

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI DE TIZI OUZOU
FACULTE DE GENIE ELECTRIQUE ET INFORMATIQUE
DEPARTEMENT D'INFORMATIQUE



Mémoire

De fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master 2 en informatique

Option : Réseaux, mobilité et systèmes embarqués

Thème

La fusion de données dans les réseaux de capteurs
sans fil

Proposé et dirigé par :

M DAOUI.M

Réalisé par :

M^{elle} MOUSSOUNI Safia

M^{elle} TALEB Rachida

Promotion 2012/2013

Remerciements

Nous remercions le Bon Dieu de nous avoir donnée le courage et la volonté pour la réalisation de notre projet.

Nous tenons à remercier vivement :

- ü Le responsable de l'option : Réseaux mobiles et système embarque, le Professeur LALAM.M.*
- ü Notre promoteur Mr DAOUI.M pour sa disponibilité, ses conseils précieux, ses critiques constructives, ses explications et ses suggestions pertinentes.*
- ü Les membres de Jury pour avoir acceptés d'évaluer et de juger notre travail.*
- ü Ceux qui ont contribué de près ou de loin pour la réalisation de notre travail.*

Résumé.....	1
Introduction général	2
Chapitre 1 : Généralités sur les Wsns.....	4
1.1Introduction.....	4
1.2 Réseaux AD Hoc.....	4
1.3 Les réseaux sans fils.....	4
1.3.1 Définition d'un WSN	4
1.3.2 Comparaison entre les réseaux Ad Hoc et réseaux de capteurs sans fil	5
1.3.3 La topologie.....	6
1.3.4 Structure d'un WSN.....	7
1.3.5 Domaines d'application des réseaux de capteurs	8
1.3.6 Autonomie d'un Capteur.....	10
1.3.7 La communication dans les WSN	11
1.3.8 Consommation d'énergie dans les RSCF	13
1.3.9 Les Systèmes d'exploitation	14
1.3.10 Contraintes de conception des RSCFs.....	15
1.3.11 Limitation d'utilisation des Wsns.....	16
1.4 Conclusion.....	16
Chapitre 2 : la fusion de données dans les Wsns.....	17
2.1 Introduction.....	17
2.2 Définition de la fusion de données.....	17
2.2.1 Historique	17
2.2.2 Définition de l'agrégation de données	20
2.2.3 Définition de la fusion de données	21
2.3 Processus de fusion d'informations.....	21
2.4 Objectif de la fusion de données	23
2.5 Domaine d'application de la fusion.....	23
2.6 Classification de la fusion d'information.....	23
2.6.1 Classification basée sur la relation entre les sources	24
2.6.2 Classification basée sur des niveaux d'abstraction.....	25
2.6.3 Classification basée sur l'entrée et la sortie.....	26

Sommaire

2.7 Méthodes et algorithmes pour la fusion d'information.....	27
2.7.1 Inférence.....	27
1) Inférence bayésienne	27
2) Inférence de Dempster Shafer.....	28
3) Logique floue.....	31
4) Réseaux de neurone.....	32
5) Réseaux d'abduction.....	32
6) Fusion sémantique.....	32
2.7.2 Estimation.....	33
1) Maximum de vraisemblance.....	33
2) Maximum à posteriori.....	33
3) Moindre de carrés.....	34
4) Filtre Moyen et Mobile.....	34
5) Filtre de Kalman.....	35
6) Filtre de particule	37
2.8. Architectures et modèles.....	37
2.8.1 Modèle de JDL et ses dérivés.....	38
2.8.2 Modèle de Dasarathy.....	39
2.8.3 OODA modèles (Architecture cyclique)	40
2.8.4 Cycle d'intelligence.....	41
2.8.5 Modèles omnibus.....	41
2.9 Conclusion	42
Chapitre 3 : Implémentation d'une technique de la fusion dans wsns.....	43
3.1 Introduction.....	43
3.2 Exemple d'application.....	43
3.3 Serre agricole.....	43
3.4 Les données utilisées.....	44
3.5 Méthodologie.....	44
3.5.1 Facteurs de mesures utilisés.....	45
3.5.2 Calcul des masses.....	45

Sommaire

3.5.3 Fusion utilisant la DST.....	46
3.5.4 Mesure la plausibilité et prise de décision.....	46
3.5.5 Résultats et discussion.....	47
3.6 Les étapes de fusion	48
3.7 Conclusion.....	53
Chapitre 4 : Réalisation sous omnet++	54
4.1 Introduction.....	54
4.2 Simulateur.....	54
4.3 Choix du simulateur OMNeT++ 4.0.....	55
4.4 Architecture.....	55
4.5 Compiler et exécuter une simulation.....	56
4.6 Architecture des design NED.....	57
4.6.1 Sensor network.....	58
4.6.2Physical Process.....	58
4.6.3 Node.....	58
4.6.4 Communication.....	60
4.6.5 Ressource Manager.....	61
4.6.6 Sensor Manager.....	62
4.6.7 Application.....	63
4.6.8 Wireless Channel.....	63
4.7 LEACH.....	63
4.7.1 Définitions sur LEACH.....	63
4.7.2 Pourquoi LEACH.....	66
4.7.3 Itérations de l'algorithme	66
4.7.4 Modèle de consommation d'énergie.....	68
4.8 L'algorithme de la fusion.....	69
4.9 Déroulement de notre algorithme de fusion.....	70
4.10 Conclusion.....	71
Conclusion général.....	72
Glossaire.....	73

Liste des figures

Figure 1.1 : Architecture de communication d'un RCSF.	5
Figure1.2 : Architecture plate d'un WSN.....	7
Figure 1.3 : Architecture hiérarchique d'un WSN.....	8
Figure1.4 : domaines d'application des réseaux de capteurs.....	8
Figure1.5 : Composant d'un nœud capteur.	10
Figure 1.6 : Pile protocolaire des capteurs sans fil.....	12
Figure2.1: Ensemble des informations imparfaites.....	17
Figure2.2 : La relation entre le terme de la fusion : Fusion de multi capteurs/capteur, intégration de multi capteur, agrégation de données, fusion de données et fusion de l'information.....	19
Figure 2.3 : Message envoyé sans agrégation de données.....	20
Figure 2.4 : Message envoyé avec l'agrégation de données.....	21
Figure.2.5 : Représentation du nœud de fusion.....	22
Figure 2.6: Les types de fusion de l'information basés sur la relation entre les sources. ...	24
Figure 2.7: Fusion d'information.....	28
Figure 2.8: Extension de modèle de JDL.....	38
Figure 2.9: Le modèle de Dasarathy.....	40
Figure 2.10 : Le Cycle D'Intelligence.....	41
Figure 2.11: Modèle d'omnibus	42
Figure3.1 : la serre agricole.....	43
Figure 3.2 : Degré d'appartenance en fonction de la température ambiante.	47
Figure 3.3 : Degré d'appartenance en fonction de l'humidité.....	47
Figure 3.4 : Degré d'appartenance en fonction de rayonnement.	48
Figure 4.1 Modules composés et modules simples.....	56
Figure 4.2 Diagramme de compilation et d'exécution d'une simulation sous OMNeT++ 4 IDE.....	57
Figure 4.3 La structure d'un RCSF (Sensor Network) sous notre plateforme.....	58
Figure 4.4 La structure du Module Node.	59
Figure 4.5 La description du module composé communication avec le langage Ned.	60
Figure 4.6 Le module simple radio.	60
Figure 4.7 La description NED du module composé ResourceManager.	61

Liste des figures

Figure 4.8 La description NED du module composé SensorManager.....	62
Figure 4.9 : Formation de clusters dans LEACH.....	64
Figure4.10 : Cluster-heads formés à l’instant t	65
Figure4.11 : cluster-heads formés à l’instant t’.....	65
Figure4.12 : Communication de données dans LEACH.....	65
Figure 4.13 : opérations de l’étape d’initialisation.....	68

Liste des tableaux

Tableau 1.1 : la comparaison entre les WSNs et Ad-hoc.....	5
Tableau 3.1 : les quatre prélèvements d'un nœud capture.....	46
Tableau 3.2 : Termes linguistiques utilisés.....	47
Tableau 3.3 : valeurs des masses estimées, non normalisée.....	51
Tableau 3.4 : valeurs des masses normalisées.....	51
Tableau 3.5 Les résultats de la fusion physicalProcessT et physicalProcessH.....	52
Tableau 3.6 : Les résultats de la fusion physicalProcessT, physicalProcessH et physicalProcessH.....	53
Tableau 3.7 Les valeurs de masse fusionnées.....	54
Tableau 3.8 Les valeurs de masse selon la fonction de plausibilité.....	54

Résume

Les réseaux de capteurs sans fil sont l'un des domaines de recherche les plus actifs actuellement en raison de leur étroite intégration avec le monde physique. Ils sont constitués d'un grand nombre de nœuds capteurs des centaines voir des milliers, déployé dans une zone de captages. Ces nœuds capteurs sont connectés entre eux via un support de transmission sans fil à fin de collecter, traiter et transmettre les données vers la station de base qui à son tour les transmet vers l'utilisateur final via internet.

Cependant, les capteurs utilisés dans ces réseaux ont des ressources limitées en terme de mémoire et puissance de calcul. De plus ils sont souvent déployés dans des environnements hostiles et généralement inaccessibles par l'homme, aussi le remplacement de la batterie d'un capteur est impossible ce qui fait de cette dernière une ressource critique. Ainsi en raison de la taille de l'espace à surveiller ces transmissions se font souvent par plusieurs sauts en utilisant d'autres capteurs comme relais. Ce qui cause une large consommation d'énergie.

