

Réseaux

Chapitre 10 - Les réseaux de capteurs sans fils

Claude Duvallet

Université du Havre
UFR Sciences et Techniques
25 rue Philippe Lebon - BP 540
76058 LE HAVRE CEDEX
Claude.Duvallet@gmail.com

Plan de la présentation

- 1 Introduction et contexte
 - Généralités
 - Domaines d'applications
- 2 Les réseaux de capteurs
 - Les capteurs
 - Les réseaux
- 3 Les problèmes de recherche
 - Problématiques de recherche
 - Méthodes de clustering
 - Gestion des données
- 4 Les bases de données de capteurs
 - Projets universitaires
 - Problèmes de recherche
- 5 Conclusion et perspectives

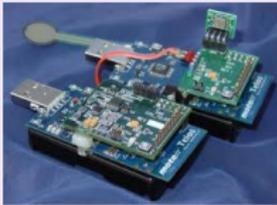
Introduction et contexte

- Un domaine en pleine expansion : les réseaux de capteurs sans fil.
- Des nœuds communiquant via des réseaux sans fils.
- Premières apparitions dans le domaine militaire.
- Dispositifs autonomes fonctionnant grâce à des batteries.
- Déployables facilement dans des zones d'accès difficiles.
- Permettant de recueillir facilement de l'information de terrain.
- Très grande tolérance aux pannes car redondance des dispositifs.
- Organisation en réseaux Ad Hoc sans fil.
- Utilisation de la norme de réseaux sans fil 802.15.4 (ZigBee).

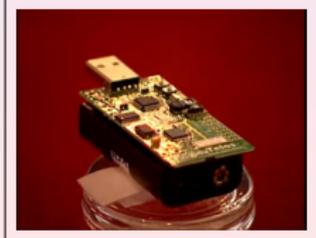
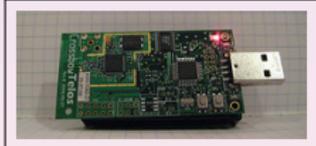
Domaines d'application

- Les capteurs peuvent être utilisés pour détecter un certain nombre de paramètres physiques tels que :
 - la lumière, le son, l'humidité, la pression, la température, la composition du sol, de l'air ou de l'eau, etc.
- Ils peuvent être facilement déployés et avec un faible coût.
- Ils peuvent être exploités dans de nombreux domaines :
 - Le domaine militaire.
 - Les systèmes de transport intelligents : gestion des espaces urbains et des transports.
 - L'agriculture de précision : gestion de l'irrigation, de la fertilisation, etc.
 - La domotique : gestion de l'environnement d'une maison ou d'un bâtiment.
 - L'environnement : tremblement de terre, détection des incendies.

Exemples de capteurs



Les capteurs : caractéristiques



- Dispositifs physiques de petite taille.
- Capacité énergétique limités dans le temps.
- Fonction principale : acquisition de données : température, humidité, etc.
- Géo-positionnement (données GPS).
- Dotés de faibles capacités de calcul et de stockage.
- Des capacités de communication sans fil : ZigBee (802.15.4), WiFi (802.11), etc.
- Différents types de capteurs (Fixes, Agiles ou Mobiles).

Les capteurs : classification et architecture

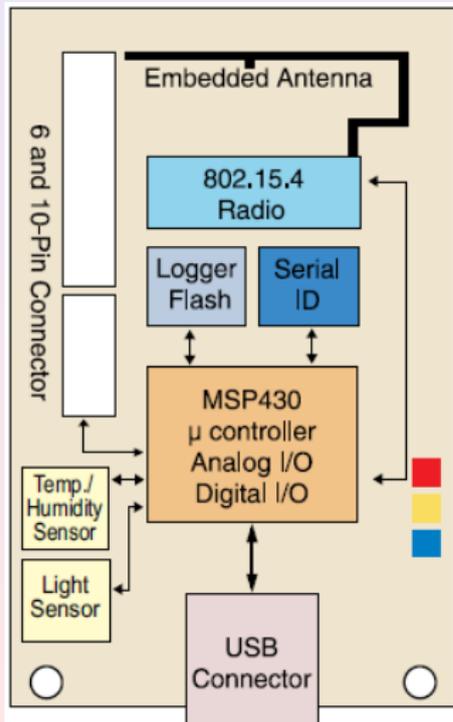
Classifications des capteurs :

- Des capteurs fixes :
 - Implantés définitivement dans un endroit.
 - Effectuant des mesures pour un endroit unique.
- Des capteurs agiles :
 - Variation discrète de la position.
- Des capteurs mobiles :
 - Positions variant dans le temps et dans l'espace.

