtrées et envoyées vers la couche application et l'EPCIS (EPC Information Service) afin de répondre à la requête de l'ONS (Object Naming Service). Dans cette approche, l'ONS indique aux systèmes informatiques où trouver des informations sur Internet à propos de tout objet qui porte un EPC.

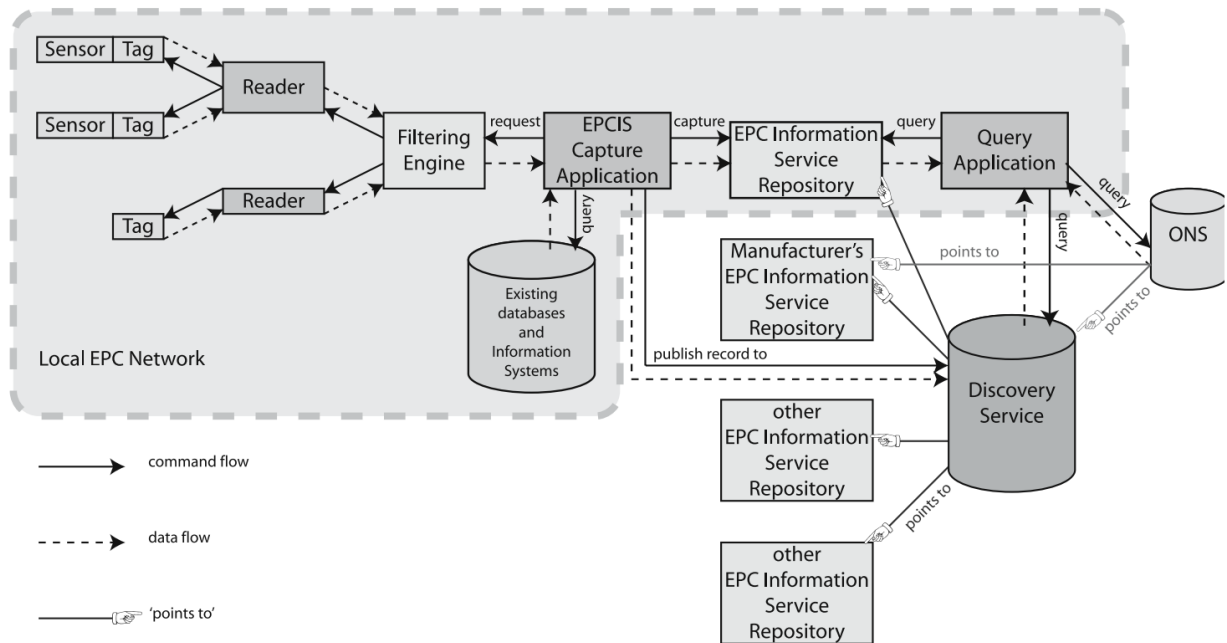


Figure 14 Un aperçu du réseau EPC

L'EPC global fournit des interfaces de communication normalisées pour la communication d'informations relatives aux produits. Les principaux avantages de l'approche EPC global sont le fort soutien industriel et les normes soutenues par des organisations telles que GS1. Le principal point faible est que cette approche se concentre sur la gestion de la chaîne d'approvisionnement, et n'utilise que les étiquettes RFID passives. La prise en charge d'autres technologies d'identification automatique peut poser problèmes.

Teucke1 et al. (Teucke, Sommerfeld and Freitag, 2018) montrent comment améliorer la norme de communication EPCIS afin de partager des données de qualité basées sur des capteurs. En même temps, ils décrivent également l'utilisation des mécanismes de point d'extension pour ajouter à la fois des données d'événement de capteur et des données de base de capteur et un capteur dynamique ainsi que l'interface qui les relie comme la Figure 15. Les données d'événement de capteur sont appliquées à un ObjectEvent existant en ajoutant trois nouveaux champs d'événement à l'aide des déclarations NewEventField. Grâce à l'ajout de supervision de la qualité des produits et des processus, cette extension peut améliorer les performances de la chaîne d'approvisionnement en réduisant les pertes de production et les transports d'urgence.

