

Projet de Physique P6 STPI/P6/2020-2021

Réseaux de capteurs sans fil WSN pour application de suivi médical



Étudiants :

Anouk ANDRE

Marie BARRAL-CREPIEUX

Flavie FERRER

Emma LE BARS-BRESSON

Mathilde PAGNETTI

Enseignant-responsable du projet :

Idoudi MONAEM

Date de remise du rapport : 12/06/2021

Référence du projet : STPI/P6/2020-2021

Intitulé du projet : Réseaux de capteurs sans fil WSN pour application de suivi médical

Type de projet : Bibliographie, État de l'art, Cas d'étude

Objectifs du projet :

Au cours de ce projet de physique, nous avons plusieurs objectifs :

Nous souhaitons dans un premier temps découvrir ce qu'est un réseau de capteurs sans fil en recherchant sa structure et ses composants.

Ensuite, nous voulons comprendre le fonctionnement des réseaux de capteurs sans fil ainsi que ses utilisations dans le domaine médical notamment.

Assimiler les différentes technologies des capteurs, leurs limites, les principales normes et protocoles de communication est également un aspect majeur de notre projet.

Analyser les différentes contraintes dans un réseau et la gestion intelligente qui en découle est également nécessaire.

Enfin, étudier un cas spécifique des réseaux de capteurs est également l'un de nos objectifs.

Mots-clefs du projet :

WSN, réseaux de capteurs, nœuds, suivi médical.

Table des matières

Introduction	5
I) Etat de l’art des réseaux de capteurs sans fil	6-17
1) Que sont les réseaux de capteurs ?	6
2) La structure des réseaux de capteurs	6-8
a) Les constituants et les caractéristiques d’un réseau de capteurs	6-7
b) Les différents types de capteurs	7-8
c) La puissance d’un réseau de capteurs	8
3) Fonctionnement d’un réseau de capteurs	8-9
4) Domaine d’application de ces réseaux de capteurs : le domaine médical	9-11
a) Les principaux domaines d’applications d’un réseau de capteurs	9-10
b) Les réseaux de capteurs dans le domaine médical	10-11
c) Acquisitions des signaux vitaux	11
5) Technologie des capteurs : systèmes d’exploitation et logiciels	11-13
a) Les familles de microprocesseurs/microcontrôleurs	11-12
b) Les différents types de mémoires utilisés	12
c) Leurs limites et solutions	12-13
6) Principales normes de réseaux de capteurs et protocoles de communication	13-14
7) Contraintes majeures dans un réseau de capteurs	14-15
a) Consommation énergétique	14
b) Sécurisation des données personnelles	15
c) Délai de transmission des données urgentes	15
8) Gestion intelligente des réseaux de capteurs	15-17
a) Consommation énergétique	15-16
b) Sécurisation des données	16-17
c) Délai de transmission des données urgentes	17
II) Cas spécifique	18-20
III) Organisation au sein du groupe	21
IV) Conclusion	22
Bibliographie et table des illustrations	23-24
Annexes	25-27

Notations, acronymes

WSN : Wireless Sensor Network

ECG : Electrocardiogramme

FFD : Full Function Device

RFD : Reduced Function Device

WEP : Wired Equivalent Privacy

Sink = puits

Sensors = capteurs

GPS: Global Positioning System = assistant de navigation

BS : Base Station

Mips : Millions d'instructions par seconde

ECG : Electrocardiogramme

SPO2 : Saturation pulsée en oxygène

pH : potentiel Hydrogène

IEEE : Institute of Electrical and Electronics Engineers

DoS : Denial of Service

MAC : Medium Access Control

TA : Trusted Authority

ERMDT : Energy Efficient Reliable Multi-path Data Transmission

WAN : Wide Area Network

Introduction

Dans le cadre de notre deuxième année à l'INSA de Rouen Normandie, un projet de physique nous a été proposé. Nous nous sommes intéressées au sujet suivant : "Les réseaux de capteurs sans fil WSN pour application de suivi médical".

A l'aide de recherches bibliographiques et sitographiques, l'objectif est, d'une part, de découvrir ce que sont les réseaux de capteurs sans fil ainsi que leurs utilisations, en particulier dans le domaine médical et, d'autre part, de réaliser un cas d'étude sur les données de surveillance des personnes âgées.

Ce projet permet avant tout d'effectuer un travail de groupe sur le long terme, activité que nous n'avions pas eu l'occasion d'expérimenter jusqu'à maintenant.

Il consiste également à améliorer nos connaissances dans le domaine de la physique, nos capacités à rechercher puis synthétiser les données collectées.

Ensuite, ce projet a permis de développer notre faculté d'adaptation car notre groupe est composé de personnes que nous ne connaissions pas forcément sur un sujet qui nous était jusqu'alors inconnu.

De plus, compte tenu du contexte actuel, nos mises en commun doivent se faire essentiellement à distance, nous obligeant à avoir une organisation rigoureuse.

Notre rapport consiste donc dans un premier temps en une présentation de l'état de l'art des réseaux de capteurs sans fil pour applications de suivi médical.

Dans celui-ci, nous présenterons tout d'abord ce qu'est un réseau de capteurs sans fil, ses caractéristiques ainsi que son fonctionnement. Ensuite, nous analyserons ses applications dans le domaine médical en particulier. Puis, nous détaillerons la technologie des WSN et les différents protocoles de communication.

Enfin, nous aborderons les principales contraintes des réseaux de capteurs et les solutions adoptées pour les résoudre.

Dans un second temps, nous étudierons un cas spécifique de l'utilisation des réseaux de capteurs dans le domaine médical, qui est primordial dans notre contexte sanitaire actuel : la télésurveillance pour les personnes âgées.

Nous finirons par évoquer l'organisation et la répartition du travail au sein de notre groupe.

I) Etat de l'art des réseaux de capteurs sans fil

1) Que sont les réseaux de capteurs ?

Observer et contrôler des paramètres d'environnement tels que la chaleur, l'humidité, les vibrations, la pression, la luminosité ou encore le niveau sonore devient essentiel dans le secteur de la science et de l'industrie.

Le domaine des technologies sans-fil est ainsi très recherché afin de pouvoir subvenir à ces besoins; la création de nouveaux réseaux de capteurs devient ainsi nécessaire.

Ceux-ci résultent d'une fusion de deux pôles de l'informatique moderne : les systèmes embarqués et les communications sans fil.

Un réseau de capteurs est un ensemble de capteurs autonomes de faible puissance, peu coûteux, interconnectés par un réseau de communication. Celui-ci sert à recueillir des informations sur un processus ou un phénomène physique et à les traduire en signaux électriques qui peuvent être traités, mesurés et analysés. Les capteurs peuvent communiquer les informations recueillies dans un champ par le biais de liaisons sans fil d'où le nom de réseaux de capteurs sans fil ou simplement WSN.

Ce dernier est caractérisé par un grand nombre de micro-capteurs déployés sur une zone géographiquement vaste. [1], [2]

2) La structure des réseaux de capteurs

a) Les constituants et les caractéristiques d'un réseau de capteur

Un réseau de capteurs sans fil est composé d'un ensemble d'unités de traitement embarquées, appelées nœuds, communiquant via des liens sans fil. Le nombre de nœuds est assez conséquent, ils sont, soit posés à un endroit précis, soit dispersés aléatoirement dans une zone géographique nommée "champ de captage". Ces nœuds sont des micro-capteurs qui sont organisés en champs « sensor fields ». Chacun de ces nœuds a la capacité de récolter des données et de les transmettre au nœud passerelle, appelé puits par l'intermédiaire d'une architecture multi-sauts. Le puits, qui a une grande capacité de mémoire et d'autonomie d'énergie, transmet ensuite ces données par Internet ou par satellite à l'ordinateur central «Gestionnaire de tâches» pour analyser ces données et prendre des décisions. [3], [4]

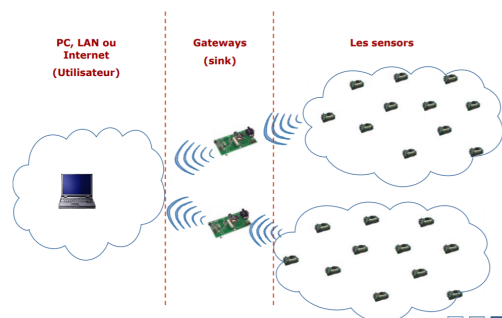


Figure 1: Schéma de l'architecture d'un réseau de capteurs [3]

Un nœud capteur est un petit dispositif électronique capable de capter une information physique, la modifier en grandeur électrique ou en temps, la stocker et la transmettre à une station de base ou à un autre capteur.