Architecture d'un capteur sans fil

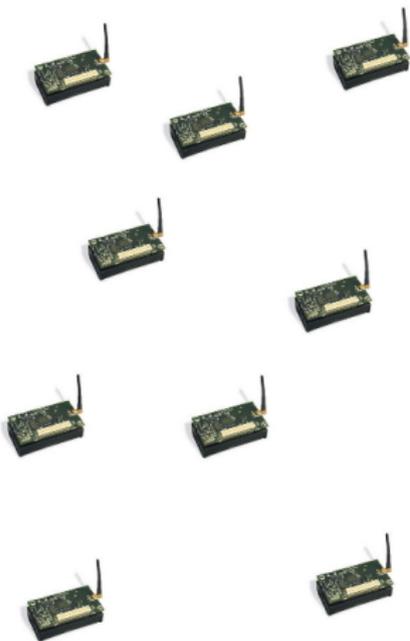
- Unité de traitement : processeur.
- Unité de stockage : mémoire "flash" ou mémoire vive (RAM).
- Unité d'énergie : batterie.
- Unité de détection : convertisseur analogique/numérique.
- Unité de transmission : antenne et récepteur.

Exemple de capteur : le capteur TelosB



- Processeur :
 - TI MSP430
 - 8 MHz
 - 10 ko RAM
- Transmission :
 - IEEE 802.15.4 (ZigBee)
 - Débit (250 kbps)
 - Bande de fréquence (2.4 à 2.4835 GHz)
 - Antenne intégrée
- Mémoire : 1 Mo
- Capteurs :
 - Température, Humidité, Lumière.
- Système d'exploitation : TinyOS 1.1.11 ou plus

Un réseau de capteurs

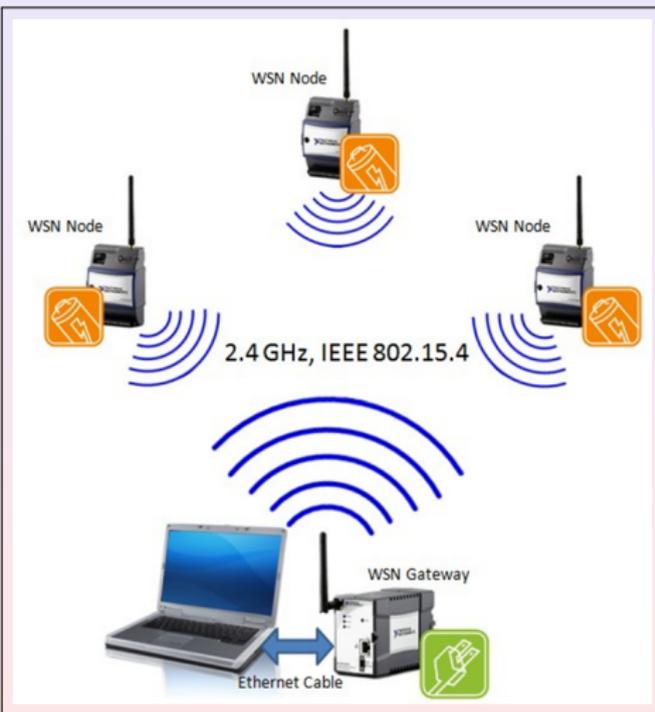


- Réseau Ad Hoc composés d'un ensemble de dispositifs (capteurs).
- Dispersés dans une zone géographique pour détecter les caractéristiques de l'environnement (température, pression, mouvement, ...).
- Capables de communiquer entre eux et avec une station de base.
- Implique des fonctionnalités de routage, parfois d'agrégation des données et de clustering...
- De nombreux domaines d'application.
- De nombreux problèmes de recherche.

Caractéristiques des réseaux de capteurs sans fil

- Passage à l'échelle :
 - De quelques centaines à plusieurs milliers de capteurs.
 - Avec ZigBee : environ 65 000 nœuds.
 - Accès sans fil :
 - Sensibilité aux interférences radio.
 - Problème de portée et de débit .
 - Ressources limitées :
 - Calcul (4 MHz).
 - Énergie (Piles électriques).
 - Mémoire (512 Ko - 1 Mo)
 - Gestion de l'énergie :
 - Alimentation par batterie.
 - Impossibilité de changer la batterie.
- ⇒ Durée de vie limitée dans le temps.

