

Chapitre 1

Les réseaux de capteurs : concepts de base

1.1 Introduction

Les capteurs existent depuis plusieurs années dans les domaines de l'industrie tels que l'aéronautique, l'automobile. On observe actuellement une forte recrudescence de ce type d'équipements qui sont interconnectés pour former des réseaux de capteurs. Avant, ils étaient reliés directement à leur base de traitement par une liaison filaire, ces capteurs sont maintenant de plus en plus interconnectés par ondes radios (ZigBee par exemple). En 2003, selon le magazine Technology Review du MIT, le réseau de capteurs sans fil est l'une des dix nouvelles technologies qui bouleverseront le monde et notre manière de travailler et de vivre.

Chaque capteur collabore avec ses voisins via des liens sans fil, et si nécessaire doit retransmettre les informations venant de capteurs trop éloignés pour communiquer directement avec la station de base qui à son tour retransmet ces données, après les avoir traité, au utilisateur final du réseau. La conception des capteurs à petite taille et à faible coût qui ont la capacité de traiter, détecter, stocker et communiquer des données, et de les intégrer dans ce qu'on appelle réseaux de capteurs sans fil ouvre la possibilité de les intégrer dans différents domaines d'applications allant de la surveillance militaire à la surveillance médicale en passant par la domotique, l'écologie, la télématique et la logistique. Vu leur conception, les réseaux de capteurs se diffèrent des réseaux ad Hoc traditionnels en un ensemble de points qui sont :

- Les réseaux de capteurs ont plus de nœuds avec une plus haute densité.
- Les nœuds dans les réseaux de capteurs sont assez fragiles et vulnérables à diverses formes de défaillances : faible capacité d'énergie, faible débit, cassure, etc.

Dans ce présent chapitre, nous retraçons les principales notions de base des réseaux de capteurs

1.2 Définitions

1.2.1 Un capteur

Le capteur est un instrument de mesure qui permet de transformer une grandeur physique ou chimique observée (température, humidité, l'accélération, les vibrations, etc.) en un signal électrique. Cette transformation doit être le reflet aussi parfait que possible de ces grandeurs. Pour cela il possède au moins un transducteur responsable de la conversion de la grandeur physique en une autre.

1.2.2 Un capteur intelligent

Ces dernières années ont vu apparaître le concept de capteur intelligent (smart sensor). Un capteur intelligent est un système composé de plusieurs sous systèmes dont les fonctions sont distinctes. Il combine entre l'acquisition des données, le traitement de l'information et la communication bidirectionnelle des données traitées au monde extérieure. Contrairement au capteur classique, il intègre un microprocesseur embarqué qui a pour rôle la modification du comportement interne du capteur afin d'optimiser sa capacité à collecter les données, ou simplement pour effectuer localement des conditionnements de signaux et des traitements de données. Pour ne pas rompre avec la terminologie la plus usuelle, dans le reste de ce document, lorsqu'on parle de capteur nous faisons référence au capteur intelligent.

1.2.3 Un réseau de capteurs

Un réseau de capteurs sans fil (RCSF) ou wireless sensor network (WSN) en anglais est un type particulier des réseaux *Ad Hoc*. Il est généralement constitué d'un ensemble de petits capteurs répartis dans une zone géographique appelée zone de captage ou zone d'intérêt d'une manière plus au moins aléatoire. Le nombre de capteurs déployés dans la zone d'intérêt, varie selon le besoin de l'application. Il peut être dans l'ordre de quelques dizaines à de milliers de capteurs.

Les nœuds capteurs sont capables de surveiller un phénomène physique sur l'environnement qui les entoure et de collecter des données d'une manière autonome. Les données captées sont acheminées à un nœud considéré comme un "point de collecte", appelé nœud-puits (ou sink en anglais) ou station de base (base station). Le nœud puits transmet ces données à

l'utilisateur final du réseau à travers un réseau de communication (internet, satellite,...) pour analyser ces données et prendre des décisions. L'utilisateur du réseau peut adresser des requêtes aux autres nœuds du réseau, précisant le type de données requises et récolter les données environnementales captées en utilisant la station de base comme passerelle

1.3 Architecture matérielle d'un nœud de capteur

Selon le type d'application, il existe une variété de capteurs qui peuvent être regroupés en trois classes : Les capteurs optiques, les capteurs thermiques et les capteurs mécaniques. Une architecture matérielle applicable à la plupart des capteurs intelligents est proposée sur la figure 1.1.

Un capteur contient quatre unités de base : l'unité de captage, l'unité de traitement, l'unité de transmission, et l'unité de contrôle d'énergie. Selon le domaine d'application, des modules supplémentaires peuvent être ajoutés tel qu'un système de localisation (GPS), ou bien un système générateur d'énergie (cellule solaire). Quelques micro-capteurs plus volumineux, sont dotés d'un système mobilisateur chargé de les déplacer en cas de nécessité.