Ainsi, il est composé de 4 unités de base alimentées par une batterie (ou une pile) comme le montre la figure ci-dessus:

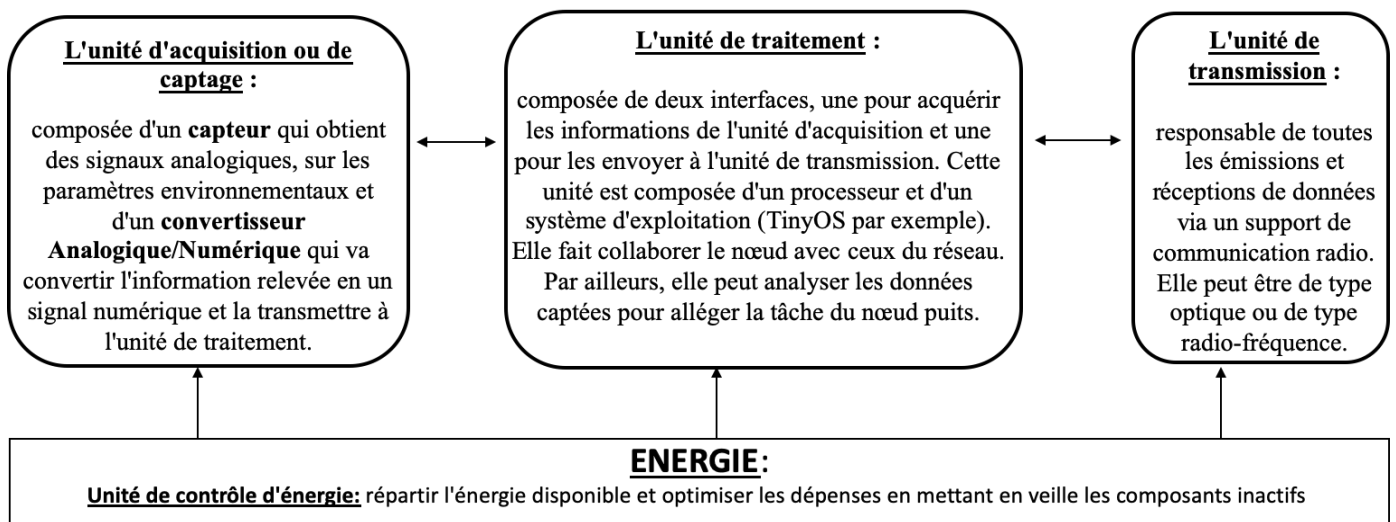


Figure 2 : Schéma synthétisant les trois unités de base d'un réseau de capteur [1], [2]

En conséquence de sa taille réduite, la batterie dont il dispose est limitée. Par ailleurs, un capteur peut contenir également des modules supplémentaires tels qu'un système de localisation (GPS), ou bien un système générateur d'énergie (cellule solaire). [1], [2]

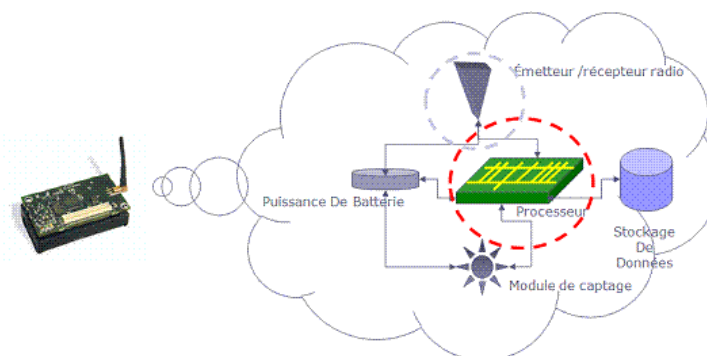


Figure 3 : Schéma synthétisant les composants des unités de base d'un réseau de capteurs [3]

b) [Les différents types de capteurs](#)

Il existe actuellement un grand nombre de capteurs, avec des fonctionnalités diverses et variées. La plupart des capteurs dépendent de l'application pour laquelle ils ont été conçus. En effet, les capteurs peuvent être divisés en trois catégories :

- Les capteurs passifs et omni-directionnels : thermomètre, lumière, vibration, microphone, humidité, stress, mécanique, détecteur chimique, pression de l'air, détecteur de fumée...
- Les capteurs passifs et directionnels : antenne radio fréquence, photos...
- Les capteurs actifs : radars, caméras...

Dans notre partie sur le domaine médical nous développerons en particulier les différents types de capteurs indoor et outdoor. [5]

c) La puissance d'un réseau de capteur

La puissance des capteurs se mesure en millions d'instructions par seconde (Mips) et dépend des types de capteurs (de leur taille et de leur poids notamment). Un capteur a donc une puissance qui peut aller de 1 à 400 Mips environ, puissance finie des batteries de capteurs. [6]

3) Fonctionnement d'un réseau de capteurs

Lorsqu'un grand déploiement de capteurs est envisagé, il est nécessaire de les mettre en réseau ; un nœud de capteur dans un WSN communique non seulement avec d'autres nœuds de capteurs mais aussi avec une station de base qui leur envoie des commandes (BS) en utilisant la communication sans fil. Ensuite, après avoir reçu la commande, les capteurs effectuent la tâche en communiquant et collaborant les uns avec les autres, puis une fois les données collectées ils les renvoient à la station de base qui envoie les informations mises à jour à l'utilisateur via Internet.

Afin de transmettre la bonne information, un nœud doit la diffuser et seulement le nœud dont l'adresse apparaît en tant que destination peut récupérer l'information pour la relayer à son tour et ainsi la transmettre au puits. Ces genres de nœuds sont appelés les nœuds relais et sont primordiaux lorsque l'on veut utiliser un très grand nombre de capteurs afin de couvrir un champ très large.

Sur la figure nous pouvons distinguer les différents constituants d'un réseau WSN :

- Des nœuds actifs (ils peuvent servir comme relais ou source d'information).
- Des nœuds endormis. [7]

Un réseau est un ensemble de nœuds reliés entre eux par des chemins et sa topologie est ce qui localise les nœuds et définit l'organisation de ces liens.

Nous pouvons distinguer habituellement deux types de topologies :

- La topologie physique, qui concerne l'agencement réel des éléments matériels.
- La topologie logique (ou de signalisation) qui relève des principes de fonctionnement.

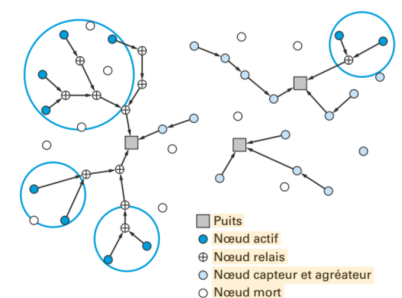


Figure 4:
Schéma représentant les différents types de nœuds dans un réseau de capteurs [7]

Nous ne décrivons ici que la topologie en étoile qui est la plus utilisée dans le domaine médical.

Réseau en étoile :

Dans ce réseau qui limite le transport des données, un nœud central a pour rôle de coordonner et de contrôler les capteurs autour de lui pour assurer une bonne communication. Le coordinateur central a ainsi pour rôle de transmettre les données vers d'autres systèmes. Cette topologie est surtout appliquée en médecine dans le cas de réseau à l'échelle humaine (Body Area Networks ou encore Body Sensor Networks), les capteurs étant disséminés dans le corps du patient. [8]

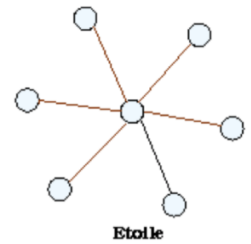


Figure 5:
Schéma de la topologie en étoile d'un réseau de capteurs [8]

4) Domaine d'application de ces réseaux de capteurs : le domaine médical

a) Les principaux domaines d'application des réseaux de capteurs

La diminution de la taille des capteurs ainsi que la diminution de leur coût ont permis d'élargir leur champ d'application. Ils peuvent désormais collecter et traiter des informations complexes provenant de différents environnements :

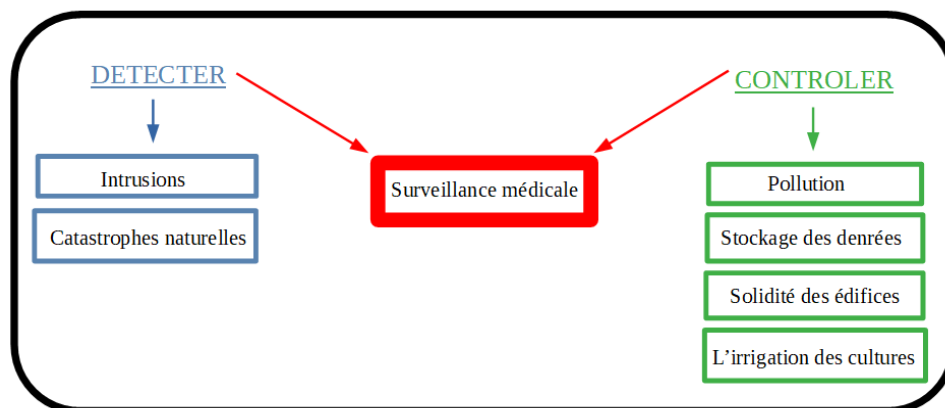


Figure 6 : *Schéma présentant les domaines d'application des réseaux de capteurs sans fil [1], [9]*

Finalement, on peut dissocier 4 grandes catégories d'application :

- Les applications à détection d'évènements : dans ce type d'applications, les capteurs doivent détecter un événement qui peut arriver à n'importe quel moment et à n'importe quel endroit. Les capteurs doivent donc collecter les informations de façon continue. Ce type d'applications peut être utile lors d'un tremblement de terre par exemple, car la surveillance de ce type de signal doit être continue afin d'être efficace.
- Les applications à prélèvements périodiques : les capteurs utilisés peuvent se mettre en veille pendant les périodes d'inactivité et enclenchent leur dispositif de capture

qu'à des instants précis. Il faut donc définir à l'avance une fréquence d'échantillonnage.

Cela à l'avantage d'économiser de la batterie. Ces dispositifs servent généralement à surveiller périodiquement un phénomène physique.

- Les applications suite à une requête : le capteur envoie l'information uniquement à la demande d'une station.
- Les applications hybrides : ces applications sont un mélange d'applications périodiques et d'applications à détection d'événements. Ces types d'applications imposent des caractéristiques spécifiques aux réseaux de capteurs sans fil. [3]

b) Les réseaux de capteurs dans le domaine médical

Grâce aux progrès dans le domaine des réseaux sans fil, de nouvelles applications sont conçues dans le domaine de la santé telles que la surveillance médicale et la sécurité par la propagation d'alertes d'urgence. Le personnel médical est bien plus efficace en utilisant ces nouveaux outils. En effet, ils permettent le suivi des patients à long terme avec, par exemple, la création de maisons intelligentes. Les patients peuvent également porter des capteurs qui surveillent les signes vitaux transmis en temps réel à leur médecin.