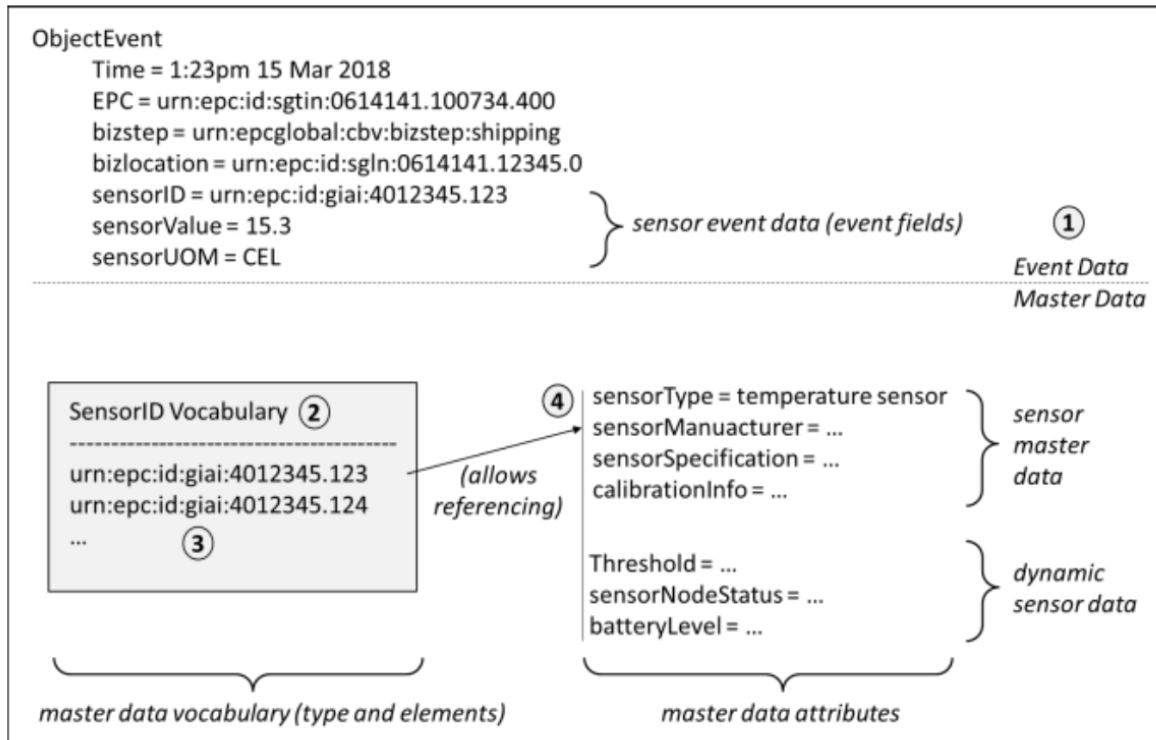


Figure 15 Utilisation de points d'extension pour les structures de données de capteur

Le système d'information DIALOG est proposé à Helsinki University of Technology. Ce système permet d'interroger et de mettre à jour des informations sur des produits tangibles sur Internet. DIALOG implémente la première couche d'une architecture à deux couches et a été utilisé dans deux installations pilotes multi-organisationnelles pour l'expédition et le suivi et le traçage des produits. Dans cette approche, il utilise "ID @ URI" pour créer un identifiant de produit unique au monde où URI est une adresse d'ordinateur (par exemple "www.xxx.com") et ID est un numéro de série ou tout autre numéro unique indiqué à l'URI. Un exemple de suivi du produit est illustré Figure 16-a. L'ID @ URI relie directement les objets physiques à leur agent de produit qui gère les informations sur le produit.

Comparé à EPC Global, le principal avantage de ID @ URI est sa simplicité et qu'il peut être utilisé sans nouvelles normes ou infrastructure. De plus, Främpling et al. (Främpling, Nyman and Oy, 2009) présentent la PROMISE Messaging Interface (PMI) qui permet une approche basée sur les services Web, et l'échange de données entre tous les utilisateurs PMI. Elle rend possible la réalisation de l'Internet des Objets.