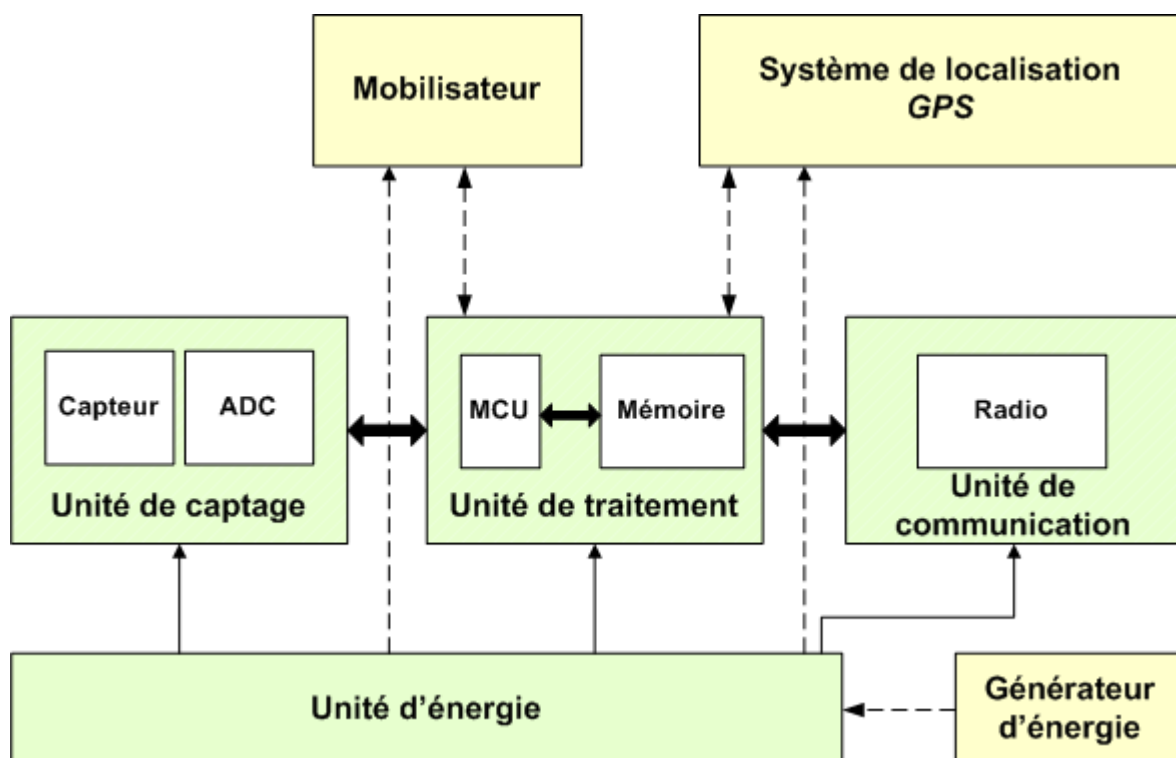


FIG.1.1 – Architecture matérielle d'un capteur.

- **Unité de captage**

C'est l'unité qui est chargée de capter des grandeurs physiques (Chaleur, humidité, vibrations, rayonnement, etc..) et de les transformer en grandeurs numériques (un signal électrique). Cette unité peut incorporer de un jusqu' à plusieurs capteurs plus une unité ADC (Analog to Digital Converters). Le rôle de cette dernière consiste à convertir le signal analogique produit par les capteurs, qui est basé sur les données échantillonnées, en un signal numérique compréhensible par l'unité de traitement.

- **Unité de traitement**

Unité de traitement peut être considérée comme l'organe intelligent du capteur. Elle inclut un processeur qui est généralement associé à une petite unité de stockage. Elle gère des programmes et des logiciels, stocke en mémoire les paramètres métrologiques et fonctionnels (dont la datation est permise par l'horloge interne) ; elle assure les traitements des données reçues de l'unité de captage. Généralement l'unité de traitement commande les autres unités.

Les processeurs utilisés dans les réseaux de capteurs sont à faible consommation d'énergie et à faible fréquence. Moins de 10 Mhz pour une consommation de 1 mW. Aussi la mémoire de stockage est très limitée, elle est de l'ordre de 10Ko de RAM pour les données et 10 Ko de ROM pour les programmes. Cette mémoire consomme la majeure partie de l'énergie de l'unité du traitement. Dans la plus part des cas on lui adjoint, une mémoire flash moins coûteuse en termes d'énergie.

- **Unité de communication**

Cette unité assure la connexion entre les nœuds du réseau. Un module radio (émetteur/récepteur) est intégré à cette unité qui permet la communication entre différents nœuds du réseau. La communication peut être de type optique ou radio fréquence. Elle est responsable de la transmission-réception des données captées et traitées via un canal de communication sans fil. Le module radio c'est le module qui consomme le plus d'énergie.

- **Unité d'énergie**

Pour les réseaux de capteurs, l'unité d'énergie est la composante la plus importante, qui représente généralement une batterie. Cette batterie est de petite taille et de capacité énergétique limitée. Souvent, les capteurs sont placés dans des environnements hostiles,

inaccessibles par l'être humain et elle n'est généralement pas remplaçable. Dans ce genre de situation, il est pratiquement impossible de recharger ou de remplacer la batterie. Pour cela, l'énergie représente la contrainte principale lors de la conception d'un réseau de capteurs sans fil puisqu'elle influe sur la durée de vie du nœud capteur et donc la durée de vie du réseau. Cependant, il est possible d'utiliser des systèmes de rechargement d'énergie à partir de l'environnement via des cellules photovoltaïques, par exemple, pour étendre la durée de vie de la batterie. En fonction des besoins de l'application du réseau de capteurs le nœud capteur peut intégrer d'autres unités tels que :

- **Système de localisation** : pour pouvoir déterminer la position du nœud.
- **Mobilisateur** : permet le changement de position du nœud