À cet égard, l'apparition des techniques permettant de réduire la quantité de données transférées telles que la fusion de données et l'agrégation de données permettent de réduire la charge de trafic acheminé dans le réseau, économiser l'énergie consommée au niveau des nœuds capteurs et donc prolonger la durée de vie du réseau.

L'objectif de notre travail, est d'appliquer une fonction de la fusion (DST) qui permet de déduire le microclimat existant dans une serre agricole en se basant sur la température ambiante, l'humidité et le rayonnement, et pour l'implémenter, on a choisi le protocole LEACH, pour bénéficier de sa topologie hiérarchique qui permet de réduire la consommation énergétique dans notre réseau.

Mots clés : fusion de données ; WSNs, serre agricole, théorie Dempster Shafer(DST).

Introduction générale

Durant cette dernière décennie, les technologies de communications sans fil se sont introduites à tous les niveaux de la société : les entreprises, les gares, les hôpitaux, les usines, dans les téléphones et autres équipements domestiques, sur l'homme (dans ses vêtements ou sur son corps) ...etc. Ces avancées récentes offrent des nouvelles perspectives d'avenir dans plusieurs domaines d'applications : militaire, santé, environnement. Elles ont permis particulièrement le développement de microcomposants appelés : capteurs. Ces derniers intègrent : une unité de captage chargée de l'acquisition des données (température, pression, humidité, rayonnement), une unité de traitement informatique et de stockage de données et un module de transmission sans fil. Ces capteurs sont de véritables systèmes embarqués qui ont pour objectif la collecte et la transmission des données capturées.

La collaboration d'un grand nombre de ces entités sans fil et d'une station de base, donne naissance à un réseau de capteur sans fil. Les capteurs sont déployés d'une manière dense et aléatoire dans un champ de captage. Le développement de ce type de réseau est confronté à des nombreux problèmes liés aux exigences des applications et aux capacités limitées des nœuds capteurs. Il est à noter qu'un capteur dispose d'une batterie limitée. En effet il est alimenté par une batterie de petite taille qui est généralement ni rechargeable ni remplaçable. La durée de fonctionnement de ce type de réseau se voit donc limitée. C'est pourquoi, le principal objectif durant la conception des réseaux de capteurs est de garantir une longue durée de fonctionnement et que l'intervention humaine pour cette optimisation soit inexistante.

En raison des contraintes de miniaturisation, les capteurs sont généralement dotés de ressources très limitées en termes de capacité de calcul, d'espace de stockage de données, de débit de transmission et d'énergie embarquée. L'une des conséquences de cette limitation de ressources est que, dans un réseau de capteur sans fil, tous les capteurs ne peuvent pas atteindre le collecteur central. Les nœuds proches du collecteur joueront donc le rôle de relais entre le collecteur et les nœuds éloignés. Ce qui cause une grande consommation énergétique.

Parmi les techniques utilisées pour remédier à ce problème, La fusion de données qu'est un sujet relativement ancien qui trouve ses origines à partir du moment où les chercheurs ont fait leurs premières tentatives d'imitation de l'intelligence humaine. Ainsi la fusion de

Introduction général

données est un aspect purement mathématique, qui vise la combinaison d'informations provenant des sources multiples pour la prise d'une meilleure décision.

Initialement la fusion de données a été utilisées pour des applications militaires afin d'obtenir des meilleures estimations sur la position, l'identité, et la menace des objets observés.

Dans notre cas, on applique la fusion de données dans une serre agricole pour savoir le microclimat le plus probable dans cette dernière.

Pour mener à bien notre travail, nous l'avons organisé en quatre chapitres selon un plan méthodologique suivant :

- Chapitre 1 Généralités sur les réseaux de capteurs sans fil : nous présentons un état de l'art sur les réseaux de capteurs sans fil pour objectif de détailler leurs caractéristiques.
- Chapitre 2 La fusion de données dans les réseaux de capteurs sans fils : nous allons voir les différents concepts de la fusion de données dans les réseaux de capteur sans fil, Ainsi on introduit les méthodes de la fusion qui existe, et enfin on cite quelque modèle de cette dernière.
- Chapitre 3 Implémentation d'une technique de fusion de données dans les réseaux de capteurs sans fil : nous détaillerons la méthode de Dempster Shafer utilisée comme solution pour fusionner les données dans une serre agricole.
- Chapitre 4 Environnement de simulation : nous exposons l'environnement de simulation utilisé .Ainsi le protocole de routage choisis pour étudier les performances de notre solution de fusion , et en fin on donne un algorithme du fusion on utilisant la fonction de Dempster Shafer.

.

1.1 Introduction

De nombreux systèmes nécessitent de prendre en compte l'environnement. Les progrès de ces dernières années en microélectronique ont permis de fabriquer des capteurs de plus en plus petits, de plus en plus performants et avec des autonomies énergétiques grandissantes. D'autre part, les techniques de réseaux captures permettent désormais de s'affranchir des fils et donc de déployer facilement des réseaux de capteurs, dans des endroits même difficiles d'accès. La transmission d'informations entre les capteurs ne peut être assurée directement entre tout couple de capteurs, vu leur batterie limitée (qui entraîne une limite des puissances de transmissions). L'information est donc transmise de proche en proche. Les trois fonctions principales (mesure, traitement et communication de l'information) du capteur engendrent une consommation d'énergie. De ce fait, le capteur a une durée de vie limitée.

1.2 Réseaux Ad hoc

Un réseau ad hoc, appelé généralement MANET (Mobile Ad hoc Network), est une collection d'unités mobiles munies d'interfaces de communication sans fil, formant un réseau temporaire sans recourir à aucune infrastructure fixe ou administration centralisée [ODE03]. Dans tels environnements, les unités se comportent comme des hôtes et/ou des routeurs.

Les nœuds des MANETs sont équipés d'émetteurs et de récepteurs sans fil utilisant des antennes qui peuvent être omnidirectionnelles (broadcast), fortement directionnelles (point à point), ou une combinaison de ces deux types. Ils maintiennent d'une manière coopérative la connectivité du réseau, en fonction de leurs positions, la configuration de leurs émetteurs/récepteurs, la puissance de transmission et les interférences entre les canaux de communication. Un réseau ad hoc peut être isolé, mais il peut aussi avoir des passerelles ou des interfaces qui le relie à un réseau fixe.

1.3 Réseaux de capteurs sans fil

1.3.1 Définition d'un WSN

Un réseau de capteur est un type spécial de réseau ad hoc où l'infrastructure de communication et l'administration centralisée sont absentes [MSK04] : il est constitué d'un ensemble de dispositifs très petits, nommés nœuds capteurs dispersés dans une zone géographique appelée champs de captage. Chacun de ces nœuds a la capacité de collecter les données, les router vers la station de base (le nœud puits), et par la suite vers l'utilisateur final via une communication multi-sauts. Le nœud puits peut communiquer avec le nœud coordinateur de tâches (utilisateur) par internet ou par satellite [ASCS02] (figure1.1).

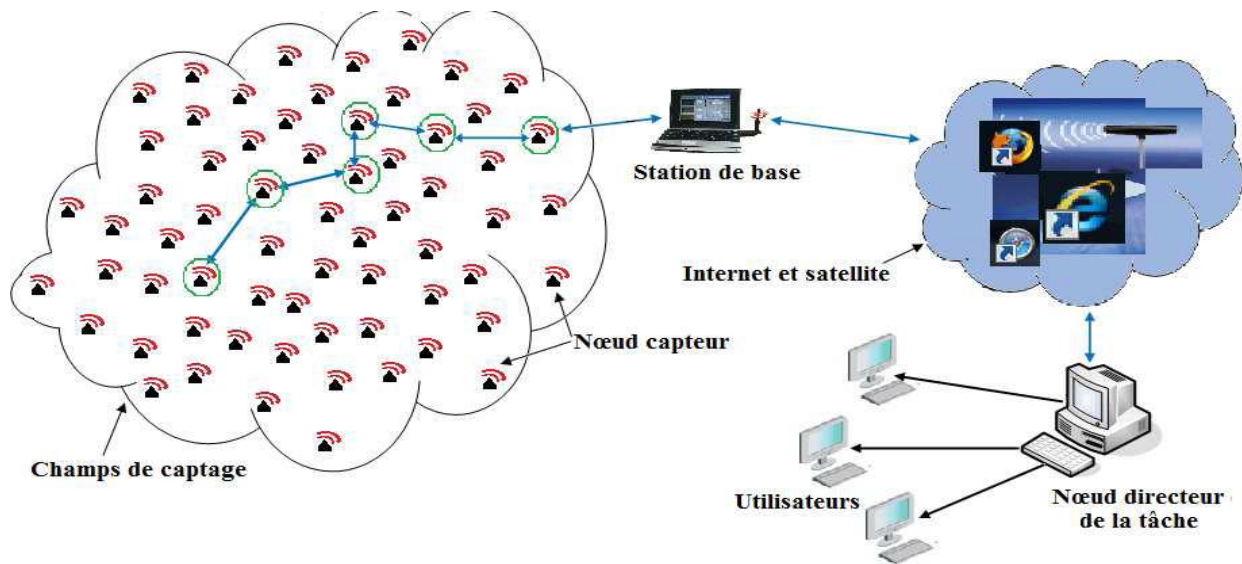


Figure 1.1 Architecture de communication d'un WSN.

Les capteurs sont déployés d'une manière aléatoire dans un champ de captage comme le montre la figure ci-dessus, une station de base située à l'extrémité de ce champ est chargée de récupérer les données collectées par les capteurs. Lorsqu'un capteur détecte un événement pertinent, un message d'alerte est envoyé à la station de base par le biais d'une communication entre les capteurs.