Les capteurs sont capables de mesurer certains paramètres physiologiques, mais également détecter des événements inhabituels comme des chutes et en faire un compte-rendu au centre de soins. Par ailleurs, contrairement aux équipements trop encombrants des hôpitaux, les capteurs sont quant à eux légers et peuvent être emmenés partout ou presque. Les capteurs peuvent recueillir une grande diversité de signaux tels que les signaux électriques, mécaniques, thermiques, optiques, acoustiques ou encore ultrasonores. [10]

Il existe plusieurs types de capteurs dans le domaine médical. Il est possible de les classer en 2 grandes catégories : les capteurs pour suivi biophysique et les capteurs pour suivi biochimique. [11]

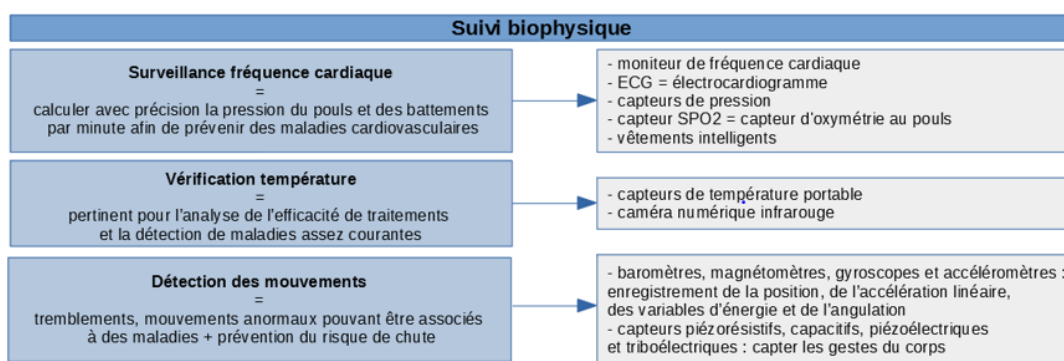


Figure 7 : Schéma synthétisant les types de capteurs pour suivi biophysique. [11]

Les capteurs biophysiques sont ceux que nous retrouvons en majorité dans le domaine médical. Cependant, comme cité précédemment, il existe aussi des capteurs permettant un suivi biochimique qui se développent de plus en plus.

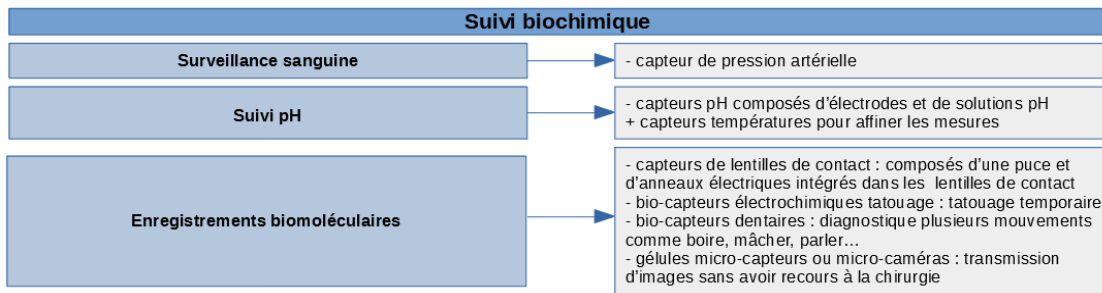


Figure 8 : Schéma synthétisant les types de capteurs pour suivi biochimique. [11]

La majorité de ces capteurs ont pour but de permettre la collecte de données importantes afin de les transmettre en temps réel. Cela est possible par le déploiement d'un réseau de capteur WSN. Dans ce contexte, divers capteurs ont été mis au point pour surveiller les paramètres environnementaux en temps réel afin d'affiner les données collectées. Désormais grâce au développement de la Mobile-healthcare, les téléphones portables deviennent des dispositifs microélectroniques de collecte de données sur la santé des patients. Ces dispositifs permettent ainsi une surveillance efficace et efficiente de l'état de santé en temps réel grâce à une haute sensibilité et une récupération rapide des informations. [12]

c) Acquisition des signaux vitaux

Nous pouvons distinguer les méthodes d'acquisition des signaux vitaux selon la position du capteur : indoor (portés) et outdoor (à distance).

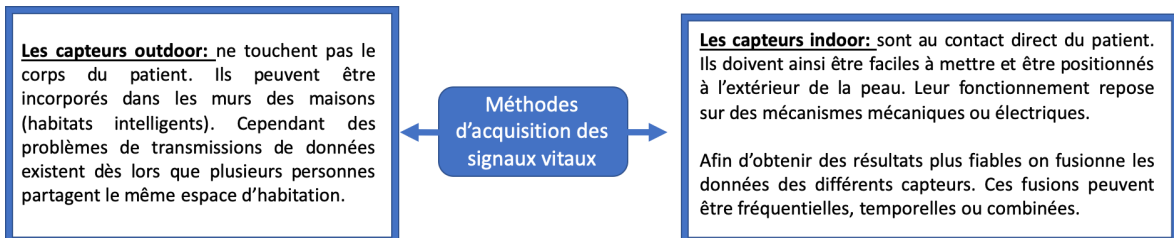


Figure 9 : Schéma synthétisant les méthodes d'acquisition des signaux vitaux. [13]

Enfin, tous les systèmes de réseaux de capteurs s'appuient sur un schéma commun : ils possèdent tous une intelligence locale qui gère la qualité des signaux et parfois fusionne les données mais aussi une base de données dans laquelle on peut suivre l'évolution des paramètres, assistés par des algorithmes d'intelligence artificielle. [13]

5) Technologie des capteurs : systèmes d'exploitation et logiciels

a) Les familles de microprocesseurs/microcontrôleurs

Les capteurs sont des composants électroniques composés essentiellement d'un microcontrôleur, d'un microprocesseur et d'une batterie.

Le microprocesseur sert à commander l'ensemble des composants du nœud et à exécuter l'ensemble des algorithmes destinés à transmettre les données produites. Le microcontrôleur quant à lui possède une grande liste de fonctions. Il effectue des calculs sur les données brutes qu'il reçoit pour les transformer en données utiles, il gère le protocole de communication entre les capteurs et la radio, peut sauvegarder temporairement les données ainsi que les chiffrer pour sécuriser les informations transportées. Il existe plusieurs familles de microcontrôleurs/microprocesseurs mais à titre d'exemples on peut citer :

- Famille NXP : Les microprocesseurs **i.MX7** sont capables de supporter des systèmes d'exploitation sophistiqués. Ils peuvent également améliorer la sécurité des données et ont une consommation d'énergie assez faible.
- Famille Microchip : Les microcontrôleurs **PIC16F** possèdent une grande gamme de modèles allant de 14 broches (permet un gain de place) jusqu'à 64 broches (microcontrôleurs plus riches en fonctionnalités). Ils sont disponibles avec de nombreuses combinaisons de périphériques et offrent donc une grande flexibilité d'application.
- Famille TI : Les microcontrôleurs **MSP432** de cette famille englobent des technologies telles que la connexion sans fil, la détection environnementale et les affichages graphiques. [14]

b) Les différents types de mémoire utilisés

Les microcontrôleurs utilisent plusieurs types de mémoire :



Figure 10 : Schéma présentant les différents types de mémoire des microcontrôleurs [15]

La mémoire est l'une des sources les plus consommatrices du microcontrôleur, que ce soit lors de l'exécution ou encore lors des phases de veille. C'est pourquoi beaucoup de recherches sur les mémoires volatiles et non volatiles sont menées pour augmenter leur densité, diminuer leur consommation statique et dynamique tout en diminuant leur tension d'alimentation et en proposant de nouvelles architectures. [15]

c) Leurs limites et solutions

Cependant l'utilisation de microcontrôleurs et microprocesseurs possède plusieurs limites. Tout d'abord, les codes transmis par les capteurs peuvent être volumineux et donc le décodage par les microprocesseurs est parfois lent. Concernant les microcontrôleurs, leur consommation d'énergie en mode actif est très élevée et en mode basse consommation leurs fonctionnalités restent très limitées.

Par ailleurs, l'architecture software d'un capteur est une solution qui a des limites.

En effet, en plus des plateformes matérielles et des standards, plusieurs plateformes logicielles ont été également développées spécifiquement pour les réseaux de capteurs sans fil.

Ce sont généralement des systèmes d'exploitation embarqués au sein des capteurs en réseaux, qui sont utilisés pour optimiser l'usage des ressources matérielles. En effet, les possibilités matérielles des capteurs sont limitées en mémoire, en puissance de calcul et en autonomie énergétique. Ainsi, il existe différentes architectures pour les systèmes d'exploitation, les plus connues sont l'architecture monolithique, l'architecture micro-noyau, l'architecture en couches et l'architecture en machine virtuelle.

Par ailleurs, plusieurs plateformes, logiciels et systèmes d'exploitation avec des capacités supplémentaires ont été introduits récemment. [15]

6) Principales normes de réseaux de capteurs et protocoles de communications

Dans un réseau, les capteurs communiquent entre eux grâce à des liens radio, qui sont partagés entre les nœuds voisins. Afin d'éviter les interférences, chacune des communications doit se faire seule.