1.4 **Architecture** logicielle d'un nœud capteur (la Pile protocolaire)

Pour faciliter l'interconnexion des systèmes issus de différents constructeurs, l'organisme ISO propose un découpage fonctionnel de l'ensemble du processus communiquant d'un réseau. Ce découpage fonctionnel est décrit dans le modèle OSI avec une structuration en sept couches (la couche physique, la couche liaison, la couche réseau, la couche transport, la couche session, la couche présentation, la couche application). Pour les réseaux de capteurs, le modèle OSI apparaît en réalité trop complet voire trop complexe. En effet, très peu d'applications ont besoin d'un découpage en sept couches, et en réalité pour les réseaux de capteurs quatre couches sont suffisantes. Les nœuds du réseau y compris la station de base utilisent le modèle en couche. Ce modèle contient cinq couches qui ont le même rôle des couches OSI : la couche application, la couche transport, la couche réseau, la couche liaison de données et la couche physique. De plus, on trouve trois autres plans qui prennent en charge la gestion de l'énergie, la mobilité et les tâches. Comme illustré dans la figure 1.2.

Selon le type d'application du réseau de capteur, différents logiciels peuvent être construits et exploités au niveau de la couche application. La couche transport a pour rôle la gestion du flux de données si l'application l'exige. La couche réseau achemine les données issues de la couche transport. Le protocole MAC (Media Access Control) de la couche liaison gère les méthodes d'accès au support physique. Il doit tenir compte aussi de la consommation d'énergie et doit réduire les collisions entre les nœuds du réseau. La couche physique assure les transmissions et les réceptions des bits de données. Elle s'occupe aussi de la modulation des données.

En outre, les trois plans de gestion de l'énergie, la mobilité et les tâches sont très importants en termes de la surveillance de la puissance, le mouvement et la distribution des tâches, respectivement, entre les nœuds capteurs. Ces plans de gestion sont primordiaux pour le fonctionnement des nœuds capteurs parce qu'ils collaborent ensemble d'une manière efficace afin de préserver l'énergie, router les données dans un réseau de capteurs mobiles et partager les ressources entre eux.

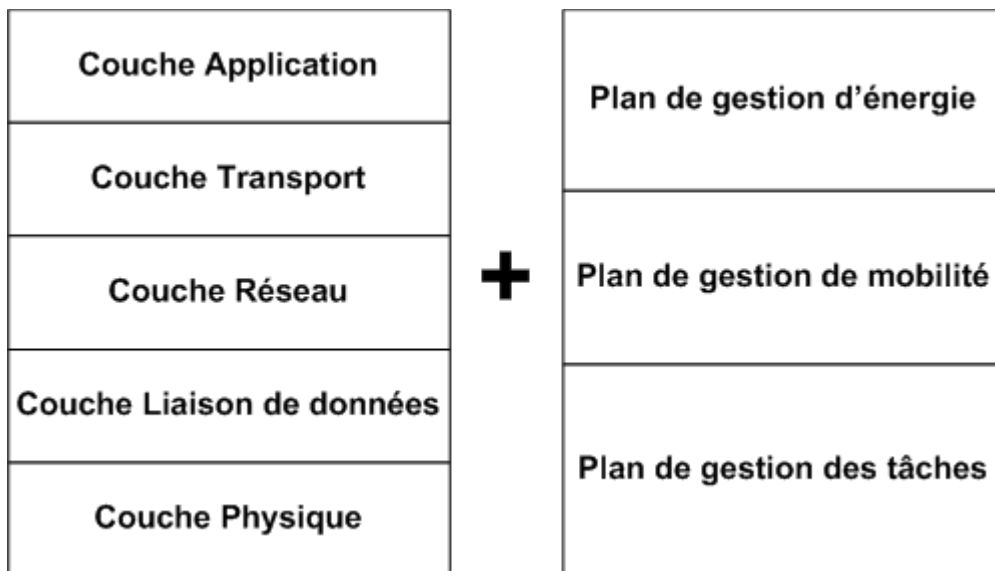


FIG.1.2 – Architecture logicielle d'un nœud capteur (Pile protocolaire).

1.5 Les domaines d'applications des réseaux de capteurs sans fil

La miniaturisation, le faible coût, l'absence de câblage sont une variété de caractéristiques des réseaux de capteurs qui ont permis à cette nouvelle génération de réseaux d'envahir plusieurs domaines d'applications. Parmi les domaines d'applications ou les réseaux de capteurs sans fil se révèlent très utiles et leur déploiement a une importance cruciale, on trouve le domaine militaire, le domaine environnemental, le domaine de la santé, le domaine écologique, les maisons intelligentes, etc.

- Applications militaires

Comme tous les autres domaines de recherche qui portent sur la technologie de l'information, les réseaux de capteurs sans fil sont issus des recherches militaires. Leurs faibles coûts, l'absence de câblage, l'auto-configuration et la tolérance aux pannes ont laissé cette nouvelle aire de l'informatique embarquée de connaître un grand succès dans ce domaine. Les capteurs sont déployés d'une manière autonome pour aider les militaires dans leurs missions

en surveillant les activités de l'ennemi ou en analysant le champ de bataille avant d'y envoyer les troupes pour la détection d'éventuelles menaces (détection d'une menace biologique, nucléaire et chimique).