Une question fondamentale dans WSNs est comment que ces données rassemblées sont elles traitées. À cet égard, la fusion de données apparaît comme discipline qui traite la façon dont ces données peuvent être traitées pour augmenter la pertinence et diminuer le volume d'une telle masse de données.

1.3.2 Comparaison entre les réseaux Ad Hoc et réseaux de capteurs sans fil

Un réseau de capteur est un type particulier des réseaux Ad Hoc, ces deux types ont en commun l'absence de l'infrastructure et la communication. Le tableau suivant illustre les différences entre ces deux réseaux.

critère	Réseau de capteur	Réseaux Ad Hoc
Composition	Petit micro-capteurs	Portable, PDA....
Flot de communication	plusieurs à un (many to one)	Plusieurs à plusieurs (many to many)
Communication	Diffusion /Agrégation/fusion	Point à point
Topologie	Mobilité faible	En constante évolution et mobilité forte
Relations entre les nœuds	Collaborant pour le même Objectif	Chaque nœud à son propre objectif
Identification des nœuds	Très grand nombre de noeuds n'ayant pas tout le temps un ID	Présence de la notion d'ID
Objectifs du réseau	Objectif ciblé	Générique communication
Contrainte clé	Ressource énergétiques	Débit /QOS

Tableau 1. 1 La comparaison entre WSN et Ad Hoc.

1.3.3 La topologie

Des centaines voire des milliers de noeuds peuvent être déployés dans un champ de captage. Les capteurs sont distants d'une dizaine de pieds les uns des autres. La densité des nœuds peut atteindre 20 noeuds/m². Le déploiement d'un grand nombre de noeuds exige le contrôle et le maintien de la topologie. La maintenance et le changement de topologie s'effectuent en trois phases :

- **Phase de pré-déploiement et de déploiement** : Les capteurs peuvent être largués en masse ou placés un par un dans le champ de captage. Ils peuvent être jetés d'un avion ou placés par un robot ou un humain.
- **Phase de post-déploiement** : Après le déploiement le changement de topologie survient du fait des changements de position des capteurs (obstacle, bruit...) ou encore des dysfonctionnements. Le nombre de capteurs opérationnel peut être amené à diminuer.
- **Phase de redéploiement des noeuds additionnels** : Des noeuds additionnels peuvent être redéployés à chaque moment pour remplacer les noeuds en panne ou à cause d'un changement dans la distribution des tâches.

1.3.4 Structure d'un WSN

Selon le rôle joué par chaque nœud dans les différentes fonctions du réseau (détection d'événement, routage, agrégation de données...), on distingue deux structures

v Structure plate

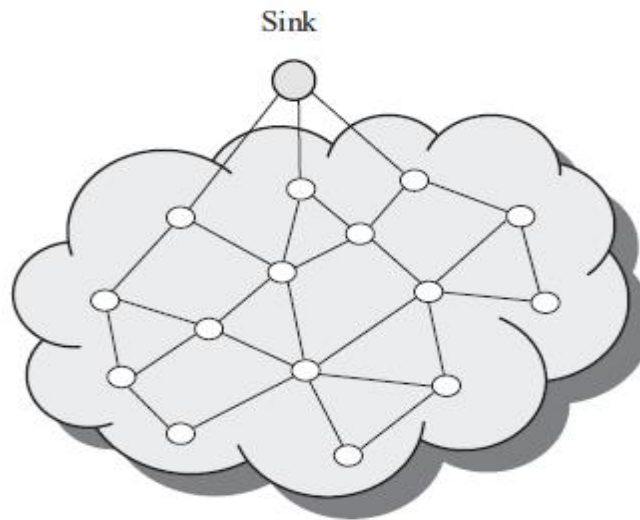


Figure 1. 2 Architecture plate d'un WSN

Comme le montre la figure 1.2 dans une architecture plate, tous les nœuds jouent le même rôle et coopèrent de la même façon dans la fonction du routage. Cette approche est simple et facile à mettre en œuvre, cependant elle nécessite l'échange d'un grand nombre de messages de contrôle, afin de garder le réseau actif à tous moments, de plus, les nœuds proches du nœud Sink vont participer plus que les autres nœuds du réseau, ce qui va induire un déséquilibre sur la quantité d'énergie résiduelle au sein du réseau.

Cette façon d'organiser un réseau donne des résultats seulement lorsqu'il s'agit d'un WSN d'une taille petite, cependant, elle reste inadéquate dans le cas des réseaux volumineux.

v Structure hiérarchique

On les appelle des réseaux auto-organisables, cette auto-organisation consiste à diviser le réseau virtuellement en un ensemble de nœuds géographiquement proches. Chaque ensemble de nœuds également nommé cluster, est composé d'un chef de groupe (cluster-head), responsable de l'acquisition de données captées par les membres, de leurs agrégations, et de l'envoi vers le nœud sink (figure1.3), un cluster-head sert aussi comme relais pour d'autres cluster-heads.

Cette méthode présente alors une solution intéressante pour simplifier et optimiser les fonctions et les services du réseau. En particulier, elle permet un routage plus efficace en réduisant le trafic de contrôle dans le réseau et en simplifiant le processus d'aiguillage des données. Plusieurs Algorithmes de clustering ont été proposés et évalués dans la littérature. Ces algorithmes ont des caractéristiques différentes et sont conçus pour satisfaire certains objectifs selon le contexte dans lequel la clustering est déployée (routage, sécurité, conservation de l'énergie, etc.).

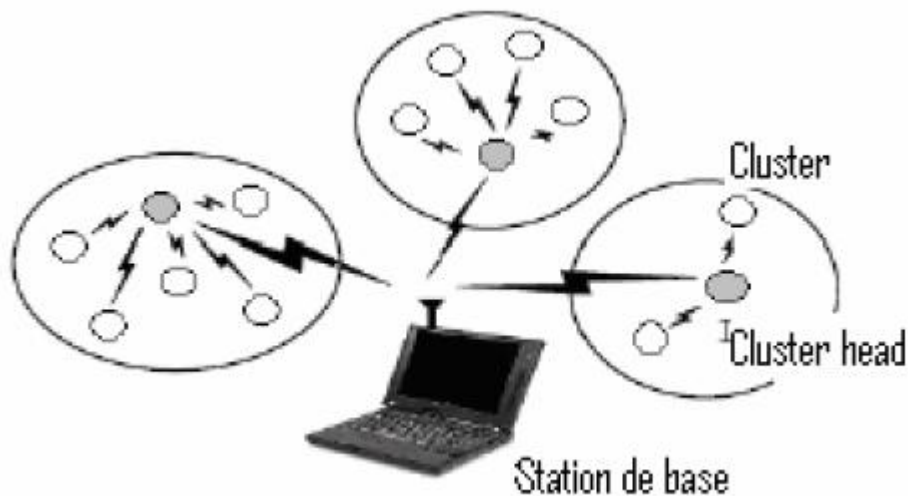


Figure 1.3 Architecture hiérarchique d'un WSN.

1.3.5 Domaines d'application des réseaux de capteurs

Les réseaux de capteurs peuvent être composés, suivant leur utilisation, de différents types de nœuds capteurs, tels que les capteurs sismiques, visuels, infrarouges, et radar, ils sont capables de surveiller une grande variété des phénomènes ambiants, notamment :

- Ø Température.
- Ø Humidité.
- Ø Mouvement des véhicules.
- Ø Pression.
- Ø Taux de bruits.
- Ø Présence ou absence de certains types d'objets.

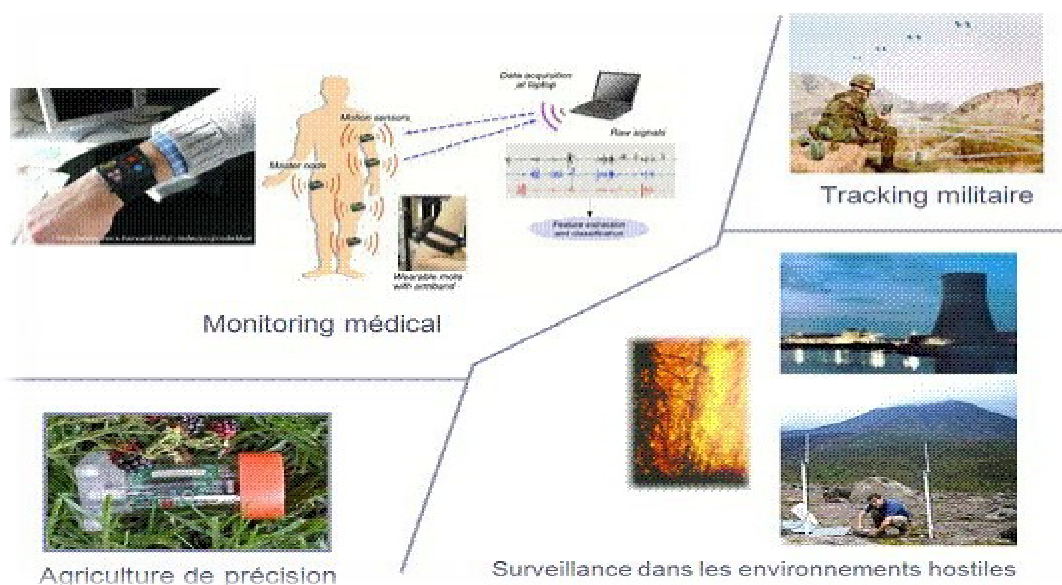


Figure1.4 domaines d'applications des réseaux de capteurs.