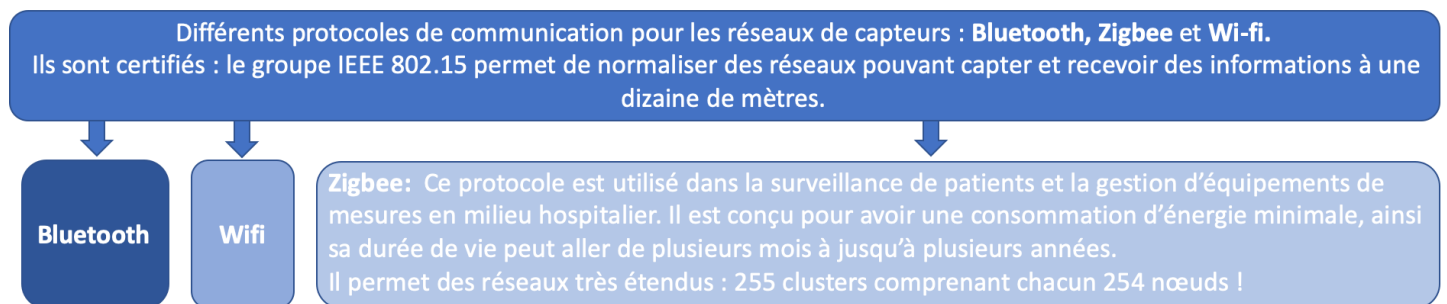


Figure 11 : Schéma présentant les différents protocoles de communication. [16]

Ainsi, Zigbee est le protocole le plus adapté aux réseaux de capteurs sans fil et systèmes embarqués dans le domaine médical.

Par ailleurs, il existe deux modes d'accès au support : le mode non coordonné et le mode coordonné dans lequel le coordinateur envoie régulièrement des balises pour synchroniser les nœuds du réseau.

En mode coordonné, le coordinateur n'a pas besoin d'écouter tout le temps le canal de communication, ainsi cela permet une forte réduction de sa consommation d'énergie.

Enfin, trois différentes topologies sont possibles pour connecter les nœuds d'un réseau ZigBee : étoile, arbre ou maillé.

- Dans la topologie en étoile : tout message doit passer par le Coordinateur Zigbee.
- Dans la topologie maillée, des routeurs sont employés en plus du coordinateur.
Ce protocole de routage ne demande pas beaucoup d'énergie ni une grande puissance de calcul, il est donc facile à installer sur des petits équipements.

- Enfin, dans la topologie en arbre : chaque routeur forme un sous-réseau ou les end devices lui sont rattachés. Les routeurs étant eux même rattachés au coordinateur ou à un routeur de plus au niveau. [16]

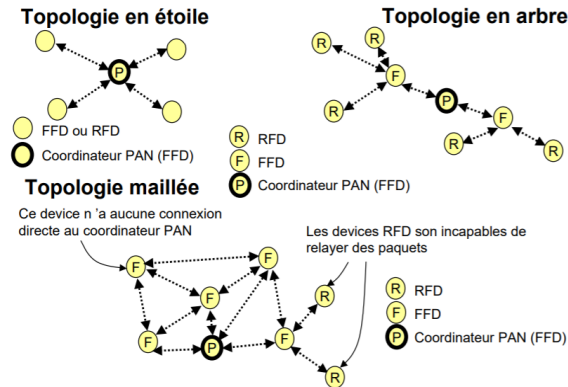


Figure 12 : Schéma des topologies permettant de connecter les nœuds d'un réseau Zigbee [16]

7) Contraintes majeures dans un réseau de capteurs

Le développement des réseaux de capteurs WSN est bénéfique dans de nombreux domaines. Seulement, malgré tous les avantages que ces systèmes peuvent nous offrir, il ne faut pas négliger les contraintes qui en découlent.

Dans l'application au domaine médical, nous nous sommes intéressées à 3 contraintes majeures : la consommation énergétique, la sécurisation des données personnelles des patients et le délai de transmission des données urgentes. Ce ne sont pas les seules contraintes mais ce sont celles que nous développerons davantage dans cette partie.

a) Consommation énergétique :

Lors de l'installation d'un réseau de capteurs, il faut tenir compte de la batterie des différents composants. Recharger les sources d'énergie ou bien remplacer des capteurs défaillants est souvent trop coûteux et pratiquement impossible. L'économie d'énergie est donc un enjeu majeur dans la conception d'un réseau de capteurs afin d'augmenter la durée de vie de ces derniers et minimiser les coûts. Pour cela, il est nécessaire de prendre en compte le rôle de chaque capteur pour éviter la perte de capteurs ou nœuds essentiels qui engendrerait une perte de la connectivité du système et des communications. Cependant, il ne faut pas négliger pour autant la qualité de service, c'est-à-dire la capacité d'interpréter l'information collectée. [16]

La principale consommation d'énergie des capteurs se fait durant la détection, la communication et le traitement des données par les capteurs. [17]

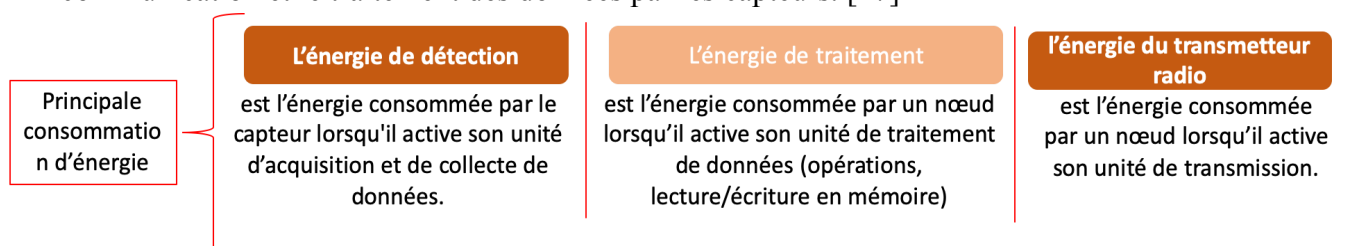


Figure 13 : Schéma synthétisant les principales sources de consommation d'énergie [17]

b) Sécurisation des données personnelles:

Dans le milieu médical, la préservation du secret médical est une règle d'or. C'est pour cela que la sécurisation du système WSN est essentielle pour préserver l'intégrité des données médicales des patients. La communication des données à distance peut donc être soumise à différentes attaques. Lors de la conception des réseaux de capteurs WSN, tout est pensé pour tenter de limiter et éviter les attaques par Déni de Service (DOS) où l'attaquant tente d'épuiser les ressources disponibles appartenant au réseau pour le rendre vulnérable ou encore les écoutes clandestines ayant pour but l'injection de messages malveillants ou encore la modification des données transmises. Les attaques visant les mots de passe ainsi que les fuites de clés de session peuvent elles entraîner la divulgation de données importantes, il est donc nécessaire d'authentifier expéditeur et destinataire. [12], [18]

c) Délai de transmission des données urgentes:

Enfin le délai de transmission des données, souvent urgentes dans le domaine médical, se doit d'être le plus court possible. L'instauration de réseaux de capteurs WSN est donc un moyen de transmettre les informations en temps réel et permettre des interventions plus efficaces.

Cependant plusieurs facteurs menaçant les communications sans fil peuvent entraîner un retard dans le partage des informations parfois vitales. L'accumulation de données ou le surplus de messages transférés dans un même temps peut ralentir la communication. Ainsi des données essentielles peuvent se retrouver bloquées dans un trafic trop important d'informations. De plus, la mémoire limitée dans les réseaux de capteurs peut également être handicapante et créer un encombrement empêchant le partage de données. Comme expliqué dans le paragraphe précédent, il ne faut également pas négliger les attaques qui permettent l'injection d'informations parasites et qui pourraient ainsi par la suite saturer le réseau. [19]

8) Gestion intelligente des réseaux de capteurs : une réponse aux contraintes.

Le développement et le progrès dans la conception de réseaux de capteurs WSN ont permis de nombreuses avancées notamment au niveau de la gestion intelligente de ces réseaux. Plusieurs solutions pour répondre aux contraintes précédemment décrites dans le milieu médical ont ainsi été développées.

a) Consommation énergétique:

Dans un premier temps nous pouvons trouver des solutions énergétiques ayant pour but de limiter la consommation d'énergie afin d'augmenter la longévité du réseau. L'un des moyens les plus efficaces de conserver l'énergie dans un WSN consiste à utiliser un mode veille à chaque fois que la communication n'est pas nécessaire.