- **Applications médicales**

Les réseaux de capteurs sans fil ont été intégrés dans le domaine de la médecine pour assurer une surveillance permanente des malades. Des micro-capteurs peuvent être avalés ou placés sous la peau pour surveiller la glycémie, la tension artérielle, etc.

Ils peuvent aussi faciliter le diagnostic de quelques maladies (détection d'un cancer, surveiller le rythme cardiaque, etc...). D'autre part, les capteurs peuvent signaler un comportement anormal chez les personnes handicapées ou âgées (chute d'un lit, choc, cris, etc.).

- **Applications environnementales**

L'intégration des réseaux de capteurs sans fil dans le domaine environnemental a donné naissance à plusieurs types d'applications. Ils peuvent aider dans la surveillance météorologique, activité sismique, la détection des risques naturels, détection d'éventuelles pollutions (la pollution des eaux, l'air et le sol).

Le déploiement des thermo-capteurs dans des forêts ou des usines peut prévenir d'éventuels incendies et par la suite faciliter la lutte contre le feu et permet d'éviter les dégâts. L'utilisation des capteurs chimiques dans les milieux urbains et dans les sites industriels aide à la détection des pollutions.

- **La domotique**

Avec le développement technologique, les capteurs peuvent être embarqués dans des appareils, tels que les aspirateurs, les fours à micro-ondes, les réfrigérateurs, les magnétoscopes, etc. Ces micro-capteurs facilitent la tâche aux utilisateurs en leur permettant de contrôler ces appareils domestiques localement ou à distance via un réseau externe.

Grâce aux avancées en informatique ambiante, ces dernières années, un nouveau paradigme successeur de la domotique est né : les maisons intelligentes. Placer des capteurs de mouvement ou de température sur les murs ou le plafond permet d'automatiser plusieurs tâches de l'utilisateur tels que : le contrôle de la lumière et la climatisation en fonction du

mouvement des personnes. Ils peuvent aussi être déployés pour former un système de sécurité en déclenchant une alarme dans la présence d'un intrus.

- **Supervision des structures et des phénomènes sismiques**

L'intégration des réseaux de capteurs dans la surveillance des structures civiles (bâtiments, ponts, routes, des aéronefs) peut diminuer considérablement les dépenses financières consacrées à leur surveillance. A l'heure actuelle, la surveillance de ces structures se fait manuellement ou visuellement ou occasionnellement par des technologies onéreuses en temps et en argent, tels que les rayons X et ultrasons.

Ainsi, l'intégration des capteurs dans les structures civiles permet de détecter un début de fissures ou d'autres dommages structuraux suite à un séisme ou vieillissement de la structure. Par ailleurs, l'utilisation de capteurs sismiques en réseaux présente de nombreux avantages.

- **Applications industrielles et commerciales**

L'utilisation des réseaux de capteurs dans le domaine commercial peut améliorer le processus de stockage et de livraison de marchandises. A titre d'exemple, chaque article dans un magasin pourrait avoir un nœud capteur qui lui est attaché, dès lors, les utilisateurs pourront facilement localiser l'article et calculer la quantité exacte de chaque catégorie d'article. Si des utilisateurs veulent insérer de nouveaux inventaires, ils n'auront qu'à attacher les capteurs appropriés à ces inventaires.

Les réseaux de capteurs peuvent être aussi utilisés dans des entreprises manufacturières pour offrir une meilleure qualité de service en poursuivant automatiquement le procédé de production à partir des matières premières jusqu'au produit final livré.

- **La surveillance de l'habitat écologique**

La surveillance de l'habitat écologique (animaux, végétaux, micro-organismes) est traditionnellement effectuée par des enquêteurs sur le terrain. En effet, les chercheurs en biologie sont de plus en plus préoccupés par les impacts potentiels de la présence humaine sur les plantes et les animaux lors de la surveillance du terrain. Il est possible que les perturbations humaines chroniques peuvent fausser les résultats en changeant les comportements ou les distributions des organismes surveillés, tandis que les perturbations anthropiques peuvent sérieusement réduire ou même détruire des populations sensibles par

l'augmentation du stress, réduire le succès de reproduction, l'augmentation de la prédation, etc.