Les noeuds capteurs peuvent être utilisés pour la surveillance continue d'un phénomène, la détection et l'identification d'un évènement, ou la surveillance d'un terrain et le contrôle local d'objets déclencheurs d'évènements (actionneurs).

En effet, le nouveau concept de micro-capteurs connectés via un support sans fil promet la réalisation de plusieurs types d'applications. Ces dernières peuvent être subdivisées en plusieurs domaines, entre autres le domaine militaire, environnement, santé, maisons ainsi que d'autres applications commerciales. [ASC02].

Un concept intéressant que nous introduisons dès à présent est le concept de nœud-capteur par référence au terme anglais sensor (node) qui revient fréquemment dans la littérature. Nous avons opté pour cette appellation non pas uniquement pour dire que c'est une entité d'un réseau qui fait de la détection, mais aussi pour retracer l'histoire du capteur. Hier, on cantonnait les capteurs au simple rôle de détecteurs : température, fumée, intrusion...etc. On leur demande aujourd'hui de relever plusieurs informations, de communiquer entre eux, et même d'analyser leurs données.

Des exemples d'applications potentielles dans ces différents domaines sont exposés ci-dessous.

- **La surveillance environnementale** : la petite taille et les capacités relativement grandes au niveau de calcul et de communication des capteurs permettent de les placer aux endroits que les humains ne peuvent ou ne veulent pas accéder, par exemple les grandes forêts, les volcans, les profondeurs des océans, les régions polaires, ou encore d'autres planètes que la terre [MCPS03].
- **L'industrie** : les industriels s'intéressent au potentiel des capteurs pour diminuer les coûts du contrôle et de la maintenance des produits, de la gestion de l'inventaire, de la télésurveillance après vente, etc. [BCSV02]. En particulier, l'intégration de la technologie RFID (Radio Frequency IDentification) avec les réseaux de capteurs est une des directions prometteuses de recherche dans l'industrie.
- **Les domaines urbains et domotiques** : les capteurs entrent de plus en plus dans nos vies quotidiennes. Dans le milieu urbain, les capteurs sont déjà utilisés pour la localisation des bus, pour des tickets électroniques et pour la sécurité. Une des applications est la surveillance du trac routier avec les réseaux de capteurs déployés sur les autoroutes [SCV04]. De plus, les maisons, les bâtiments, les bureaux équipés de capteurs intelligents permettent de construire des systèmes permissifs où l'information est omniprésente [ECPS02].
- **Le domaine médical** : la recherche sur l'usage des capteurs intelligents dans le domaine médical inclut les moyens d'hospitalisation à domicile, l'intégration des micro-capteurs "dans" le corps (ex. construire un BAN - Body Area Network) et la gestion des urgences [LMFJ04].
- **Le domaine militaire** : comme pour plusieurs domaines, les applications militaires ont été aussi les locomotives de la recherche pour les réseaux de capteurs. Détection des troupes ou des véhicules d'ennemis était le sujet d'une des premières applications des réseaux de capteurs [CK03].
- **Agriculture de précision** : Les réseaux de capteurs sont capables d'apporter des bénéfices considérables au domaine d'agriculture, grâce à leur habilité de surveiller les taux de

pesticides dans l'eau le degré d'érosion du sol, détection de parasites et le niveau de pollution de l'air en temps réel.

1.3.6 Autonomie capteur

Un capteur est un petit dispositif autonome capable d'effectuer des mesures simples sur son environnement immédiat, comme la température, l'humidité, la pression, etc. Chaque capteur assure trois fonctions principales : la collecte, le traitement et la communication de l'information vers un ou plusieurs points de collecte appelés station de base (SB). Il est constitué de quatre unités principales [ASC04].

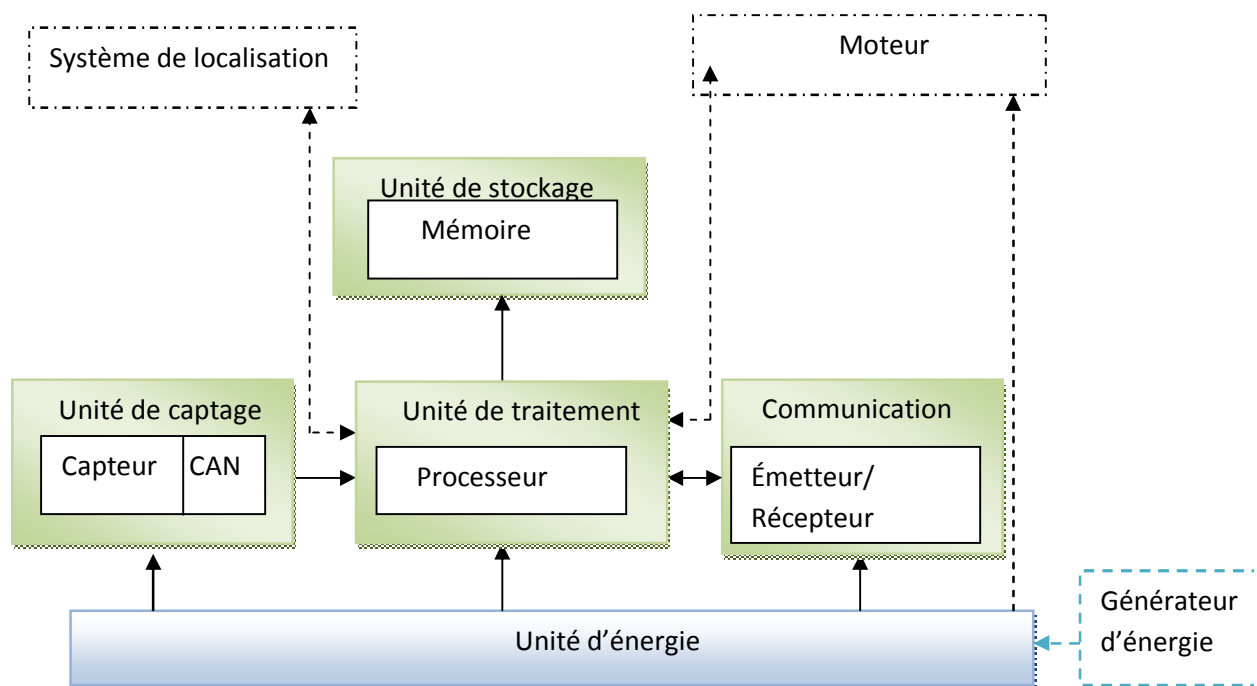


Figure1.5 Composant d'un nœud capteur.

v Une unité de captage

Elle est composée d'un dispositif de capture physique qui prélève l'information de l'environnement local et un convertisseur analogique/numérique appelé ADC (Analog to Digital Converter) qui va convertir l'information relevée et la transmettre à l'unité de traitement.

v Une unité de traitement :

Est composée de deux interfaces, une interface pour l'unité d'acquisition et une autre pour l'unité de transmission. Cette unité est également composée d'un processeur et d'une mémoire. Elle acquiert les informations en provenance de l'unité d'acquisition et les stocke en mémoire ou les envoie à l'unité de transmission.

v Une unité de transmission/réception :

Elle est composée d'un émetteur/récepteur (module radio) pour assurer toutes les émissions et réceptions de données. Il existe trois technologies de communication dans les capteurs : La communication optique (laser), la communication infrarouge, la communication par fréquence radio.

- l'infrarouge : ne nécessite aucune antenne, mais il a une capacité limitée pour la diffusion. Les systèmes infrarouges ont besoin d'un champ de vision ce qui n'est pas toujours réalisable.
- Le Laser : consomme moins d'énergie par rapport à l'infrarouge, mais il nécessite une antenne et il est sensible aux changements atmosphériques,
- la Radio fréquence (RF) : est la plus facile à employer, mais elle exige une antenne. L'énergie consommée augmente très vite en fonction de la portée du signal radio. La consommation est de l'ordre de 20mw pour une portée de quelques dizaines de mètres.

v Une unité d'énergie (batterie) :

Elle est responsable de la gestion de l'énergie et de l'alimentation de tous les composants du capteur. Elle consiste, généralement, en une batterie qui est limitée et irremplaçable, ce qui a rendu l'énergie comme principal contrainte pour un capteur.

Des composants additionnels peuvent être ajoutés selon les applications du réseau, par exemple un générateur d'énergie ou un élément moteur lui permettant de se déplacer.

1.3.5 La communication dans les WSN

Pour des besoins de standardisation et de consommation moindre en énergie dans les WSNs, un modèle en couches subordonnées à des plans de gestion ainsi qu'un standard de communication a été mis en place.

v La pile protocolaire

La pile de protocoles utilisée par le puits (Sink) ainsi que par tous les noeuds-capteurs est donnée dans la figure 1.6. Cette pile de protocoles combine routage et gestion d'énergie et intègre les données avec les protocoles réseau. Elle communique de manière efficace (en termes d'énergie) à travers le support sans fil et favorise les efforts de coopération entre les nœuds-capteurs. Ce modèle comprend 5 couches qui ont les mêmes fonctions que celles du modèle OSI (open System interconnection) ainsi que 3 couches pour la gestion de la puissance d'énergie, la gestion de la mobilité ainsi que la gestion des tâches (interrogation du réseau de capteur).

Elle est composée de la couche application, transport, réseau, liaison de données, physique, ainsi que de trois plans qui sont : le plan de gestion d'énergie, plan de gestion de tâches et le plan de gestion de mobilité.