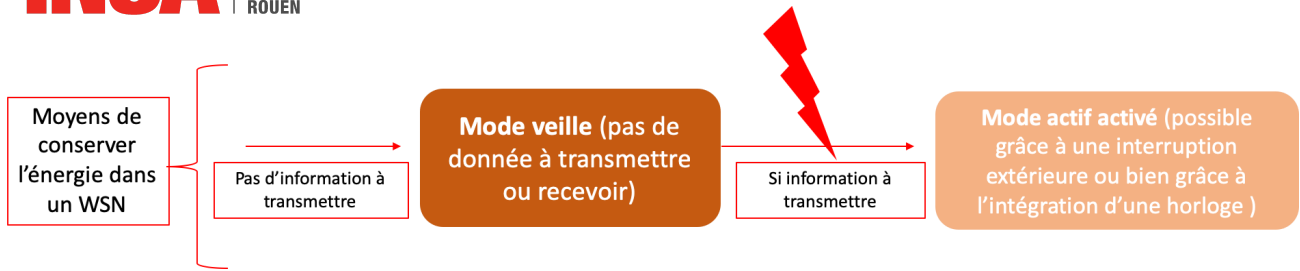


Figure 14 : Schéma représentant le réveil cyclique [20]

La commutation entre sommeil et réveil est appelée le cycle de service ou “Réveil cyclique”. De plus, le routage est un phénomène coûteux requérant une consommation d’énergie importante. Son optimisation est donc un objectif principal. Ainsi des protocoles avec des algorithmes éconergétiques permettent par l’étude des probabilités des trajectoires lors de l’acheminement des données d’abaisser la quantité d’énergie consommée. C’est le cas des protocoles MAC qui tentent de prévenir des problèmes dus aux collisions, au surdosage, à une écoute au ralenti ou encore au contrôle des paquets. Ces algorithmes permettent ainsi une économie d’énergie mais entraînent cependant d’autres inconvénients comme un faible débit, un problème de latence élevé ainsi qu’une faible adaptabilité aux changements. Enfin, l’agrégation des données est une autre technique permettant de réduire la consommation d’énergie dans le WSN en visant à réduire les données redondantes avant leur transmission, ce qui entraîne la diminution du nombre de transmissions qui à son tour permet de réduire la consommation d’énergie. [20], [21]

b) Sécurisation des données:

Cependant, la gestion intelligente ne traite pas seulement la question d’économie d’énergie. Elle est également présente dans la sécurisation des réseaux de capteurs WSN. La majorité des systèmes utilisés aujourd’hui ont pour but de vérifier l’identification des différents interlocuteurs: patients tout comme médecins. [12]

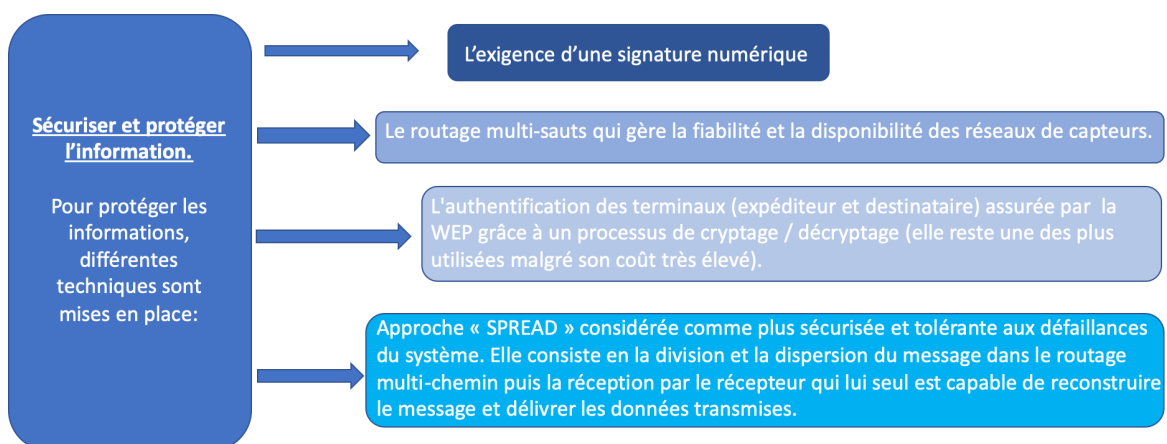


Figure 15 : Schéma synthétisant les différents moyens pour sécuriser les informations [12]

Nous allons maintenant présenter le fonctionnement du système Challah and al.'s, un modèle fondé sur le WSN appliqué dans le domaine des soins de santé. Dans ce système, le “Trusted Authority” (TA) est au centre des échanges. Les utilisateurs s’inscrivent auprès de lui pour ainsi devenir des utilisateurs légitimes et avoir accès aux données personnelles du patient. Ainsi le patient lui-même, ses proches et son médecin peuvent partager et recevoir les informations via la communication sans fil. Ils partagent ensemble une clé de session commune. Les nœuds de capteurs collectant les données du patient, cryptent ces dernières grâce à la clé de session et l’envoient à l’utilisateur par le biais du TA. Ainsi tous les utilisateurs légitimes et les nœuds de capteurs communiquent entre eux via le TA pour permettre des échanges à distance sécurisés. [18]

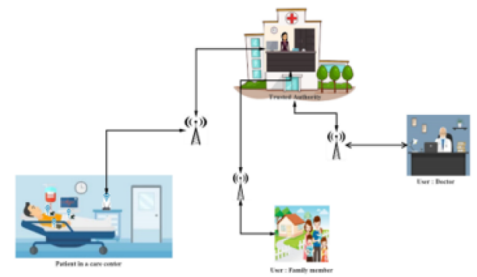


Figure 16: Schéma représentant le système Challah and al.'s [18]

c) Délai de transmission des données urgentes:

Enfin, plusieurs solutions afin de réduire le délai de transmission et prioriser les données urgentes ont été avancées. En effet l’utilisation de la fonction de caméra encombre rapidement la mémoire déjà limitée des capteurs. Ainsi, compresser les images ou bien regrouper les données grâce à des techniques d’agrégation avant de les transmettre permet de limiter la taille des informations et d’éviter la surcharge du réseau afin d’améliorer le délai de transmission. Aujourd’hui, plusieurs protocoles ont été mis en place de cette manière; c’est le cas de l’ERMDT protocole. Cette technique consiste à classifier les données par criticité sous 4 types de trafic : le trafic d’urgence, le trafic sensible, le trafic régulier et le trafic administratif. Des bandes passantes sont ainsi associées à chaque zone en fonction de la criticité de la zone et du nombre de patients admis dans cette dernière. Pour les flux sensibles, le routage multi-chemin permet la sélection entre un chemin primaire et un chemin alternatif lors de la congestion. Le protocole utilisé soutient une répartition des données efficace et équitable par la gestion de tampons des différents nœuds de transferts. Ainsi les messages urgents sont acheminés dans des délais plus courts permettant des interventions efficaces. [19], [21]

II) Cas spécifique : la télésurveillance pour les personnes âgées

Les réseaux de capteurs sont caractérisés par leur facilité de déploiement et leur auto-organisation, ce qui est un point avantageux pour la surveillance des personnes à risques et de leur environnement de vie.

En effet, de nombreux problèmes se posent au fil du temps comme celui du maintien des personnes à domicile. Nous connaissons un vieillissement accéléré de la population : la téléassistance est ainsi développée et de nouvelles solutions sont trouvées afin de fournir à des personnes en perte d'autonomie et vivant seules à leur domicile, une meilleure alternative pour améliorer leur qualité de vie.

Le principe de la téléassistance est un service mettant en contact une personne âgée avec un téléopérateur.

Il est possible d'intervenir plus rapidement en cas d'incident, ou de chute puisque le service fonctionne 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7. En France, les chutes représentent la première cause de décès chez les personnes âgées de plus de 65 ans (12 000 personnes en 2015). Elles concernent plus de deux millions de personnes chaque année, et une personne de 80 ans et plus sur deux. Ce sont plus de 6 millions d'appels d'urgence et 130 000 sollicitations des services de secours qui sont effectués chaque année.

Les réseaux de capteurs ont de grands enjeux : ils permettent d'aider le travail des médecins mais ils représentent aussi d'importants enjeux politiques et économiques car ils réduisent les durées d'hospitalisation. [22]

La demande des réseaux de capteurs sans fil est de plus en plus importante : en effet grâce aux données de l'INSEE nous avons pu créer des diagrammes circulaires qui donnent le nombre d'abonnés à la téléassistance réparti par commune en Seine-Saint-Denis selon certaines années. Nous pouvons voir que le nombre d'abonnés en 2009 était de 3983 et qu'il a fortement augmenté au fil des années avec par exemple 5262 abonnés en 2013. [23] (Cf Annexe 1)

Nous voyons que la génération actuelle des plus de 65 ans aujourd'hui est encore assez réticente envers la croissance des nouvelles technologies (Cf annexe 2). Cependant, les septuagénaires et plus, des années 2030, seront plus concernés par le développement et l'usage quotidien d'objets connectés grâce à l'évolution des modes de vie et l'utilisation des nouvelles technologies avec lesquelles, ces derniers auront grandi. [24]

C'est pourquoi afin de dynamiser le développement de la téléassistance et noter une croissance significative de ce modèle, il est nécessaire de diversifier les moyens mis à disposition de la population. Selon l'évolution tendancielle, si aucune mesure n'est prise, le marché de la téléassistance aura tendance à stagner malgré un vieillissement de la population.

En revanche, si une dynamique est mise en place, visant la diversification de la téléassistance, le marché devrait croître davantage.[25] (Cf Annexe 3)

Aujourd'hui il existe 3 grandes familles dans la téléassistance plus ou moins développées :

Type de téléassistance	Description	Diffusion	Freins au développement
Téléassistance fixe / statique	Boîtier fixe relié à un téléopérateur ainsi qu'un émetteur-récepteur (médaillon, bracelet,...) porté en permanence par la personne pour déclencher l'alarme et la mise en écoute à tout moment.	Majoritairement développée dans tous les pays européens	Zone de surveillance restreinte Non compatible avec certaines maladies
Téléassistance mobile / nomade	Montre connectée, canne connectée, vêtements intelligents, applications téléphones : ces appareils sont équipés d'un GPS, de capteurs et de systèmes (carte SIM, antenne) permettant le déclenchement d'une alerte vers les proches ou un téléopérateur.	Diffusion en hausse avec l'arrivée des nouvelles technologies	Faible autonomie (6 mois environ) Certains équipements encore peu développés
Téléassistance active / intelligente	Détection intelligente par capteur : Habitat/Chambre intelligent(e) équipé(e) de capteurs analysant les habitudes et détectant les anomalies ou inactivités + envoi alerte vers téléopérateur ou proches Détection intelligente par caméra : Caméra analysant les mouvements et transmettant seulement les images si une anomalie est détectée	Faible diffusion notamment en France	Mal accepté par les français à cause de la sensation d'intrusion dans la vie privée

Figure 17: Tableau synthétisant les différentes familles de téléassistance [26],[27],[28]

Une diversification du marché, comme nous pouvons le voir en comparant les histogrammes, (Cf annexe 3), pourrait se faire de par le développement de la téléassistance intelligente. Cette dernière, tend à se développer notamment grâce à l'utilisation de la norme Zigbee, de plus en plus répandue dans le domaine médical avec l'apparition d'habitats intelligents où ZigBee est au cœur des différents niveaux permettant la transmission de données collectées.