Problématiques de recherche

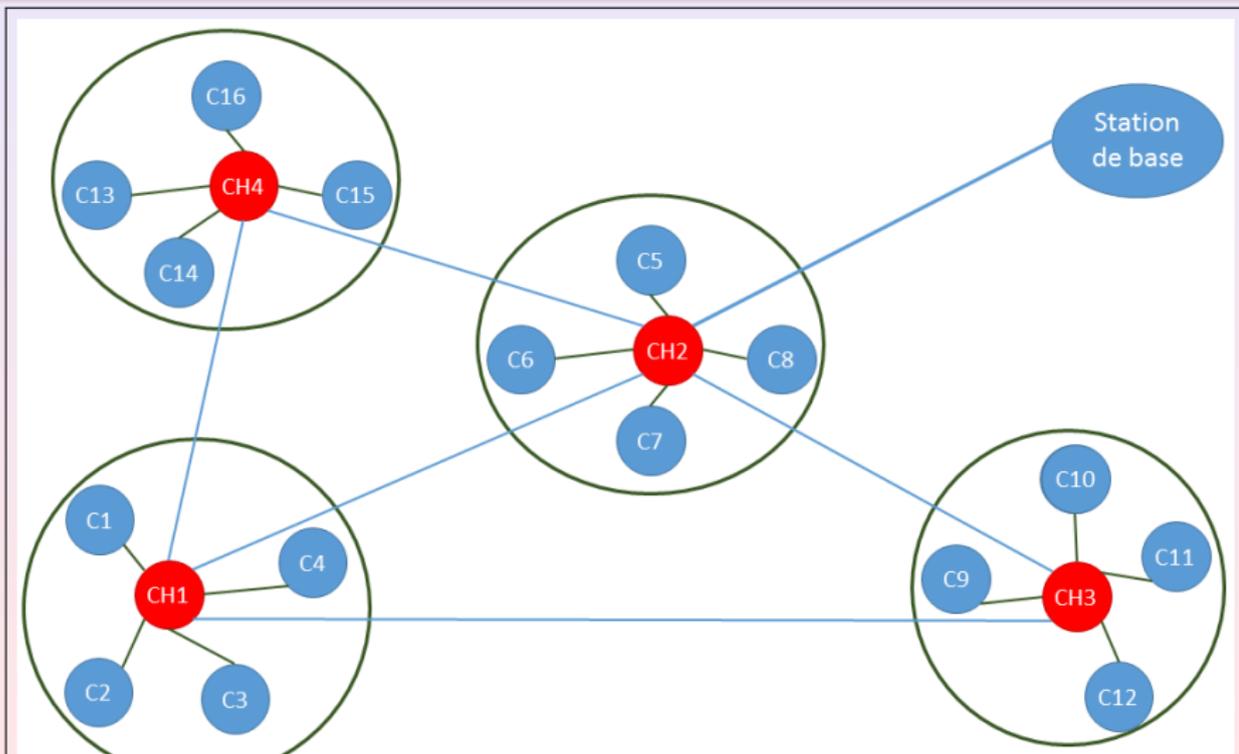


- Comment transmettre les informations en provenance d'un grand nombre de capteurs vers une unique station de base ?
- Comment s'assurer de la pertinence des données transmises ?
- Comment prolonger la durée de vie du réseau de capteur ? Comment économiser l'énergie consommée par les capteurs ?
- Comment respecter les contraintes temporelles des données de capteurs et des traitements ?
- etc.