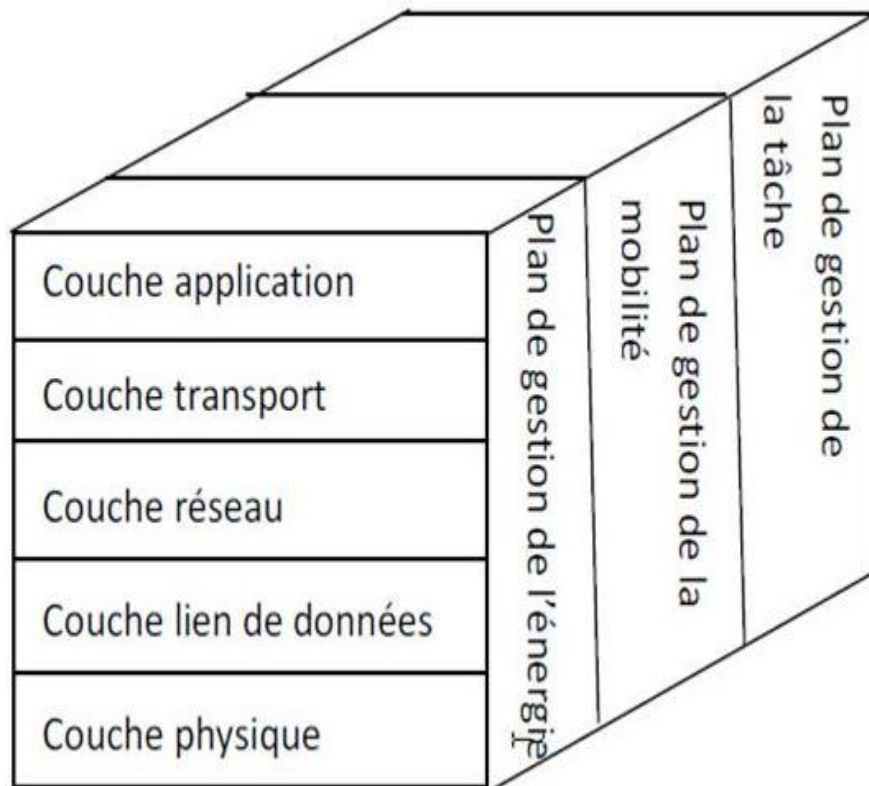


Figure 1.6 Pile protocolaire des capteurs sans fil.

v Rôle des couches

- Ø **La couche physique** : Spécifications des caractéristiques matérielles, des fréquences porteuses, etc.
- Ø **La couche liaison** : Spécifie comment les données sont expédiées entre deux nœuds / routeurs dans une distance d'un saut. Elle est responsable du multiplexage des données, du contrôle d'erreurs, de l'accès au média, ... Elle assure la liaison point à point et multipoint dans un réseau de communication.
- Ø **La couche réseau** : Dans la couche réseau le but principal est de trouver une route et une transmission fiable des données, captées, des nœuds capteurs vers le puits "sink" en optimisant l'utilisation de l'énergie des capteurs. Ce routage diffère de celui des réseaux de transmission ad hoc sans fil par les caractéristiques suivantes:
 - Il n'est pas possible d'établir un système d'adressage global pour le grand nombre de nœuds.
 - Les applications des réseaux de capteurs exigent l'écoulement des données mesurées de sources multiples à un puits particulier.
 - Les multiples capteurs peuvent produire de mêmes données à proximité d'un phénomène (redondance).
 - Les nœuds capteurs exigent ainsi une gestion soignée des ressources. En raison de ces différences, plusieurs nouveaux algorithmes ont été proposés pour le problème de routage dans les réseaux de capteurs.

- Ø **La couche transport** : Cette couche est chargée du transport des données, de leur découpage en paquets, du contrôle de flux, de la conservation de l'ordre des paquets et de la gestion des éventuelles erreurs de transmission.
- Ø **La couche application** : Cette couche assure l'interface avec les applications.

Il s'agit donc du niveau le plus proche des utilisateurs, géré directement par les logiciels.

v Plans de gestion :

Les plans de gestion d'énergie, de mobilité et de tâche contrôlent l'énergie, le mouvement et la distribution de tâche au sein d'un nœud capteur. Ces plans aident les nœuds capteurs à coordonner la tâche de captage et minimiser la consommation d'énergie. Ils sont donc nécessaires pour que les nœuds capteurs puissent collaborer ensemble, acheminer les données dans un réseau mobile et partager les ressources entre eux en utilisant efficacement l'énergie disponible. Ainsi, le réseau peut prolonger sa durée de vie.

- Ø **Plan de gestion d'énergie** : contrôle l'utilisation de la batterie. Par exemple, après la réception d'un message, le capteur éteint son récepteur afin d'éviter la duplication des messages déjà reçus. En outre, si le niveau d'énergie devient bas, le nœud diffuse à ses voisins une alerte les informant qu'il ne peut pas participer au routage. L'énergie restante est réservée au captage.
- Ø **Plan de gestion de mobilité** : détecte et enregistre le mouvement du nœud capteur. Ainsi, un retour arrière vers l'utilisateur est toujours maintenu et le nœud peut garder trace de ses nœuds voisins. En déterminant leurs voisins, les nœuds capteurs peuvent balancer l'utilisation de leur énergie et la réalisation de tâche.
- Ø **Plan de gestion de tâche** : balance et ordonnance les différentes tâches de captage de données dans une région spécifique. Il n'est pas nécessaire que tous les nœuds de cette région effectuent la tâche de captage au même temps ; certains nœuds exécutent cette tâche plus que d'autres selon leur niveau de batterie.

1.3.6 Consommation d'énergie dans les RCSF

L'énergie consommée par un nœud capteur est due essentiellement aux opérations suivantes : la capture, le traitement et la communication de données [HCB00].

- **Energie de capture** : L'énergie de capture est dissipée pour accomplir les tâches suivantes : échantillonnage, traitement de signal, conversion analogique/numérique et activation de la sonde de capture. En général, l'énergie de capture représente un faible pourcentage de l'énergie totale consommée par un nœud.
- **Energie de traitement** : L'énergie de traitement se divise en deux parties : l'énergie de commutation et l'énergie de fuite. L'énergie de commutation est déterminée par la tension d'alimentation et la capacité commutée au niveau logiciel (en exécutant un logiciel). Par contre, l'énergie de fuite correspond à l'énergie consommée lorsque l'unité de calcul n'effectue aucun traitement. En général, l'énergie de traitement est faible par rapport à celle nécessaire pour la communication.

- **Energie de communication** : L'énergie de communication se décline en deux parties : l'énergie de réception et l'énergie de l'émission. Cette énergie est déterminée par la quantité des données à communiquer et la distance de transmission, ainsi que par les propriétés physiques du module radio. L'émission d'un signal est caractérisée par sa puissance. Quand la puissance d'émission est élevée, le signal aura une grande portée et l'énergie consommée sera plus élevée. Notons que l'énergie de communication représente la portion la plus grande de l'énergie consommée par un nœud capteur.

1.3.7 Les Systèmes d'exploitation

Pour supporter les différentes opérations des noeuds, il est important d'avoir un système d'exploitation open source conçu spécifiquement pour les RCFSs. Ces systèmes d'exploitation utilisent une architecture basée sur les composants. Cela permet une implémentation et une innovation rapide et un code source de taille réduite [SOH07].

TinyOS est un exemple de standard de fait. Les bibliothèques des systèmes d'exploitation incluent des protocoles réseaux, des services distribuent, des drivers de capteurs, des outils d'acquisition de données... etc. Il est le système d'exploitation le plus répandu et il est utilisé par plus de 500 universités et centres de recherche dans le monde.

- **Aperçu général de TinyOS**

TinyOS est un système d'exploitation Open Source pour les réseaux des capteurs, conçus par l'université américaine de BERKELEY. Il respecte une architecture basée sur une association de composants (des éléments de base pour former une application NesC, ils présentent deux types : modules et configurations), réduisant ainsi la taille du code nécessaire à sa mise en place. Cela s'inscrit dans le respect des contraintes de mémoires qu'observent les capteurs, pourvus de ressources très limitées dues à leur miniaturisation. La bibliothèque TinyOS comprend les protocoles réseau, les services de distribution, les drivers pour capteurs et les outils d'acquisition de données. TinyOS est en grande partie écrit en C, mais on peut très facilement créer des applications personnalisées en langages C, NesC (langage orienté composant syntaxiquement proche du C) et Java.

Un programme s'exécutant sur TinyOS est constitué d'une sélection de composants systèmes et de composants développés spécifiquement pour l'application à laquelle il sera destiné (mesure de température, du taux d'humidité...). TinyOS s'appuie sur un fonctionnement évènementiel, c'est-à-dire qu'il ne devient actif qu'à l'apparition de certains évènements, par exemple l'arrivée d'un message radio. Le reste du temps, le capteur se trouve en état de veille, garantissant une durée de vie maximale connaissant les faibles ressources énergétiques des capteurs. Ce type de fonctionnement permet une meilleure adaptation à la nature aléatoire de la communication sans fil entre capteurs.