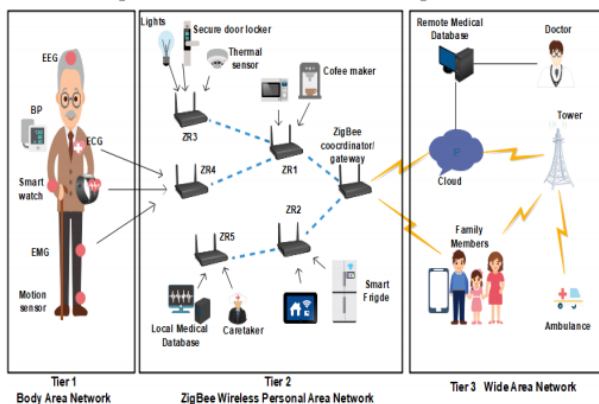


Figure 18: Schéma d'une zone de réseau à 3 niveaux utilisant le protocole ZigBee [29]

Tout d'abord, le partage d'informations s'articule sur une architecture en trois niveaux distincts. Dans le premier niveau, nous retrouvons un dispositif d'extrémité composé en 2 parties : l'interface des capteurs corporels, ici un capteur de température et l'interface Zigbee. Le coordinateur ZigBee est alors comme le deuxième niveau et a pour rôle de collecter toutes les données provenant des autres nœuds actifs. C'est à travers ce noeud coordinateur par la suite, que toutes les informations sont coordonnées avant d'être transmises sous forme d'alerte, de messages

au troisième niveau, la WAN, c'est-à-dire l'interface utilisateur pouvant correspondre aussi bien au personnel médical, qu'au service de téléassistance ou encore aux membres de la famille. [29]

Dans ces systèmes, la norme ZigBee prend alors souvent une topologie étoile qui apparaît sous la forme suivante dans une simulation de réseau de capteurs sans fils avec le coordinateur et ici les 4 nœuds extrémités.

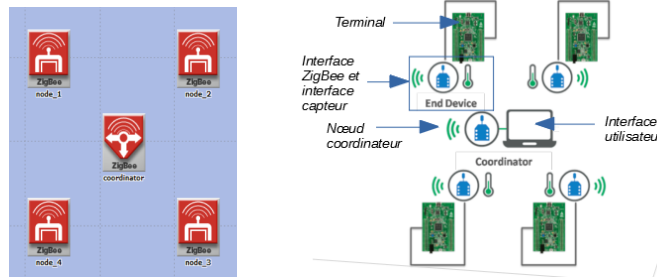


Figure 19: Conception pour simulation ZigBee topologie étoile [30]

Si nous nous concentrons sur le partage d'information, dans cette étude: la température, nous pouvons voir que la température mesurée par l'interface capteur, $T_{\text{capteurs}} = 18,55^\circ\text{C}$ est très proche des données perçues par l'interface utilisateur après la transmission par le protocole ZigBee.

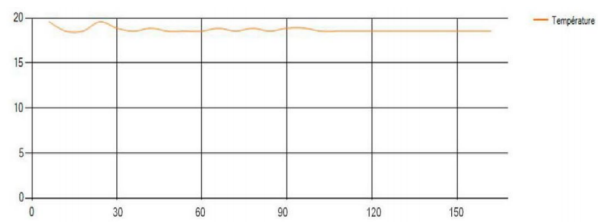


Figure 20: Interface utilisateur acquisition de température [31]

Cependant, différentes mesures lors de simulations ont montré qu'en plus de la distance séparant les nœuds du réseau, certains obstacles (matériaux, cloisons,...) ont un impact négatif sur la communication des données à l'aide du protocole ZigBee.

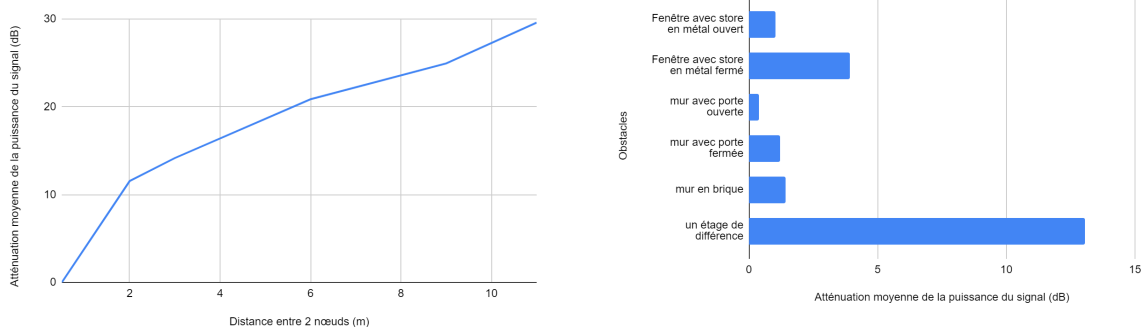


Figure 21: Graphiques représentant les impacts de la distance et de divers obstacles sur le signal dans un protocole ZigBee [31]

Malgré tout, l'utilisation de ZigBee permet de minimiser les coûts mais également de réduire la consommation d'énergie tout en améliorant le délai de transmission afin de transmettre les données importantes en temps réel. ZigBee, s'impose ainsi comme une des solutions futures pour les réseaux de capteurs dans le domaine médical, notamment en indoor.

III) Organisation au sein du groupe

Dates de séance	1-févr.	7-févr.	15-févr.	8-mars	15-mars	22-mars	12-avr.	19-avr.	10-mai	17-mai.	31-mai.	7-juin.
Plan		Flavie, Marie et Mathilde										
Introduction							Mathilde et Emma					
I-Etat de l'art des réseaux de capteurs sans fil												
1) Que sont les réseaux de capteurs ?	Mathilde					Mathilde						
2) Structure des réseaux de capteurs	Anouk	Mathilde, Flavie et Anouk	Flavie			Mathilde						
3) Fonctionnement	Flavie	Flavie		Flavie								
4) Domaine d'application	Emma	Marie et Emma	Mathilde, Emma, Flavie et Anouk	Mathilde, Emma et Anouk	Mathilde	Marie	Emma, Marie					
5) Technologie des capteurs					Emma	Emma						
6) Norme et protocole de communication	Marie				Mathilde							
7) Contraintes majeures	Marie	Marie	Marie et Emma	Mathilde	Marie et Flavie	Marie et Flavie						
8) Gestion intelligente				Marie, Flavie et Mathilde	Marie	Marie et Flavie						
II-Cas spécifique					Emma	Emma et Mathilde	Flavie	Mathilde, Emma, Flavie, Anouk, Marie	Marie, Anouk	Marie, Anouk	Marie, Anouk	
Conclusion							Mathilde et Emma	Flavie				
Bibliographie et table des illustrations							Mathilde, Emma et Flavie	Marie	Emma, Mathilde et Flavie	Mathilde, Flavie, Marie		
Mise en Page							Mathilde	Mathilde, Emma, Flavie	Mathilde et Flavie	Mathilde	Emma, Mathilde et Flavie	Marie et Flavie
Poster								Mathilde, Flavie		Emma, Mathilde et Flavie	Emma, Mathilde, Flavie et Marie	Mathilde
Diaporama											Flavie et Mathilde	Mathilde, Emma, Flavie, Marie
Annexes										Mathilde et Marie		

Durant la totalité du projet, nous avons mis en place un espace de stockage “google drive” avec l’ensemble de nos recherches et notre progression en temps réel afin de mettre en avant le coworking. Ainsi, nous pouvions voir le travail de chacune et l’avancée du projet. Nous effectuons ce projet de manière autonome, tout en travaillant à plusieurs en échangeant nos idées à distance. Nous avons pris l’initiative au début du projet de nous répartir les différentes tâches à réaliser puis pour faire le point sur l’avancée de notre projet, nous organisons une réunion hebdomadaire sur Discord ou dans les locaux de l’INSA pour comparer et échanger notre travail.

Durant les premières semaines nous avons effectué des recherches individuelles pour nous documenter sur le sujet, ensuite nous avons chacune réalisé des tableaux récapitulatifs afin de résumer les différents articles et thèses que nous utilisons.

Une fois ce travail effectué, nous avons mis nos recherches en commun et commencé à prévoir un plan que nous avons modifié le long des séances pour mieux l’adapter au sujet demandé.

Finalement, une fois le plan décidé, nous avons commencé à rédiger la synthèse en suivant notre plan et en nous aidant des tableaux récapitulatifs que nous avons précédemment construits.

Une fois la synthèse rédigée, nous l’avons mise en forme pour qu’elle s’adapte aux exigences demandées.

IV) Conclusion

Travailler plusieurs mois sur un projet physique était une expérience nouvelle pour l'ensemble du groupe.

Au cours de nos recherches et de nos échanges, nous avons pu améliorer notre capacité à travailler avec d'autres élèves-ingénieurs à distance mais aussi consolider notre culture scientifique. Ainsi, ce projet aura été une expérience enrichissante autant sur le plan humain qu'intellectuel.

Ce projet nous a permis de réaliser que les réseaux de capteurs sans fil sont moteurs de progrès et sont primordiaux dans de très nombreux domaines, en particulier le domaine médical. De plus, il reste encore de nombreux progrès à faire, et de nombreux projets scientifiques sont ainsi en cours pour améliorer les capteurs déjà existants et proposer des solutions aux contraintes qu'ils imposent.