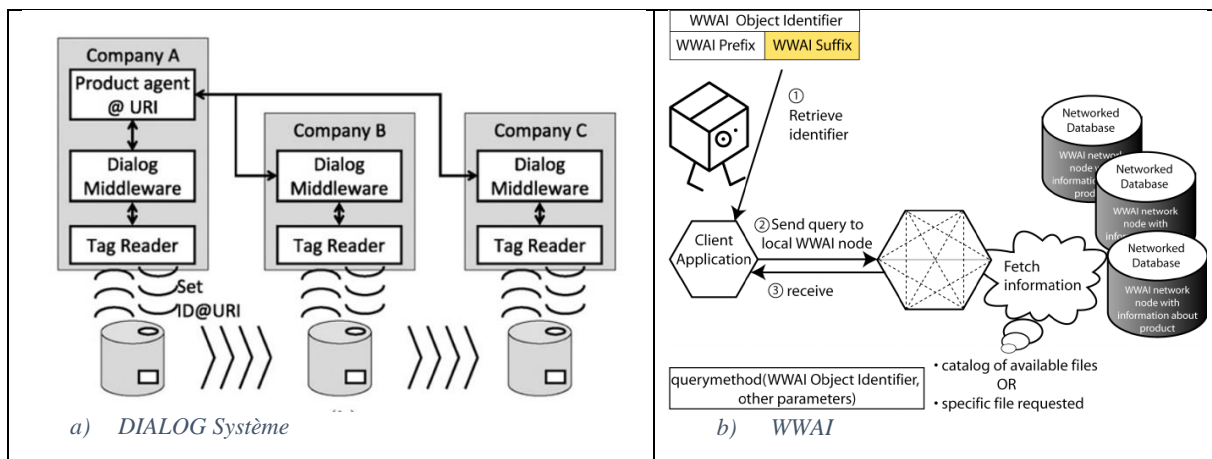


Figure 16 Exemple de suivi de produit avec DIALOG Système et WWAI

World Wide Article Information (WWAI) est un protocole de niveau application pour l'information distribuée d'articles de production. Un exemple est montré dans la Figure 16. Dans cette approche, l'identifiant du produit est utilisé pour récupérer les informations disponibles sur le produit. L'échange d'informations est basé sur un réseau peer-to-peer. Chaque participant contrôle ses propres informations sur son produit et décide si l'information est publique ou privée. La distribution de l'information rend les réseaux WWAI évolutifs et capables de croître à mesure que le nombre de nœuds et de produits de fournisseurs d'information augmente. WWAI permet aux entreprises de partager des informations produit en temps réel, indépendamment de la méthode d'identification automatique utilisée, sur Internet.

Le principal avantage de WWAI est la nature distribuée de la transmission de l'information sur les produits et de l'accès, ce qui la rend relativement tolérante aux pannes, et le principal défi pour WWAI est qu'il n'est pas standardisé.

Bibliographie

Chen, M. and Fowler, M. L. (2004) 'Data compression trade-offs in sensor networks', in *Mathematics of Data/Image Coding, Compression, and Encryption VII, with Applications*.

Cheng, R., Kalashnikov, D. V. and Prabhakar, S. (2007) 'Evaluation of probabilistic queries over imprecise data in constantly-evolving environments', *Information Systems*, 32(1), pp. 104–130. doi: 10.1016/j.is.2005.06.002.

Chor Ping Low, Can Fang, J. M. N. & Y. H. A. (2007) 'Load-Balanced Clustering Algorithms for Wireless Sensor Network', *IEEE Int. Conf. Communications ICC '07*, pp. 3485–3490.

Cole, P. H. and Ranasinghe, D. C. (2008) *Networked RFID systems and lightweight cryptography: Raising barriers to product counterfeiting: First edition, Networked RFID Systems and Lightweight Cryptography: Raising Barriers to Product Counterfeiting: First Edition*. doi: 10.1007/978-3-540-71641-9.