1.3.8 Contraintes de conception des RCFSS

Les principaux facteurs et contraintes influençant l'architecture des réseaux de capteurs peuvent être résumés comme suit [ASC02]:

- **La tolérance aux fautes** [KPS02, PH07] : la tolérance aux fautes est la capacité de maintenir les fonctionnalités du réseau en présence de fautes. La fiabilité des réseaux de capteurs sans fil est affectée par des défauts qui se produisent à cause de diverses raisons telles que le mauvais fonctionnement du matériel ou à cause d'un manque d'énergie. Ces problèmes n'affectent pas le reste du réseau.
- **Le facteur d'échelle** (Scalability) [NDS04]: le nombre de noeuds de capteurs augmente sur un réseau sans fil et ce nombre peut atteindre le million. Un nombre aussi important de noeuds engendre beaucoup de transmissions entre les noeuds et peut imposer des difficultés pour le transfert de données.
- **Les coûts de production** [HKKW03]: souvent les réseaux de capteurs sont composés d'un très grand nombre de noeuds. Le prix d'un nœud est critique afin de pouvoir concurrencer un réseau de surveillance traditionnel.
- **L'environnement** : les capteurs sont souvent déployés en masse dans des endroits tels que des champs de bataille, à l'intérieur de grandes machines, au fond d'un océan, dans des champs biologiquement ou chimiquement souillés [CK03],... Par conséquent, ils doivent pouvoir fonctionner sans surveillance dans des régions géographiques éloignées.
- **La topologie de réseau** [ZCL08]: le déploiement d'un grand nombre de noeuds nécessite une maintenance de la topologie. Cette maintenance consiste en trois phases : déploiement, post-déploiement (les capteurs peuvent bouger, ne plus fonctionner,...) et redéploiement de noeuds additionnels.
- **Les contraintes matérielles** [HPHW05]: la principale contrainte matérielle est la taille du capteur. Les autres contraintes sont la consommation d'énergie qui doit être moindre pour que le réseau survive le plus longtemps possible, qu'il s'adapte aux différents environnements (fortes chaleurs, eau,...), qu'il soit autonome et très résistant vu qu'il est souvent déployé dans des environnements hostiles.
- **Les médias de transmission** : dans un réseau de capteurs, les noeuds sont reliés par une architecture sans fil. Pour permettre des opérations sur ces réseaux dans le monde entier, le média de transmission doit être standardisé. On utilise le plus souvent l'infrarouge, le Bluetooth [JCH00] et les communications radio Zig Bee [PZ06].
- **La consommation d'énergie** : un capteur, de par sa taille, est limité en énergie ($<1.2V$). Dans la plupart des cas le remplacement de la batterie est impossible. Ce qui veut dire que la durée de vie d'un capteur dépend grandement de la durée de vie de la batterie. Dans un réseau de capteurs (multi-sauts) chaque nœud collecte des données et envoie/transmet des valeurs. Le dysfonctionnement de quelques noeuds nécessite un changement de la topologie du réseau et un ré-routage des paquets. Toutes ces opérations sont gourmandes en énergie, c'est pour cette raison que les recherches actuelles se concentrent principalement sur les moyens de réduire cette consommation [SGSK06] [TRCP04].

1.3.9 Limitation d'utilisation des Wsns

Les réseaux de capteurs sans fil (Wsns) sont destinés à être déployés dans des environnements où les senseurs peuvent être exposés à des conditions hostiles. Ces derniers incluent des variations fortes de la température et de pression, bruit électromagnétique, et des radiations. Par conséquent, les mesures des senseurs peuvent être imprécises (voire inutiles) dans tel scénario. Même lorsque les conditions environnementales sont idéales, les capteurs peuvent ne pas fournir des mesures parfaites. Puisqu'un capteur est un dispositif de mesure, une valeur d'imprécision est généralement associée à son observation. L'imprécision représente les imperfections de la technologie et les méthodes utilisées pour mesurer un phénomène ou une propriété physique.

Les nœuds capteurs peuvent être détruits dans son environnement d'utilisation, comme le feu, les animaux, ou même des êtres humains, par exemple dans le cas d'un réseau qui surveille une forêt pour détecter un événement. Par conséquent, les échecs ne sont pas une exception dans les réseaux de capteur, ainsi ils peuvent présenter des problèmes de fabrication, et ils pourraient cesser de fonctionner en raison d'un manque d'énergie, chaque nœud qui devient inutilisable pourrait compromettre la perception globale et/ou la capacité de communication du réseau. Ici, la capacité de perception est au concept d'exposition.

De plus, les capteurs collectent et transmettent des données d'une façon autonome à un autre nœud appelé puits. En raison de la taille de l'espace à surveiller, ces transmissions se font souvent par plusieurs sauts en utilisant d'autres capteurs comme relais. La transmission d'une seule donnée peut ainsi impliquer plusieurs capteurs et une consommation d'énergie sur chacun d'eux.

Pour remédier à ça, plusieurs techniques permettant de réduire la quantité de données transférées, ce qui diminue la consommation d'énergie, telles que la fusion de données et l'agrégation de données, ainsi elles permettent de réduire la charge de trafic à acheminer dans le réseau.

1.4 Conclusion

Les réseaux de capteurs sans fil présentent un intérêt considérable et une nouvelle étape dans l'évolution des technologies de l'information et de la communication. Dans ce premier chapitre, nous avons présenté les réseaux de capteurs sans fil, leurs architectures de communication, la pile protocolaire des capteurs et leurs diverses applications. Cependant, nous avons remarqué que plusieurs facteurs et contraintes compliquent la gestion de ce type de réseaux. En effet, les réseaux de capteurs se caractérisent par une capacité énergétique limitée rendant l'optimisation de la consommation d'énergie dans des réseaux pareils, une tâche critique pour prolonger la durée de vie du réseau. Dans le chapitre suivant, on va voir le concept de la fusion de données dans les réseaux de capteurs sans fil.

2.1 Introduction

Le terme fusion de données désigne l'ensemble des techniques utilisées pour regrouper les informations provenant de plusieurs capteurs dans WSNs ; la nature hétérogène de ses capteurs produit des informations qui ne sont que très rarement fiables et parfaites. En effet, un capteur fournit une représentation d'une grandeur physique et il est fréquemment entaché d'erreur, de bruit, retard, etc. Ce qui peut produire des informations imparfaites représentées sous la forme : d'incertitude, d'imprécision, d'incomplétude, d'inconsistance et d'ambiguïté ([DUB 88], [BOU07]. L'incertitude (L'incertitude est relative à la réalité d'une information. Un événement est incertain si la probabilité de sa réalisation est comprise entre 0 et 1) et l'imprécision (elle porte sur un défaut quantitatif de connaissance, qui se traduit par une erreur sur le contenu de l'information. Une mesure est imprécise si l'erreur sur sa valeur n'est pas nulle). Sont les principaux types d'imperfections considérées dans la littérature et souvent, est le résultat de la combinaison des autres types d'imperfections citées ci-dessus. L'ensemble des informations imparfaites est représenté dans le schéma de la Figure2.1. Nous décrivons ces notions dans le glossaire.

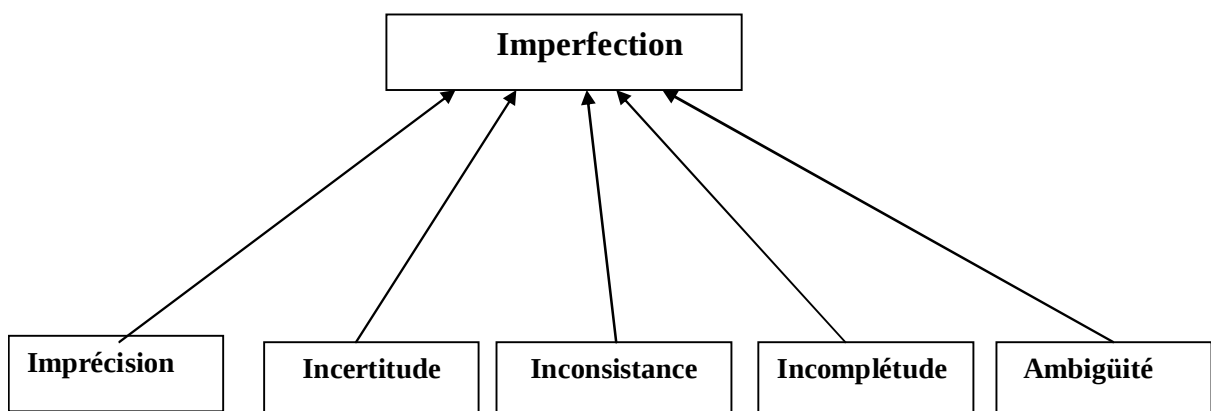


Figure 2.1: Ensemble des informations imparfaites.

La question qui se pose est comment en combinant ces informations pour obtenir une meilleure connaissance d'un phénomène que celle fournie par chacune des sources ?

2.2 Définition de la fusion de données

2.2.1. Historique

Plusieurs notions apparaissent autour de la fusion de données à l'issue des groupes de travail. Nous ne présentons ici que les principales définitions apportées par ces groupes. Historiquement, un premier groupe de travail le Joint Directors of Laboratories (JDL) du département de défense américaine s'est créé en 1991, ils définissent la fusion de données comme : « La fusion est un processus multi-niveaux et à facettes multiples ayant pour objet la détection automatique, l'association, la corrélation, l'estimation et la combinaison d'informations de sources singulières et plurielles ». [UDD06]

§ En 1993, Klein déclare que les données peuvent être fournies par une source simple ou par des sources multiples. Les deux définitions sont générales et peuvent être appliquées dans différents

champs, ya compris la télédétection. Bien qu'ils suggèrent la combinaison des données sans indiquer son importance ni son objectif, le modèle de fusion de données de JDL à été fourni par le département des États-Unis des affaires de la défense dans le but d'améliorer la qualité. [KLE03]

§ En 1997, hall et Linas définissent la fusion de données comme « la combinaison des données provenant de multiples capteurs, et autres informations pertinentes fournies par les bases de données associées. Pour obtenir la meilleure exactitude et des inférences plus spécifiques que celles qui pourraient être atteintes par l'utilisation d'un seul senseur ». Ici, la fusion est exécutée avec un objectif : amélioration d'exactitude. [HAL04]

§ Toutes les définitions précédentes sont concentrées sur des méthodes, moyennes et des capteurs.