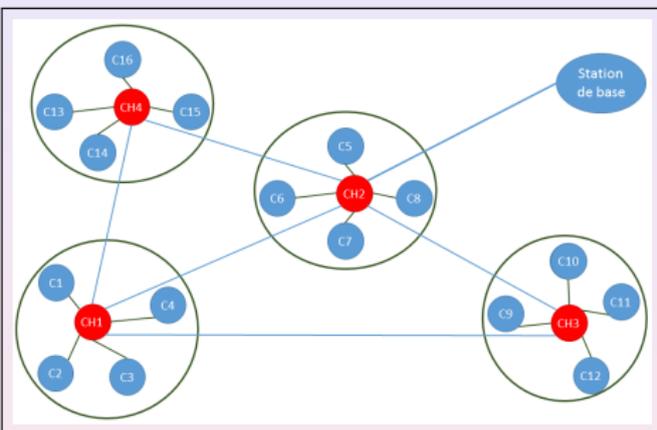
Problématiques de recherche

- Les travaux de recherche sur les réseaux de capteurs sans fil se concentre sur :
 - Les contraintes matérielles (limitation de la mémoire, de la distance de transmission, de la capacité de traitement, etc.),
 - La limitation des ressources énergétiques (durée de vie des capteurs et donc du réseau de capteurs).
- Les applications sont soumises à des contraintes temporelles :
 - Les données acquises doivent refléter le plus fidèlement possible l'état de l'environnement : on ne peut pas utiliser des valeurs trop anciennes.
 - Les traitement effectués à partir des données doivent se faire suffisamment vite pour être utilisable par un décideur.
Exemple : si des capteurs dans une centrale nucléaire permettent de connaître les températures, il faut que les traitements basés sur ces données informent à temps les décideurs d'un quelconque problème.

Les méthodes de clustering



Les méthodes de clustering



- La création des clusters :
 - Rassembler des capteurs au sein d'un cluster.
 - Élire un chef de cluster en fonction de ses capacités (énergétiques ou autres).
 - Changer de chef de cluster car il va consommer plus d'énergie qu'un autre capteur.
- Objectifs :
 - Agréger les données acquises par plusieurs capteurs dans une même zone.
 - Routage de données par multi-sauts ou autres méthodes.
 - Minimiser le nombre de communications et donc l'énergie consommée.

La qualité des données dans les réseaux de capteurs

- Les données recueillies ont une durée de validité temporelle.
- Elles deviennent de moins en moins précise avec le temps qui passe.
- Elles ne reflètent plus l'état de l'environnement.
- Les données retournées doivent être conformes à la logique et aux contraintes temporelles.

Interrogation des réseaux de capteurs

- Requêtes sur l'historique de données : exécutées coté serveur.
- Requêtes instantanées : exécution sur un dispositif à un instant T .
- Requêtes de longue exécution : exécution sur un dispositif pendant un intervalle T .

Les bases de données de capteurs

Plusieurs projets universitaires :

- Sina : crée en 2000, Université Delaware.
 - Cougar : crée en 2001, Université Cornell.
 - TinyDB : crée en 2003, Projet WEBS « Wireless EmBedded Systems », Université Berkeley, Californie.
 - Antelope : crée en 2011, Université Mälardalen.
- ⇒ Ils ne considèrent pas les conflits qui surgissent à partir des lectures et des écritures dans les transactions.

COUGAR

- COUGAR considère le réseau de capteurs comme une grande base de données distribuée où les données sont assimilées à une table relationnelle.
- L'utilisateur soumet une requête via une interface (logiciel).
- Le logiciel traite la requête et l'envoie au capteur qui est le chef du cluster (Cluster Head ou Gateway Sink).
- Le chef du cluster traite la requête et demande les résultats en provenance des autres nœuds du cluster.
- Chaque nœud retourne son résultat au chef du cluster.
- Le chef du cluster envoie les résultats au logiciel.
- L'architecture de COUGAR repose sur un « proxy Requête », un composant « Frontal » et une interface graphique.

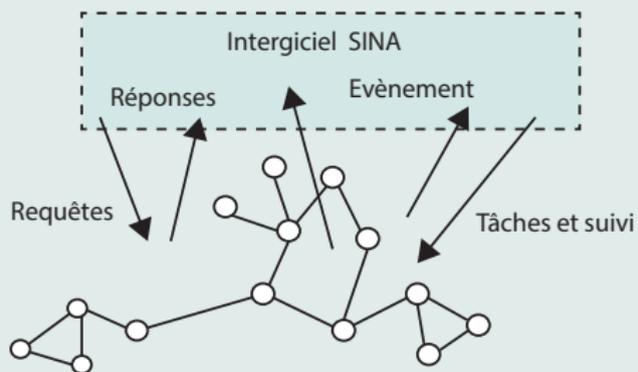
COUGAR : Architecture

- Le « proxy Requête » :
 - Petite application associée à chaque capteur entre sa couche réseau et sa couche application.
 - Interprète et exécute les requêtes échangées entre le capteur et sa station de base.
 - Ce composant est responsable des communications entre les capteurs, la station de base et les requêtes utilisateurs.
- Le composant « Frontal » :
 - Il joue le rôle de passerelle entre l'interface graphique et le réseau de capteurs.
 - Il peut émettre aussi des tuples de données vers une base de données MySQL installée sur un serveur central.
- L'interface graphique :
 - Elle permet à l'utilisateur d'interroger le réseau de capteurs via des requêtes qui lui permettent de visualiser la topologie du réseau.