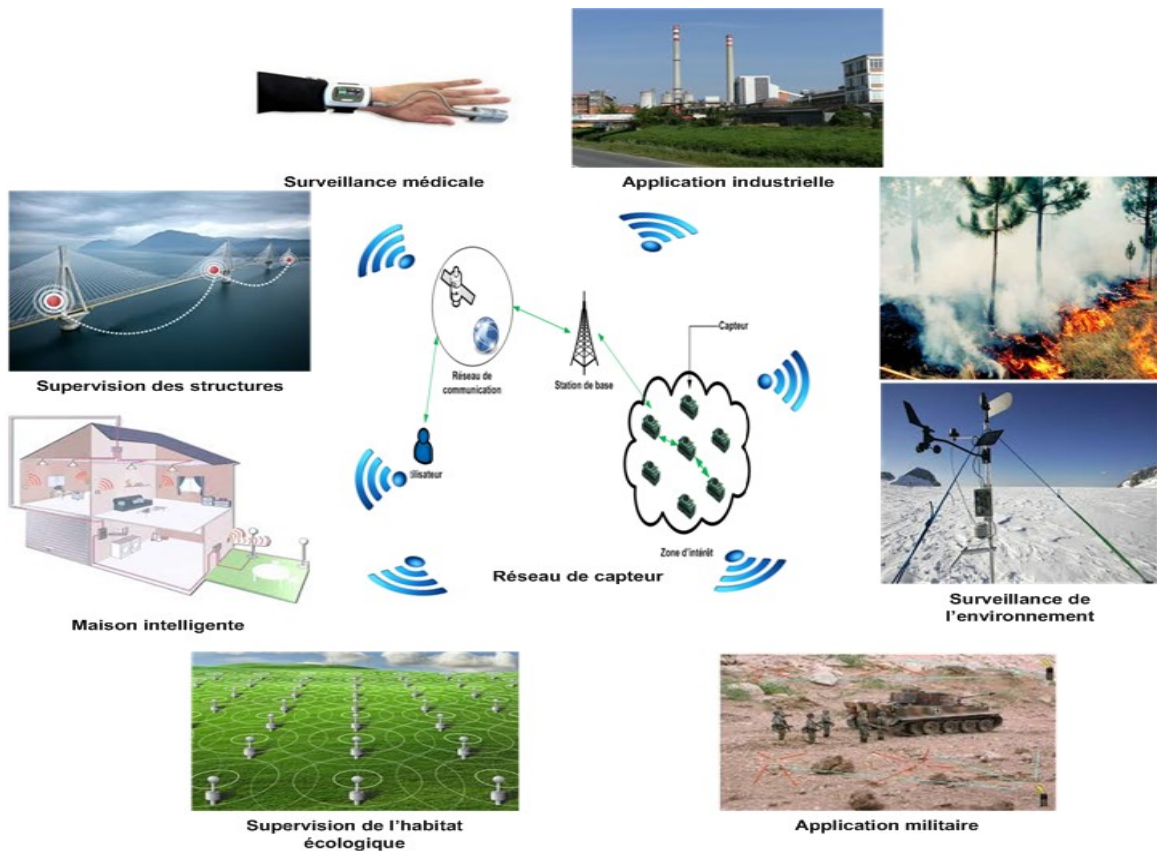


FIG.1.3 – Quelques domaines d’applications des réseaux de capteurs sans fil

1.6 Classification des réseaux de capteurs sans fil

Les réseaux de capteurs sont des réseaux orientés application. De ce fait, leurs caractéristiques se diffèrent d’un domaine d’application à un autre. Ils se distinguent par le type d’application pour laquelle ils sont conçus, le mode de communication, la mobilité, et selon la capacité des nœuds dans le réseau.

1.6.1 Selon le type d’application

Le mode de collecte et de livraison des données dans les réseaux de capteurs dépend étroitement du type d’application. Ainsi, les applications des réseaux de capteurs sans fil RCSF peuvent être classés en quatre types d’applications : orientées temps (*time driven*), orientées événements (*event driven*), orientées requêtes (*query driven*) et hybrides.

- ***Applications orientées-temps***

Dans ce type d'application, les capteurs font leur échantillonnage d'une manière périodique dans des intervalles de temps réguliers. Ensuite ils envoient ces données captées à la station de base périodiquement, figure 1.4. (a). Un exemple d'utilisation de ce type de réseau est la collecte des données environnementales (agriculture, étude de phénomène naturel ...).

- ***Applications orientées événement***

Dans ce type d'applications les capteurs envoient les données à la station de base seulement si un événement spécial se produit. A titre d'exemple, l'événement peut être la détection de la fumée, figure 1.4. (b). Ce type de réseau peut être appliqué dans différents domaines tels que la surveillance médicale (surveillance de taux de glycémie dans le sang), le contrôle d'édifice (les barrages, les voies des chemins de fer...), la surveillance militaire, etc.

- ***Applications orientées requêtes***

Dans les applications orientées requêtes les capteurs font un échantillonnage à la demande de la station de base. Lorsqu'un capteur reçoit une requête de la part de la station de base, il déclenche la collecte de données. Après il envoie ces données collectées à la station de base, figure 1.4. (c). Cette catégorie de réseau est destinée aux applications adaptées à l'utilisateur (demande des informations sur une région bien précise). Dans ce type de réseau la topologie et la position des nœuds doivent être connues.

- ***Application hybride***

Le type d'application hybride est une combinaison entre les trois types d'applications précédemment décrites. Par exemple, dans un réseau conçu pour le suivi d'objets, le réseau peut combiner entre un réseau de surveillance (***time-driven***) et un réseau de collecte de données par événements (***event-driven***). Par exemple, pendant les longues périodes d'inactivité des capteurs et lorsqu'aucun objet n'est présent, le réseau peut assurer une fonction de surveillance.