Mais En 1999, Wald considère que la fusion de données est un cadre formel dans lequel s'expriment les moyens et techniques permettant l'alliance des données provenant de sources diverses. Elle vise à l'obtention d'information de plus grande qualité; la définition exacte de "plus grande qualité" dépendra de l'application.

En particulier, les deux objectifs principaux de la fusion de données dans WSN : économie d'énergie et amélioration d'exactitude. La fusion multi senseur à été employée avec le même sens par d'autres auteurs, comme Hall, Waltz et Linas.

- Selon Luo et al. L'intégration de multi capteurs est l'utilisation synergique d'information fournie par les dispositifs de capteurs multiples à l'aide d'accomplissement d'une tâche par un système ; et la fusion de Multi capteurs traite la combinaison de différentes sources d'information fournie par le capteur dans un format de représentation pendant n'importe quelle étape dans le procédé d'intégration. [LAK05]

Dans les multi capteurs l'intégration est un terme plus vaste que la fusion, car elle rend explicite la façon sur laquelle les données fusionnées sont employées par le système entier pour agir l'un sur l'autre avec l'environnement. Cependant, ils ont appliqué le processus de fusion et d'intégration seulement pour les données fournies par les capteurs.

§ Dasarthy a adopté la fusion de données comme solution à la confusion avec l'intégration de données. englobe la théorie, les techniques et les outils créés et appliqués à l'exploitation de la fusion des données acquises par plusieurs sources (capteurs, base de données, information recueillie par des humains, etc.). Avec cette définition, l'action résultante ou la décision est meilleure dans un certain sens (qualitative ou quantitative, en terme de précision et de robustesse, etc.) qui serait impossible si l'une de ces ressources a été utilisée individuellement sans l'exploitation de ces synergies. Probablement, c'est la plus large définition englobant n'importe quel type de ressource pour fusionner différentes informations. [DAZ01]

Le terme d'agrégation de données est devenu populaire dans la communauté de réseaux de senseur sans fil comme synonyme de fusion de l'information .selon Cohen et al « l'agrégation des données comprend la collecte de données brutes à partir de source de données omniprésentes, la souplesse ,la composition programmable des données brutes en des données moins volumineuses et affinées, et la livraison en temps opportun des données affinées pour la consommation de données ».En utilisant « la donnée à caractère raffiné ».Il ya une amélioration de la précision .

Cependant, comme le définit Van Renesse « l'agrégation et la capacité à résumer » ce qui signifie que la quantité de données est réduite. Toutefois, pour les applications qui nécessitent des mesures originales et précises, un tel résumé peut représenter une perte de précision. En fait, bien que de nombreuses applications puissent s'intéresser seulement aux données résumées, nous ne pouvons pas toujours affirmer si oui ou non les données résumées sont plus précises que l'original de l'ensemble des données. Pour cette raison, l'utilisation d'agrégation des données comme un terme général doit être évitée, car il se réfère également à une instance de fusion de l'information : le résumé. [VAR03].

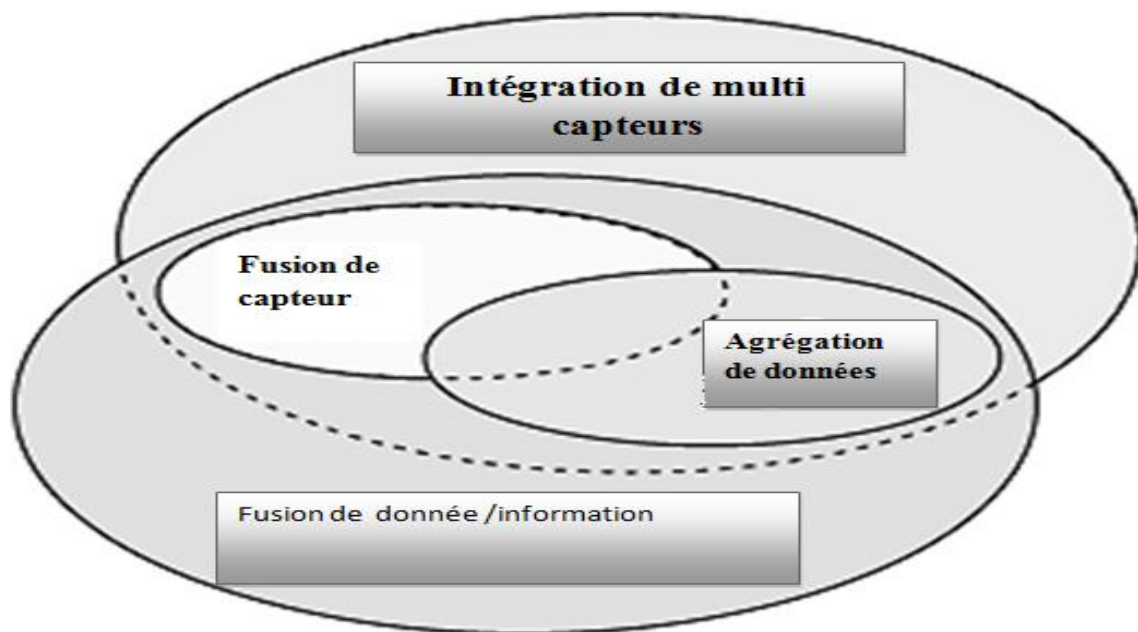


Figure 2.2 La relation entre le terme de la fusion : Fusion de multi capteurs/capteur, intégration de multi capteur, agrégation de données, fusion de données et fusion de l'information.

D'après la figure 2.2 qui représente la relation entre les concepts de la fusion de multi capteurs/capteur, intégration de multi capteur, agrégation de données, fusion de données et fusion de l'information. Nous avons appris que les deux termes fusion et agrégation de données peuvent être utilisés avec la même signification. la fusion de multi capteurs/capteur est le sous-ensemble qui fonctionne avec des données fournies par le capteur.

L'agrégation de données définit un autre sous-ensemble de fusion de l'information qui vise à réduire le volume de données, qui manipule n'importe quel type de données/information y compris les données fournies par les capteurs. D'autre part, l'intégration multi capteur est un terme un peu différent dans le sens où il s'applique à la fusion de l'information pour faire des inférences en utilisant le dispositif sensoriel et les informations associées pour interagir avec l'environnement. Ainsi, la fusion de multi capteur /capteur est entièrement incluse dans l'intersection de l'intégration de multi-senseur et de la fusion de l'information/données.

Comme la fusion de capteurs et multi capteurs est un sous-ensemble de fusion de l'information qui manipule des données acquises par les capteurs .nous avons choisi d'utiliser la fusion de l'information comme un terme global.et cette dernière nous permet de renforcer la recommandation d'**Elmenreich** qui déclare que la fusion de données devrait explicitement désigner sous le nom de la fusion de données brutes ou du bas niveau de la fusion de données pour éviter la confusion avec le terme de fusion de données employé par la Géoscience et société de télédétection.

D'après ce qui procède, on déduit les définitions suivantes :

2.2.2 Définition de l'agrégation de données [KHB02]

L'agrégation de données a été proposée comme un nouveau paradigme utile pour le routage dans les réseaux de capteurs, elle consiste à remplacer les lectures individuelles de chaque capteur par une vue globale, collaborative sur une zone donnée (clustering).On peut utiliser par exemple de simples fonctions d'agrégat telles que MIN, MAX ou MOYENNE, qui permettent à partir d'une série de n messages reçus par un (capteur-chef d'une zone) de ne renvoyer vers le puits qu'un seul message résumant l'information contenue dans ces n messages. Ceci réduit le nombre de messages envoyés et donc économise l'énergie.

En plus, elle permet derésoudre le problème de chevauchement qui se produit quand deux nœuds différents disséminent les mêmes données. Ceci pourrait se produire quand les capteurs sont redondants. Ils observent la même propriété dans le même endroit. Ainsi l'implosion lorsque des données observées par un nœud sont reproduites dans le réseau dû à la stratégie de routage de données.

Dans les deux cas, la redondance, qui se produit pour différentes raisons, pourrait avoir son impact négatif (par exemple, gaspillage d'énergie et de largeur de bande). Ce gaspillage est réduit par l'agrégation de données.