- Demirbas, M., Lu, X. L. X. and Singla, P. (2009) 'An In-Network Querying Framework for Wireless Sensor Networks', *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 20(8), pp. 1–14. doi: 10.1109/TPDS.2008.217.
- Diallo, O. *et al.* (2015) 'Distributed database management techniques for wireless sensor networks', *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 26(2), pp. 604–620. doi: 10.1109/TPDS.2013.207.
- Dialog* (2003). Available at: http://dialog.hut_.
- Främling, K. and Ala-Risku, T. (2007) 'Design patterns for managing product life cycle information', *Communications of the ...*, 50(6), pp. 75–79. doi: <http://doi.acm.org/10.1145/1247001.1247009>.
- Främling, K., Nyman, J. and Oy, P. (2009) 'From tracking with RFID to intelligent products', *ETFA 2009 - 2009 IEEE Conference on Emerging Technologies and Factory Automation*. doi: 10.1109/ETFA.2009.5347164.
- Giridhar, A. and Kumar, P. R. (2006) 'Toward a theory of in-network computation in wireless sensor networks', *IEEE Communications Magazine*, 44(4), pp. 98–107. doi: 10.1109/MCOM.2006.1632656.
- Gupta, G. and Younis, M. (2003) 'Load-Balanced Clustering in Wireless Sensor Networks', *Communications, 2003. ICC '03. IEEE International Conference on*, pp. 1848–1852. doi: 10.1109/ICC.2003.1203919.
- Hua, M. and Pei, J. (2008) 'Ranking Queries on Uncertain Data : A Probabilistic Threshold Approach', *Proceedings of the 2008 ACM SIGMOD international conference on Management of data*, pp. 673–686. doi: 10.1145/1376616.1376685.
- Hussey, A. (1999) *Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software, Computer Safety, Reliability and Security*. doi: 10.1007/3-540-48249-0_10.
- Information, P. L. (2008) 'Product Lifecycle Management and Information Tracking using Smart Embedded Systems - PROMISE'.
- Jin, C. *et al.* (2010) 'Sliding-window top-k queries on uncertain streams', *VLDB Journal*, 19(3), pp. 411–435. doi: 10.1007/s00778-009-0171-0.
- Jun-Zhao, S. and Jiehan, Z. (2008) 'Power-aware data reduction for continuous query in wireless sensor networks', *Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Technology*. doi: 10.1109/ICIT.2008.4608446.
- Kubler, S. *et al.* (2012) 'Premiers travaux relatifs au concept de matière communicante : Processus de dissémination des informations relatives au produit'.
- Madden, S. R. *et al.* (2005) 'TinyDB: an acquisitional query processing system for sensor networks', *ACM Transactions on Database Systems*, 30(1), pp. 122–173. doi: 10.1145/1061318.1061322.
- Mekki, K. (2016) 'ee dans des mat' eriaux communicants ` a l' aide de protocoles de r' eseaux de communicants à l' aide de protocoles de réseaux de'.
- Meyer, G. G. *et al.* (2009) 'Intelligent Products: A survey', *Computers in Industry*, 60(3), pp. 137–148. doi: 10.1016/j.compind.2008.12.005.
- Monostori, L. (2014) 'Cyber-physical production systems: Roots, expectations and R&D

- challenges', *Procedia CIRP*. Elsevier B.V., 17, pp. 9–13. doi: 10.1016/j.procir.2014.03.115.
- Montreuil, Benoit, Eric Ballot, W. T. (2016) 'Modular Design of Physical Internet Transport, Handling and Packaging Containers', *MHI*, 13.
- Montreuil, B. (2011) 'Toward a Physical Internet: meeting the global logistics sustainability grand challenge', *Logistics Research*, 3(2–3), pp. 71–87. doi: 10.1007/s12159-011-0045-x.
- Morariu, C. *et al.* (2013) *Formalized information representation for intelligent products in service-oriented manufacturing, IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline)*. IFAC. doi: 10.3182/20130522-3-BR-4036.00017.
- Sallez, Y., Montreuil, B. and Ballot, E. (2015) 'On the activeness of physical internet containers', *Studies in Computational Intelligence*. Elsevier B.V., 594, pp. 259–269. doi: 10.1007/978-3-319-15159-5_24.
- Santi, P. (2005) 'Topology control in wireless ad hoc and sensor networks', *ACM Computing Surveys*, 37(2), pp. 164–194. doi: 10.1145/1089733.1089736.
- Sharaf, M. A. *et al.* (2003) 'TiNA : A Scheme for Temporal Coherency-Aware', *Epoch*, pp. 69–76. doi: 10.1145/940923.940937.
- Soliman, M. A., Ilyas, I. F. and Chang, K. C. C. (2007) 'Top-k query processing in uncertain databases', *Proceedings - International Conference on Data Engineering*, pp. 896–905. doi: 10.1109/ICDE.2007.367935.
- Teucke, M., Sommerfeld, D. and Freitag, M. (2018) 'Sharing Sensor Based Quality Data in Automotive Supply Chain Processes', *Proceedings of the 16th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing, INCOM 2018*, p. 6.
- Thomas, A. (2009) 'RFID et nouvelles technologies de communication; enjeux économiques incontournables et problèmes d'éthique', *6ème Conférence Internationale Conception et Production Intégrées, CPI'2009*. Available at: <http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00442873/>.
- World wide article information* (1992). Available at: <http://www.wwai.org/>.
- Yao, Y. and Gehrke, J. (2002) 'The cougar approach to in-network query processing in sensor networks', *ACM SIGMOD Record*, 31(3), pp. 9–18. doi: 10.1145/601858.601861.
- Ye, M. *et al.* (2013) 'Distributed processing of probabilistic top-k queries in wireless sensor networks', *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 25(1), pp. 76–91. doi: 10.1109/TKDE.2011.145.