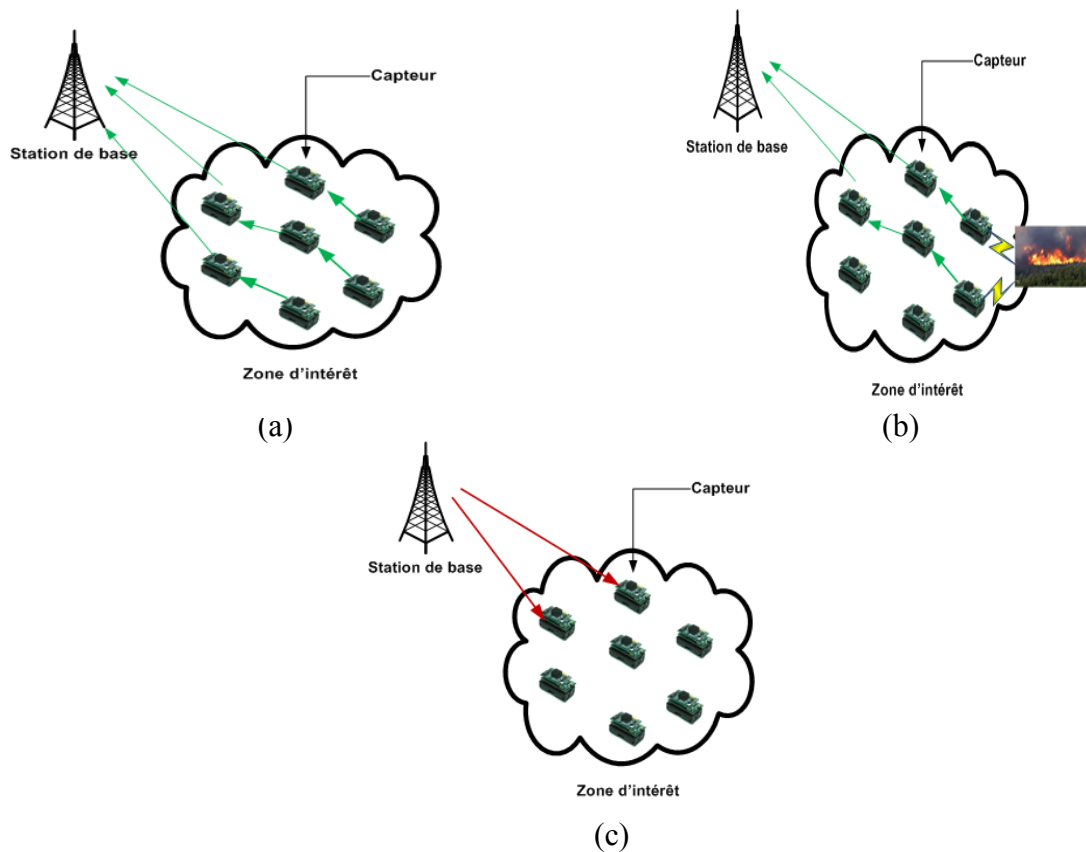


FIG.1.4 – Les types d'applications dans les réseaux de capteurs sans fil

1.6.2 Selon le mode de communication

Le mode de communication utilisé dans le réseau de capteurs dépend du type d'application et des techniques utilisées pour faire acheminer l'information des capteurs à la station de base. On distingue dans cette classification trois types de communication : les réseaux de capteurs à un seul-saut (single-hop WSN), les réseaux de capteurs multi-sauts (multi-hop WSN) et les réseaux de capteurs hiérarchiques.

Dans les réseaux de capteurs à un seul-saut, les nœuds capteurs envoient les données collectées directement à la station de base sans passer par des nœuds intermédiaires. Dans ce type de réseau les nœuds envoient leurs données en utilisant une forte puissance comme illustré dans la figure 1.5 (a).

Dans les réseaux de capteurs multi-sauts, un nœud capteur envoie ses données à la station de base par l'intermédiaire de ses nœuds voisins en utilisant une petite puissance de transmission, la figure 1.5 (b) illustre un exemple sur ce type de communication. Ce type de

réseau est appliqué dans plusieurs domaines d'application, mais il reste difficile à mettre en œuvre.

Dans les réseaux de capteurs hiérarchisés, la zone d'observation est divisée en clusters. Un clusterhead est élu pour chaque cluster. Ce dernier s'occupe de récupérer les informations auprès des capteurs dans son cluster et de les transmettre directement à la station de base figure 1.5 (c) ou via un mode multi-saut entre les clusters head figure 1.5 (d) .