Ce projet a eu également pour but de comprendre l'importance d'une bonne organisation et d'une bonne communication dans un projet de groupe. En effet, tout au long de ce projet, nous avons pu nous entraider. Nous pensons avoir produit un travail complet. Grâce à ce travail nous avons développé notre réflexion, notre autonomie mais également des compétences (recherche dans un domaine inconnu, travail de restitution des informations collectées, synthèse, travail en équipe et à distance) qui nous serviront dans notre parcours professionnel. Nous avons pu identifier les difficultés d'un travail en groupe et avons trouvé les solutions pour les résoudre : organisation du travail (identification puis répartition des tâches à réaliser), partage des informations, réunions d'avancement et de coordination régulières. Ce sont des compétences essentielles pour un ingénieur, de travailler de façon collective, de savoir s'adapter aux autres et de parfois faire des concessions dans son travail.

De plus, cette expérience fut fort intéressante et enrichissante car la majorité de notre groupe de projet comptant poursuivre ses études dans le domaine de la chimie, ne se serait sans doute jamais intéressée aux réseaux de capteurs sans fil et nous n'aurions jamais eu de connaissances à ce propos.

En définitive, les apprentissages tirés de cette expérience nous seront très utiles lorsque nous serons ingénieur.

Enfin, les perspectives de travaux que l'on peut suggérer dans ce domaine sont l'exploitation de l'imagerie médicale, qui peut être ajoutée dans la partie réseaux de capteurs, l'optimisation et la localisation des capteurs un peu plus sophistiquée et intelligente, l'envoi sécurisé de données personnelles et enfin, l'économie d'énergie des batteries et des capteurs qui sont utilisés.

Bibliographie :

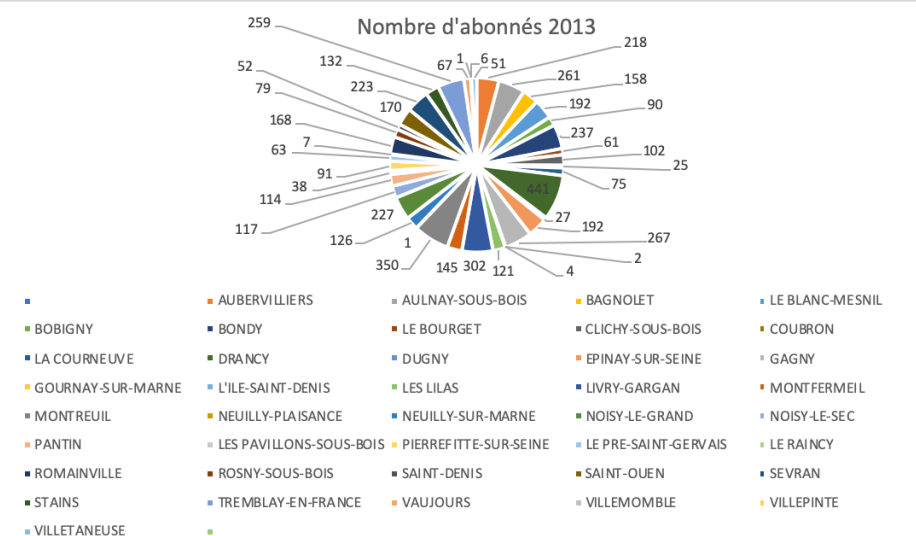
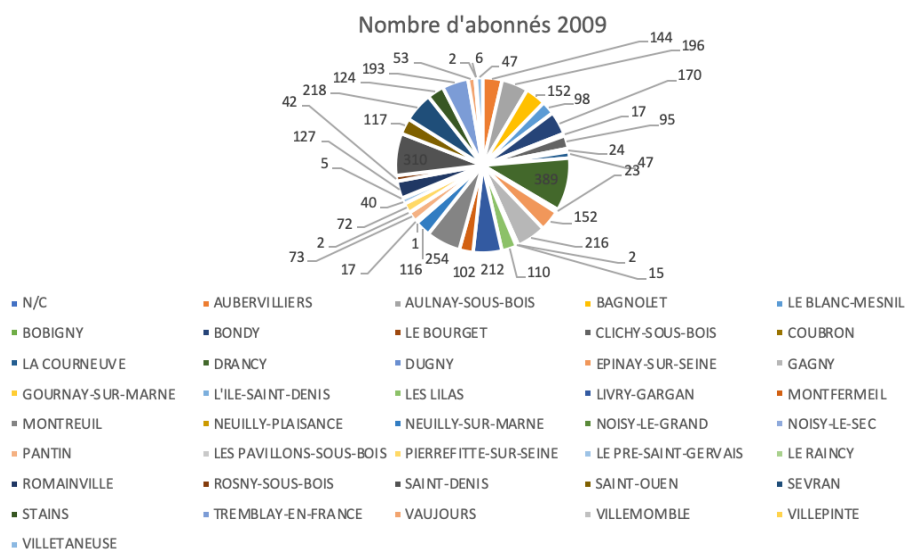
- [1] Adrien Bernard, et al., “Réseau de capteurs sans-fil - Définition et Explications”, *Techno-Science.net*, 11 janvier 2010, [Site web], <https://www.techno-science.net/definition/11711.html>
- [2] “Réseau de capteurs sans fil”, *Composant électronique*, avril 2010, [Site web], http://www.composelec.com/reseau_de_capteurs_sans_fil.php
- [3] Yacine Challal, “Réseaux de Capteurs Sans Fils”, 18 novembre 2008, [Site web] https://moodle.utc.fr/file.php/498/SupportWeb/co/Module_RCSF_11.html
- [4] Yacine Challal, Hatem Bettahar, Abdelmadjid Bouabdallah, “Les Réseaux de capteurs (WSN: Wireless Sensor Networks)”, s.d., [Diapositives], https://moodle.utc.fr/pluginfile.php/1681/mod_resource/content/Cours1/TI60_sensors_cours1.df
- [5] Bernard Cousin, “Réseaux de capteurs - Présentation”, 27 novembre 2011 [Diapositives] <https://www.irisa.fr/prive/Bernard.Cousin/Enseignement/2011-2012/>
- [6] Shebli Fady, “Réseaux de capteurs sans fil. Minimisation de la consommation d'énergie et application à la localisation de cibles”, 2008, [Thèse de doctorat, Université de Valenciennes]
- [7] Julien Beaudaux, “Auto-configuration et auto-adaptation de réseaux de capteurs sans fil dans le contexte de la télémédecine”, *TEL archives-ouvertes* (01015749), [Thèse, Université de Strasbourg], 2013
- [8] Aina Andriamampianina Randrianarisaina, Modélisation de la consommation d'énergie en vue de la conception conjointe (matériel/logiciel) des applications embarquées. Application aux réseaux de capteurs sans fils (WSN).”, [Thèse de doctorat, Université de Nantes], 2015.
- [9] Hasna Boudra “Un prototype de système de télésurveillance médicale basé sur les capteurs et les réseaux de capteurs sans fil”, 85 pages, février 2014
- [10] Puvaneshwari S, Vijayashaarathi S, “Efficient Monitoring System for Cardiac Patients Using Wireless Sensor Networks (WSN)”, *IEEE Xplore*, 2016
- [11] Sara Nasiri, et al., “Progress and challenges in fabrication of wearable sensors for health monitoring”, *Sensors and Actuators A: Physical*, 2020
- [12] Nidhi Sharma, et al., “Privacy Preservation in WSN for Healthcare Application”, *ScienceDirect*, 2018
- [13] Juan Gabriel BARROS GAVILANES “Réseaux de capteurs pour applications de suivi médical” 2013 [Thèse INP Toulouse]
- [14] <https://fr.rs-online.com/web/c/?searchTerm=NXP&sra=oss&r=t> (site commercial)
- [15] Florent Berthier, “Conception d'un processeur ultra basse consommation pour les noeuds de capteurs sans fil”, *TEL archives-ouvertes* (01423146), [Thèse de doctorat, Université de Rennes 1], décembre 2016
- [16] Khaldoun Al Agha, “Réseaux de capteurs”, *Techniques de l'ingénieur*, 10 octobre 2010.
- [17] Cheick Tidjane Kone, “Conception de l'architecture d'un réseau de capteurs sans fil de grande dimension”, [Thèse de doctorat, Université de Lorraine], s.d.
- [18] Preeti Soni, Arup Kumar Pal, SK Hafizul Islam, “An improved three-factor authentication scheme for patient monitoring using WSN in remote health-care system”, *ScienceDirect*, 2019
- [19] Prabhudutta Mohanty, Manas Ranjan Kabat, “Energy Efficient Reliable Multi-path Data Transmission in WSN for Healthcare Application”, *Springer*, 201
- [20] Sultan Mahmood Chowdhury, Ashraf Hossain, “Different Energy Saving Schemes in Wireless Sensor Networks: A Survey”, *Springer*, 2020
- [21] Youssef Benabbassi, “Application de la redondance pour la surveillance par réseau de capteurs sans fil : Cas du réseau de capteurs d'image sans fil”, 2014, [Thèse de doctorat, Université d'Oran]

- [22] Asma Ben Hadj Mohamed, “Réseau de capteurs sans fil comportementaux pour l'aide au maintien à domicile par la surveillance en habitat intelligent”, TEL archives-ouvertes, 2016
- [23] Data.gouv, “Nombre d'abonnés à la Téléassistance réparti par commune”, <https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/nombre-dabonnes-a-la-teleassistance-reparti-par-commune/>
- [24] HCFEA, “Le soutien à l'autonomie des personnes âgées”, [Rapport], 7 novembre 2018
- [25] Pipame, “ L'avenir du marché de la téléassistance”, [Rapport], février 2017
- [26] “Choisir la bonne téléassistance”, *LiNote*, s.d., [Site web], <https://linote.fr/blog/choisir-la-bonne-teleassistance/>
- [27] Walid Bourennane, “Étude et conception d'un système de télésurveillance et de détection de situations critiques par suivi actimétrique des personnes à risques en milieu indoor et outdoor”, *TEL archives-ouvertes* (00903767), [Thèse de doctorat, Université de Toulouse], 2013
- [28] N. Noury, A. Fleury, R. Nocuaa, et al., “Capteurs pour la télésurveillance médicale. Capteurs, algorithmes et réseaux”, *ScienceDirect*, avril 2009.
- [29] Bongisizwe E. Buthlezi, Maredi Mphahlele, et al., “ZigBee Healthcare Monitoring System for Ambient Assisted Living Environments”, *IJCNIS*, avril 2019
- [30] M. Idoudi, et al., “WSN localization scheme based on Received Signal Strength Indicator (RSSI) for ZigBee Networks”, Octobre 2015
- [31] M. Idoudi, et al., “Performance Evaluation of Wireless Sensor Networks Based On Zigbee Technology in Smart Home”, s.d.