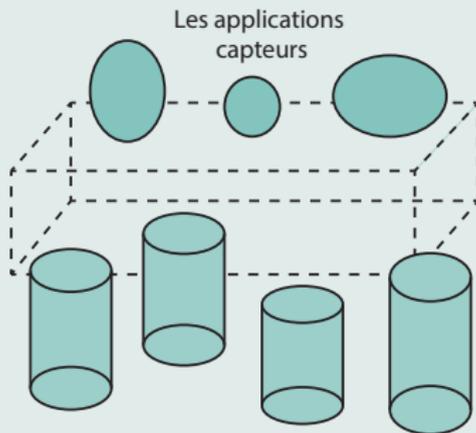
SINA

- Un middleware pour collecter les données distribués.
- Il fournit des méthodes permettant de :
 - créer des associations,
 - coordonner les activités entre les capteurs.
- Il permet à l'utilisateur :
 - d'accéder à un capteur à travers des requêtes déclaratives.
 - d'effectuer des tâches en utilisant des scripts de programmation à travers le langage Sensor Query and Tasking Language (SQTL).
- Il organise les nœuds du réseau en clusters pour obtenir une plus grande efficacité énergétique.

SINA



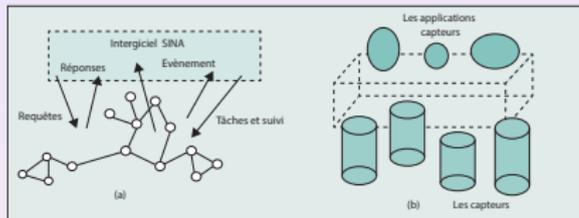
(a)



(b)

Les capteurs

SINA : Architecture



- L'architecture de SINA repose sur trois fonctionnalités principales :
 - Groupement hiérarchique : les nœuds sont regroupés sous forme de clusters en fonction de leur niveau de puissance et de leurs positions.
 - Identification des capteurs par attribut : avec un grand nombre de capteurs, il est difficile de contrôler chaque nœud.
 - La détection de l'emplacement des capteurs : le système de positionnement global (GPS) fournit des informations de positionnement absolu des capteurs.

TinyDB : présentation

- C'est un système d'exécution de requêtes sur un réseau de capteurs, intégré au système d'exploitation TinyOS.
- L'utilisateur choisit les données qu'il veut acquérir.
- L'utilisateur envoie une requête via le réseau.
- La requête de l'utilisateur est décomposée et distribuée à travers le réseau.
- TinyDB utilise un langage de requêtes déclaratives de type SQL, qui permet aux utilisateurs de décrire les données, sans connaître la façon dont les données sont traitées.
- TinyDB collecte les données de capteurs, les filtre et les agrège, puis les achemine vers un serveur central.
- TinyDB maintient les tables de routage dans le réseau pour s'assurer que tous les capteurs peuvent livrer leurs données aux utilisateurs.