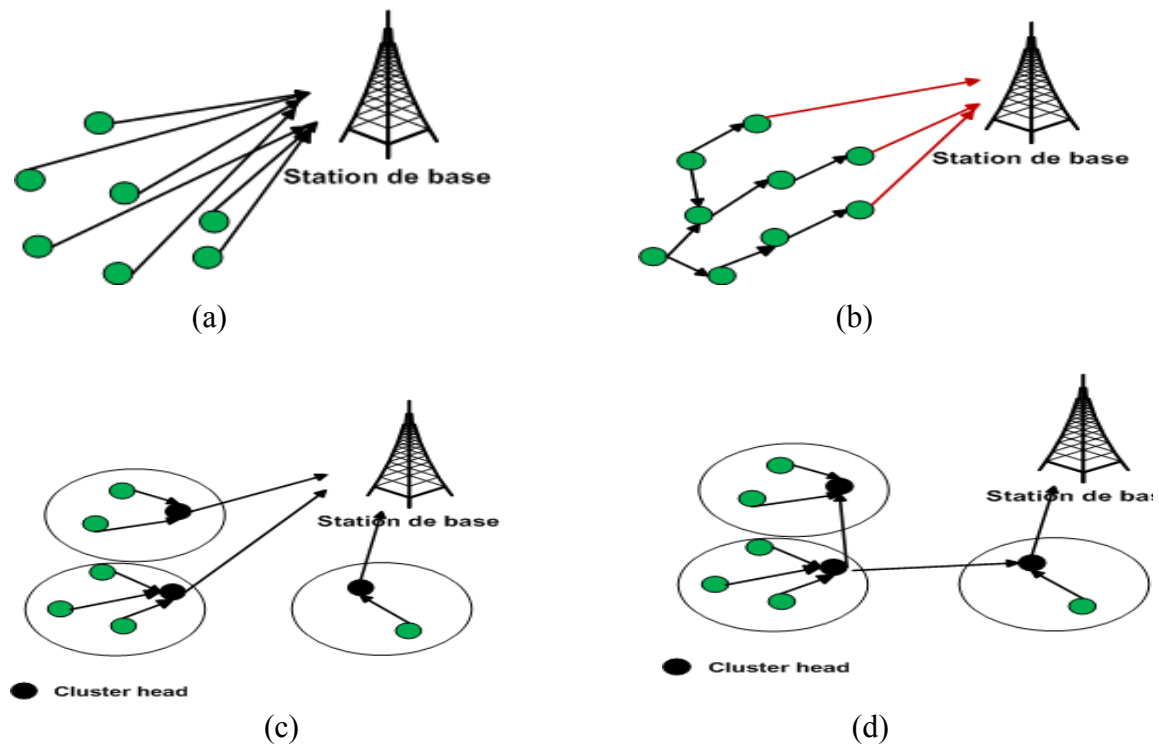


FIG.1.5 – les types de communication dans les réseaux de capteurs sans fil

1.6.3 Selon la mobilité

Selon la mobilité des nœuds on peut avoir deux grandes classes : les réseaux de capteurs statiques (static wireless sensor networks- WSNs) et les réseaux de capteurs mobiles (mobile wireless sensor networks – MWSNs).

La plupart des domaines d'application existante utilisent des réseaux de capteurs statiques, dans ce type de réseaux tous les nœuds capteurs y compris la station de base sont statiques.

Les réseaux de capteurs sans fil mobiles (MWSNs) peuvent être simplement définis comme un réseau de capteurs sans fil (WSN) dans lequel les nœuds de capteurs sont mobiles. MWSNs sont un petit domaine de recherche émergeant comparé à son prédécesseur, les réseaux de capteurs statiques. MWSNs sont beaucoup plus polyvalents que les réseaux de capteurs statiques, car ils peuvent être déployés dans n'importe quel scénario et faire face aux changements rapides de la topologie. Le but de ce type de réseau est la plupart du temps l'exploration des zones inaccessibles ou dangereuses.

1.6.4 Selon la capacité des nœuds dans le réseau

Dans cette classification on distingue deux catégories : les réseaux de capteurs homogènes et les réseaux de capteurs hétérogènes.

Dans les réseaux de capteurs homogènes tous les capteurs du réseau ont les mêmes caractéristiques. Ils ont les mêmes capacités du point de vue énergie, calcul et stockage. Tandis que dans les réseaux de capteurs hétérogènes on trouve des capteurs sophistiqués qui ont plus de capacité en termes d'énergie et de traitement. Les capteurs sophistiqués peuvent être utilisés pour exécuter les tâches les plus complexes comme les coordinateurs et les chefs des clusters, etc. De ce fait, l'utilisation de ces nœuds augmente la durée de vie du réseau. Cependant, il est difficile à mettre en œuvre du fait qu'au moins chaque type de nœuds du réseau aura un code (programme) propre à lui. Ce qui augmente le coût du développement.

1.7 Contraintes des réseaux de capteurs

La conception et la mise en place d'un réseau de capteurs sans fil pour les domaines et les types d'applications citées précédemment, exigent les techniques et les protocoles qui prennent en considération les contraintes et les exigences liées à ce type de réseau. Ils sont considérés également comme métriques de performance pour évaluer des travaux dans le domaine. Parmi ces contraintes nous citons : la consommation énergétique, la couverture, la connectivité, la tolérance aux pannes, le passage à l'échelle, la topologie dynamique, la bande passante limitée et l'agrégation de données.

1.7.1 La Consommation énergétique

Les nœuds capteurs, étant des dispositifs microélectroniques, peuvent être seulement équipés d'une batterie faible en énergie ($< 0.5 \text{ Ah}$, 1.2V). Dans la plupart des applications, cette batterie est irremplaçable. La durée de vie du nœud capteur dépend fortement de la durée de

vie de sa batterie. Cette énergie est consommée par les différentes unités du capteur afin de réaliser les tâches de collecte de données (captage), le traitement de ces derniers et leurs communications.

La transmission de données est la tâche qui consomme le plus d'énergie. Par ailleurs, la plupart des applications des réseaux de capteurs sont basés sur la communication multi-sauts, chaque nœud joue à la fois un rôle d'initiateur de données et de routeur également, la défaillance d'un certain nombre de nœuds entraîne un changement significatif sur la topologie globale du réseau, et peut nécessiter un routage de paquets différent et une réorganisation totale du réseau. C'est pour cela que le facteur de consommation d'énergie est d'une importance primordiale dans les réseaux de capteurs.

1.7.2 La couverture

Parmi les méthodes utilisées dans la conservation d'énergie est l'ordonnancement des nœuds (Commutation entre les périodes actives/passives). Ce changement d'état doit préserver une propriété très importante qui est la couverture de la surface.

La couverture de surface est considérée comme une métrique d'évaluation de performance du réseau. La zone est dite couverte si la surface de cette zone est surveillée efficacement. On sait très bien qu'un nœud capteur permet de surveiller une zone d'intérêt appelé zone de couverture. La zone de couverture est souvent considérée comme un disque de rayon R_s , appelé rayon de surveillance. Un nœud est capable de détecter n'importe quel événement qui se passe dans sa zone de couverture.