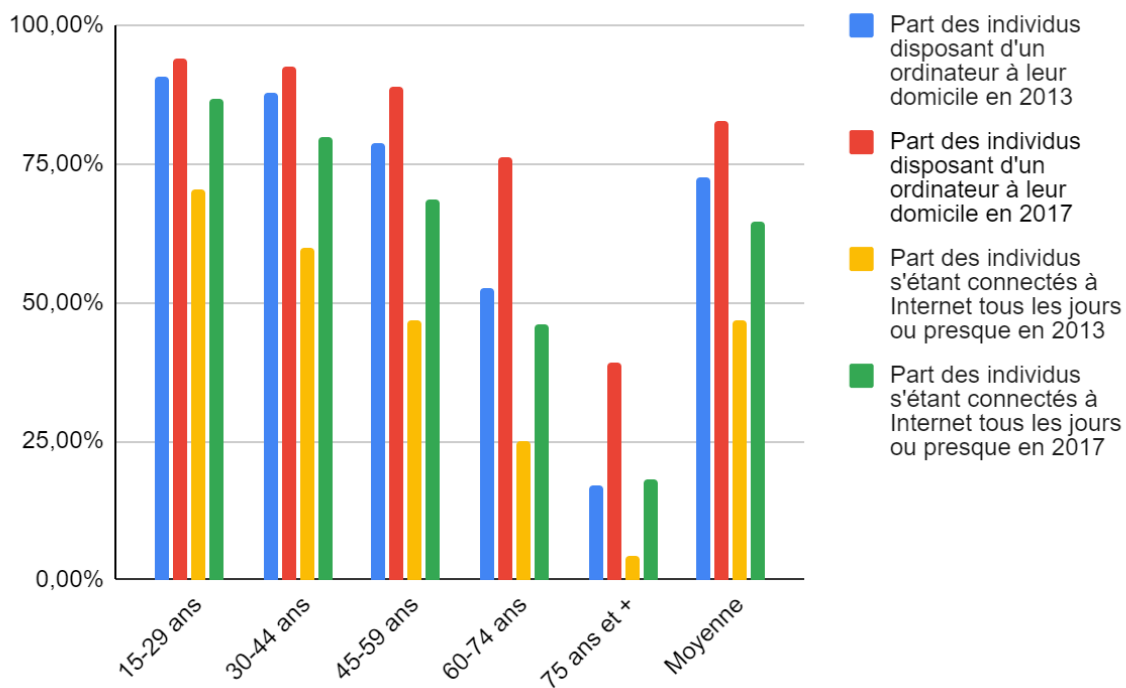
Table des illustrations :

<i>Figure 1: Schéma de l'architecture d'un réseau de capteurs.....</i>	6
<i>Figure 2: Schéma synthétisant les trois unités de base d'un réseau de capteur.....</i>	7
<i>Figure 3: Schéma synthétisant les composants des unités de base d'un réseau de capteurs.....</i>	7
<i>Figure 4: Schéma représentant les différents types de nœuds dans un réseau de capteur.....</i>	8
<i>Figure 5: Schéma de la topologie en étoile d'un réseau de capteur.....</i>	9
<i>Figure 6: Schéma présentant les domaines d'application des réseaux de capteurs</i>	9
<i>Figure 7: Schéma synthétisant les types de capteurs pour suivi biophysique.....</i>	10
<i>Figure 8: Schéma synthétisant les types de capteurs pour suivi biochimique.....</i>	11
<i>Figure 9: Schéma synthétisant les méthodes d'acquisition des signaux vitaux.....</i>	11
<i>Figure 10: Schéma présentant les différents types de mémoire des microcontrôleurs.....</i>	12
<i>Figure 11: Schéma présentant les différents protocoles de communication.....</i>	13
<i>Figure 12: Schéma des topologies permettant de connecter les noeuds d'un réseau Zigbee.....</i>	14
<i>Figure 13: Schéma synthétisant les principales sources de consommation d'énergie.....</i>	14
<i>Figure 14: Schéma représentant le réveil cyclique.....</i>	16
<i>Figure 15: Schéma synthétisant les différents moyens pour sécuriser les informations</i>	16
<i>Figure 16: Schéma représentant le système Challah and al's.....</i>	17
<i>Figure 17: Tableau synthétisant les différentes familles de téléassistance.....</i>	19
<i>Figure 18: Schéma d'une zone de réseau à 3 niveaux utilisant le protocole ZigBee.....</i>	19
<i>Figure 19: Conception pour simulation ZigBee topologie étoile.....</i>	20
<i>Figure 20: Interface utilisateur acquisition de température.....</i>	20
<i>Figure 21: Graphiques représentant les impacts de la distance et de divers obstacles sur le signal dans un protocole ZigBee.....</i>	20

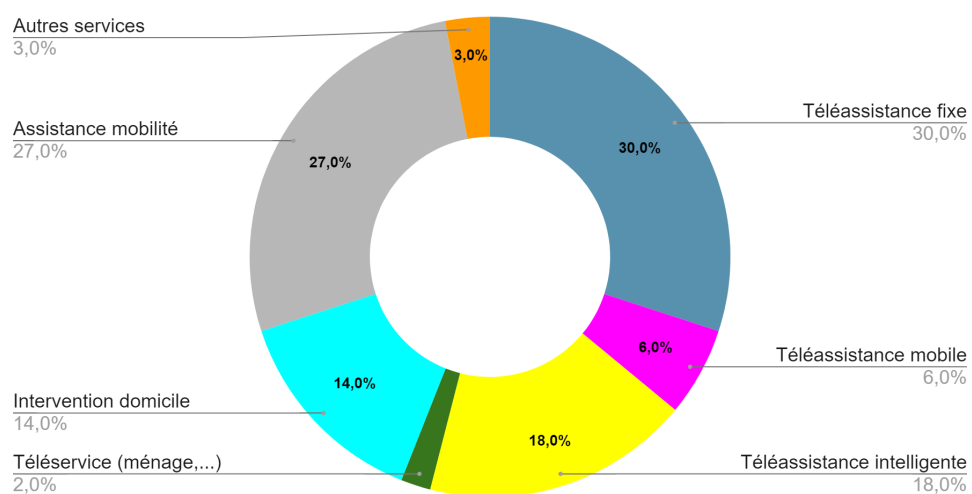
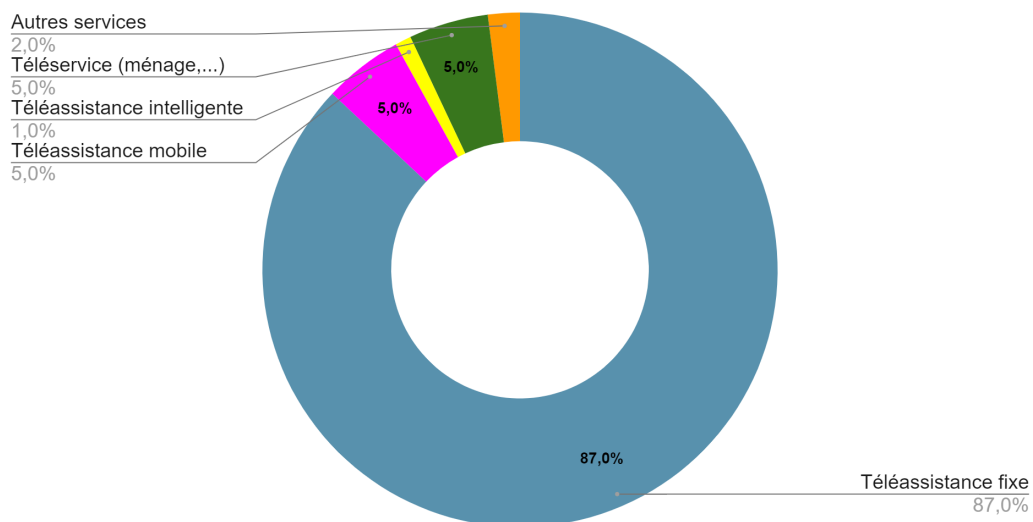
Annexes :



Annexe 1 : Diagrammes représentant le nombre d'abonnés à la téléassistance réparti par commune en Seine-Saint-Denis en 2009 et en 2013. [23]



Annexe 2 : Évolution générationnelle vis à vis des nouvelles technologies [28]



Annexe 3 : Diagrammes représentant l'évolution tendancielle et dynamique de la téléassistance en prévision de 2025 [27]