TinyDB : Architecture

Les applications capteurs

API TinyDB Client

Serveur TinyDB

SGBD

Données

Requêtes

TinyDB

Les capteurs

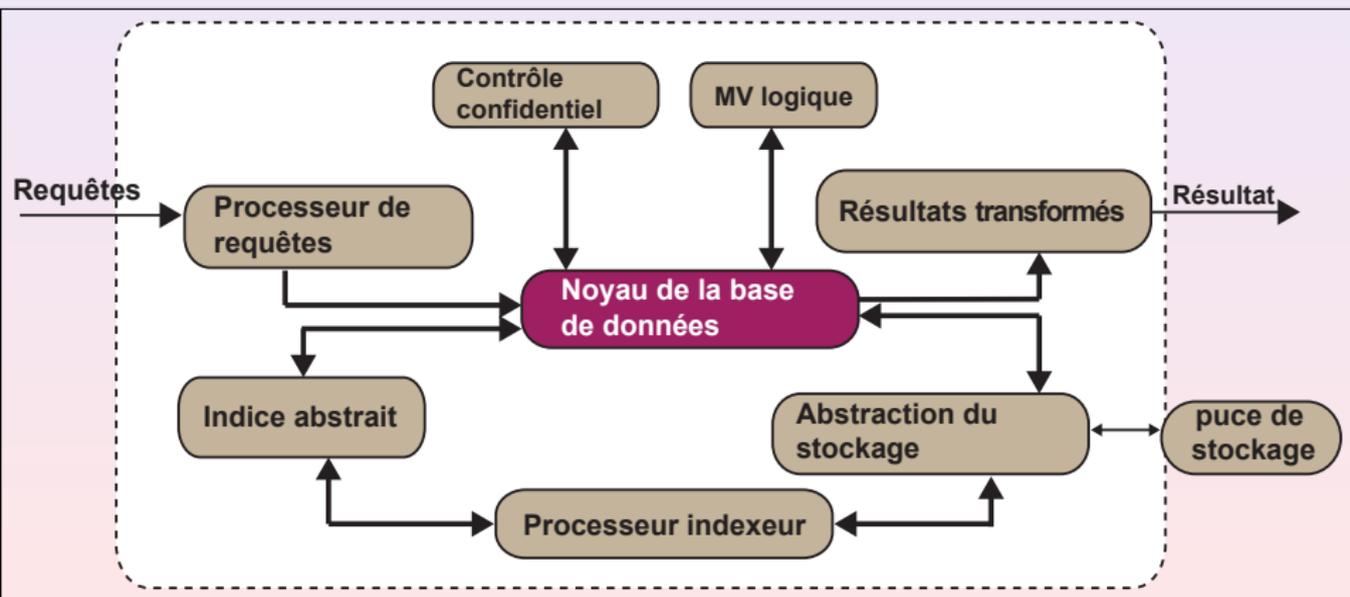
- 3 parties :
 - l'utilisateur, le serveur et le réseau de capteurs.
- 2 sous-systèmes :
 - une application pour le réseaux de capteurs,
 - et une interface graphique en java pour l'utilisateur.
- L'application TinyDB qui s'exécute sur chaque capteur est composée de :
 - un catalogue et un gestionnaire de schéma,
 - un processeur de requêtes,
 - un gestionnaire de mémoire,
 - et un gestionnaire de topologie réseau.

Antelope

- Antelope est un système de gestion de bases de données spécifique aux réseaux de capteurs à ressources limitées.
- Il fonctionne au-dessus du système d'exploitation Contiki.
- Il propose un stockage des données dans le capteur lui-même.
- Il fournit un ensemble d'opérateurs relationnels permettant la création dynamique et l'interrogation des bases de données.
- Antelope met en œuvre une abstraction du stockage en utilisant un système de fichiers, appelé Coffee.

Antelope : Architecture

Antelope est composé de huit éléments :



Antelope : Architecture

Antelope est composé de huit éléments :

- Un processeur basé sur le langage AQL (Antelope Query Langage) pour l'analyse des requêtes.
- Un contrôleur de confidentialité pour vérifier que les requêtes sont autorisées.
- Un noyau qui contient la logique de la base de données et les coordonnées de l'exécution des requêtes.
- Une machine virtuelle pour exécuter les requêtes.
- L'indice abstrait qui contient la logique d'indexation.
- Le processus d'indexation pour construire des index à partir des données existantes.
- L'abstraction des ressources de stockage à travers le système de fichier Coffee.
- Le transformateur de résultats pour améliorer leur présentation.

Problème de recherche dans les BD de capteurs

- Exploitation de la corrélation des données acquises.
- Optimisation multi-requêtes.
- Stockage des données sur les capteurs (cache, ...).
- Prendre en compte l'hétérogénéité.
- Minimiser le coût d'acquisition des données.
- Problème de sélection d'un sous-ensemble de nœuds pouvant répondre à une requête.
- Problème de sécurisation des requêtes et des échanges de données.

Conclusion

- Beaucoup de travaux, ces dernières années sur les réseaux de capteurs sans fil et sur les bases de capteurs.
- Un grand nombre d'applications dans des domaines variés.
- Des prototypes de bases de capteurs.
- De nombreux problèmes ouverts faisant parfois appel à des connaissances multi-disciplines.