1.7.3 La connectivité

La connectivité est un problème majeur dans les réseaux de capteurs. Un réseau de capteurs est dit connecté s'il existe, au moins, une route entre chaque paire de nœud. La connectivité dépend essentiellement de l'existence des routes. Elle est affectée par les changements de topologie dus à la mobilité, la défaillance des nœuds, les attaques, etc... ce qui engendre la perte des liens de communication, l'isolement des nœuds, le partitionnement du réseau, etc.

1.7.4 La tolérance aux pannes

La défaillance de certains nœuds capteurs dans un réseau de capteurs sans fil peut être causée par plusieurs facteurs, notamment l'épuisement d'énergie, l'endommagement physique, ou aussi à cause des interférences liées à l'environnement. La tolérance aux pannes désigne

l'habilité du réseau à maintenir ses fonctionnalités malgré les interruptions provoquées par la panne des capteurs. Elle vise à minimiser l'influence de ces défaillances sur le fonctionnement global du réseau.

1.7.5 Le passage à l'échelle (l'extensibilité)

Selon le type et le domaine d'application, les nœuds déployés dans un réseau de capteurs peuvent atteindre des milliers de nœuds de capteurs. Ce nombre peut aussi augmenter jusqu'à des millions de capteurs si l'application l'exige. Dans ce cas, le réseau doit fonctionner avec des densités de capteurs très grandes. Il est à noter aussi qu'un réseau très dense engendre beaucoup de transmissions inter nodales et nécessite que la station de base soit équipée de mémoire suffisante pour stocker les informations reçues. Par ailleurs, la densité du réseau doit être exploitée pour assurer le bon fonctionnement du réseau.

1.7.6 La topologie dynamique

La topologie d'un réseau de capteurs peut changer au cours du temps. Cette dynamique du réseau découle des défaillances des nœuds à cause d'un endommagement physique ou l'expiration de son énergie. Cela peut engendrer des cassures de liens entre les nœuds capteurs.

1.7.7 La bande passante limitée

Les réseaux de capteurs sont caractérisés par leurs bandes passantes limitées. Les nœuds capteurs utilisent un débit faible de quelques dizaines de Kb/s pour minimiser l'énergie consommée lors du transfert de données entre eux. Un débit de transmission réduit n'est pas handicapant pour un réseau de capteurs où les fréquences de transmission ne sont pas importantes.

1.7.8 Agrégation de données

La transmission des données d'un capteur est la tâche la plus consommatrice en énergie elle représente environ 70% de sa consommation d'énergie totale (la transmission d'un seul bit consomme l'énergie nécessaire à l'exécution d'environ 1000 instructions). Il est donc nécessaire de minimiser le nombre de bits à transmettre. De plus, les réseaux de capteurs étant assez denses en général, cela signifie que des nœuds assez proches en terme de distance (voisins) peuvent capter les mêmes données et donc il apparaît nécessaire d'introduire le

mécanisme d'agrégation de données afin d'éviter la duplication d'information au sein du réseau de capteurs.

1.8 Comparaison entre les réseaux Ad hoc classiques et les réseaux de capteurs

Les réseaux de capteurs sans fil sont apparentés aux réseaux ad hoc. En effet, ces deux types de réseaux ont de nombreux points communs. La ressemblance que nous pouvons remarquer immédiatement est que les deux sont des réseaux sans fil distribués avec une infrastructure pas toujours bien définie. Des chercheurs dans le domaine des MANET se sont consacrés à cette ressemblance, mais aussi à d'autres similarités comme la limitation d'énergie, de mémoire et de capacité de calcul. Ils essaient d'apporter leur savoir-faire et d'adapter aux RCSF (Réseaux de Capteurs Sans Fil) les algorithmes, protocoles et techniques dédiés initialement aux MANET . Cependant, Ces deux classes de réseaux sans fil se différencient sur plusieurs aspects, nous résumons les principales différences dans le tableau suivant :

Réseaux Ad-Hoc Classiques	Réseaux de capteurs
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Mobile, portable... ➤ Génériques ➤ Chaque nœud à son propre objectif ➤ Flot de données any- to- any ➤ Communication point à point ➤ La qualité de service est majeure ➤ Mobilité ➤ Aucun nœud central 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Petits capteurs ➤ Objectifs ciblés ➤ Nœuds collaborent pour atteindre un objectif Commun ➤ Flot de données Many –to- one ➤ Utilisation du broadcast ➤ Energie est un facteur déterminant ➤ Mobilité faible ➤ Station de base (coordination)

TAB.1.1 – Comparaison entre les réseaux Ad-Hoc classiques et les réseaux de capteurs

1.9 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons fait une étude sur les réseaux de capteurs sans fil. Nous avons posé les briques de base et fédéré les concepts nécessaires à la compréhension des problématiques liées aux réseaux de capteurs. Parmi ces concepts, nous avons vu les contraintes associées aux réseaux de capteurs. Nous avons remarqué à travers nos lectures que

la contrainte d'énergie est le cheval de bataille pour la conception de tout type de protocole lié aux réseaux de capteurs sans fil. En effet, l'aspect énergie est une métrique de performance très importante. Nous avons évoqué aussi le concept de réseaux de capteurs mobiles, ce type de réseau n'est pas largement étudié dans la littérature comparant à son prédécesseur, les réseaux de capteurs statiques.