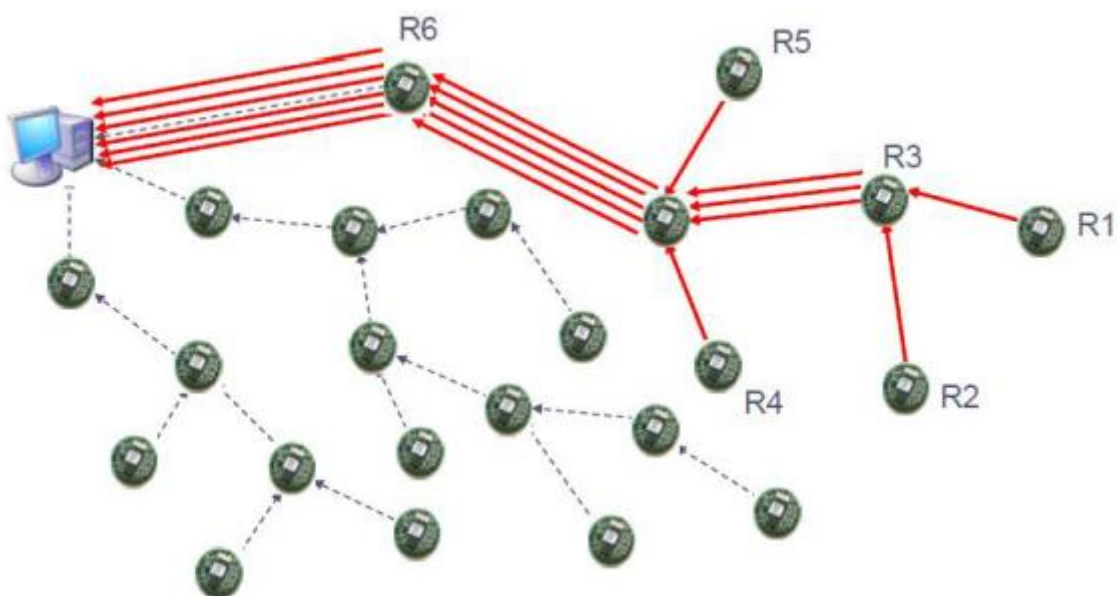


Figure 2.3 Message envoyée sans agrégation de données

Au total, 18 messages sont envoyés sur le réseau de capteurs. En utilisant le mécanisme d'agrégation de données, on obtient un total de 7 messages envoyés sur le réseau :

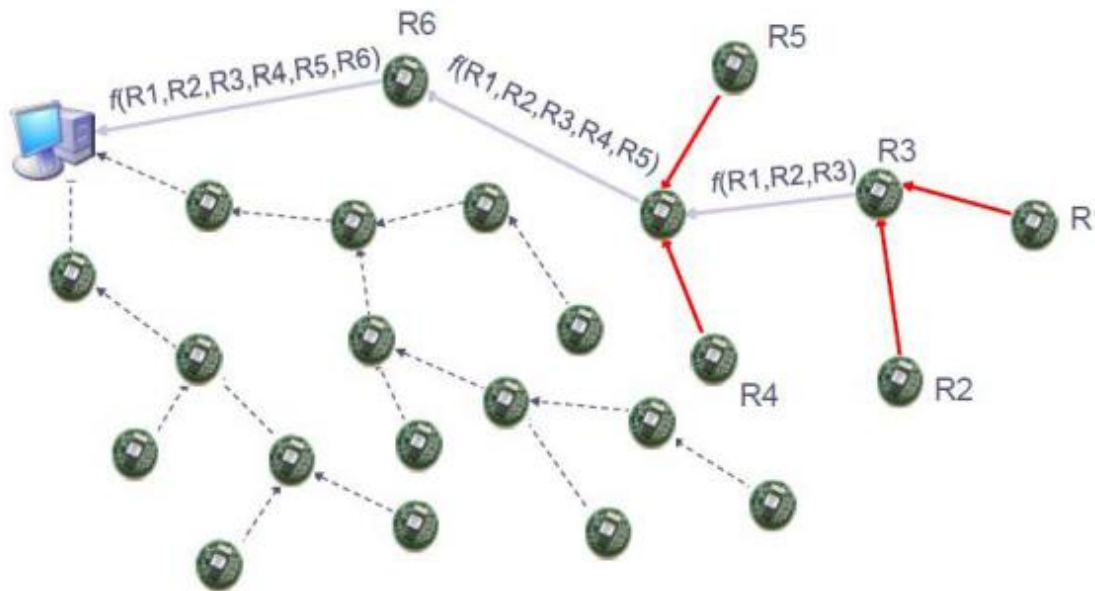


Figure 2.4 Message envoyée avec l'agrégation de données.

2.2.3 Définition de la fusion de données

D'après les définitions précédentes, La fusion d'informations (ou fusion de données) consiste à combiner des informations issues de plusieurs sources pour former une seule information globale afin d'améliorer la prise de décision. Elle est généralement employée dans des tâches de détection et de classification dans divers domaines d'application, telle que la robotique et les applications militaires. Récemment, ces mécanismes ont été utilisés dans des nouvelles applications comme détection d'intrusion et la détection du déni du service (DOS) . [ELW02]

2.3 Processus de fusion d'informations [13]

En général, la fusion peut se décomposer en plusieurs étapes figure suivantes :

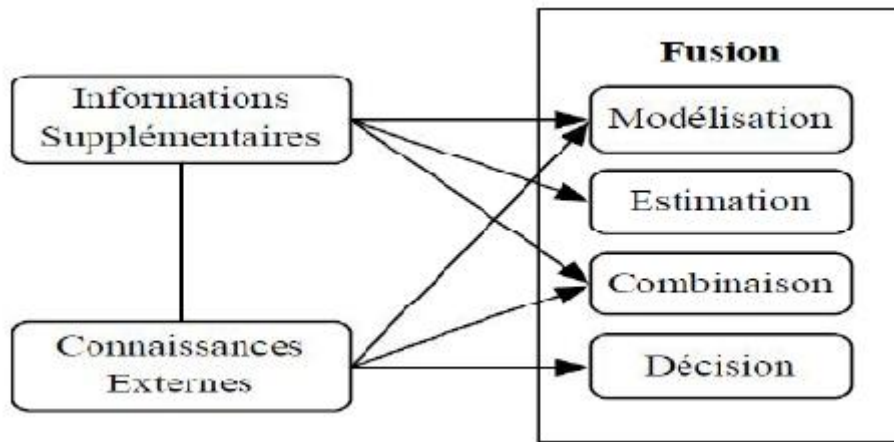


Figure 2.5 Représentation du nœud de fusion.

Les principales étapes de construction d'un processus de fusion sont les suivantes:

- **Représentation homogène et recalage des informations pertinentes :** Les données à fusionner sont souvent hétérogènes. Il est impossible de les combiner sous leur forme initiale. On est alors amené à rechercher un espace de représentation commun dans lequel les différentes informations pertinentes disponibles renseignent sur une même entité. Un premier traitement consiste donc à transformer certaines de ces informations initiales en informations équivalentes dans un espace commun dans lequel s'effectuera la fusion.
- **Modélisation des connaissances :** Est une étape essentielle du processus de fusion consiste à choisir un formalisme mathématique pour représenter les informations issues de chaque source, elle est couplée au choix d'un cadre théorique adapté.
- **Fusion :** C'est à ce niveau du processus que l'opération de fusion est réalisée. Les informations modélisées sont combinées selon une règle de combinaison propre au cadre théorique choisi. La fusion des données contradictoires doit permettre de gérer les conflits potentiels entre les diverses sources.
- **Estimation :** L'estimation est dépendante de la modélisation, elle n'est pas une étape systématique, mais souvent nécessaire pour la plupart des formalismes. Pour cette étape les informations supplémentaires peuvent aider.
- **Décision par choix d'une stratégie :** La dernière étape de la fusion de données est la décision. En effet, d'après notre définition de la fusion, la combinaison est réalisée en vue d'améliorer la prise de décision. Le choix du critère se fait en fonction du formalisme (c.-à-d. du choix de la modélisation et de la combinaison). Les connaissances externes peuvent ici apporter une aide importante au choix du critère. Classiquement, il s'agit de la minimisation ou de la maximisation d'une fonction issue de la combinaison. C'est cette même fonction, ou une autre qui peut servir au calcul d'un indice de qualité. Cette étape doit donc fournir à l'expert la "meilleure" décision.

2.4 Objectif de la fusion de données

La fusion de données est apparue afin de gérer des quantités très importantes de données multi sources dans le domaine militaire [RIS 04] et reste d'actualité dans ce domaine. Ainsi, elle est considérée comme une étape cruciale dans la conception des réseaux de capteurs sans fil parce qu'elle peut être utilisée pour étendre la durée de vie d'un réseau et peut susciter un intérêt certain dans la communauté scientifique [BLO 96]. Elle possède de nombreux avantages :

- utiliser la redondance des informations.
- Utiliser la complémentarité des informations disponibles.
- Accéder à une information plus fiable.
- Améliorer la prise de décision.

2.5 Domaine d'application de la fusion

La fusion de données a d'abord visé à améliorer la qualité des réponses aux problèmes posée par les militaires. Ainsi, des méthodes de fusion ont été adaptées et développées pour des applications en traitement du signal. En effet, il s'agit ici d'améliorer la connaissance du monde observée pour le décrire du mieux possible telle qu'il est.

Les données à fusionner peuvent être nombreuses et issues de sources hétérogènes (capteurs, bases de données, expertises [DAZ01]. Les raisons de la fusion se justifient selon les applications, et elles sont nombreuses. La fusion s'applique en imagerie satellitaire et aérienne, imagerie médicale, radar, robotique, intelligence artificielle [REY94] imagerie pour des applications aérospatiales, la prévision métrologique, des applications de reconnaissance (détection, identification), le contrôle de l'environnement d'une serre agricole et c'est surtout dans ce cadre que nous nous plaçons.

2.6 Classification de la fusion d'information [LAL12]

La fusion d'information peut être classée en fonction de plusieurs aspects .la relation entre les données d'entrée peut être employée pour isoler la fusion de l'information (par exemple, coopératives, redondantes, et données complémentaires) dans des classes.

En outre, le niveau d'abstraction des données manipulées pendant le processus de fusion (mesure, signal, fonctionnalité, décision) peut être employé pour distinguer les processus de fusion. Une autre classification commune consiste en la fabrication explicite du niveau d'abstraction de l'entrée et de la sortie d'un processus de fusion. Ces classifications communes de fusion d'information sont explorées dans la figure suivante :

2.6.1 Classification basée sur la relation entre les sources

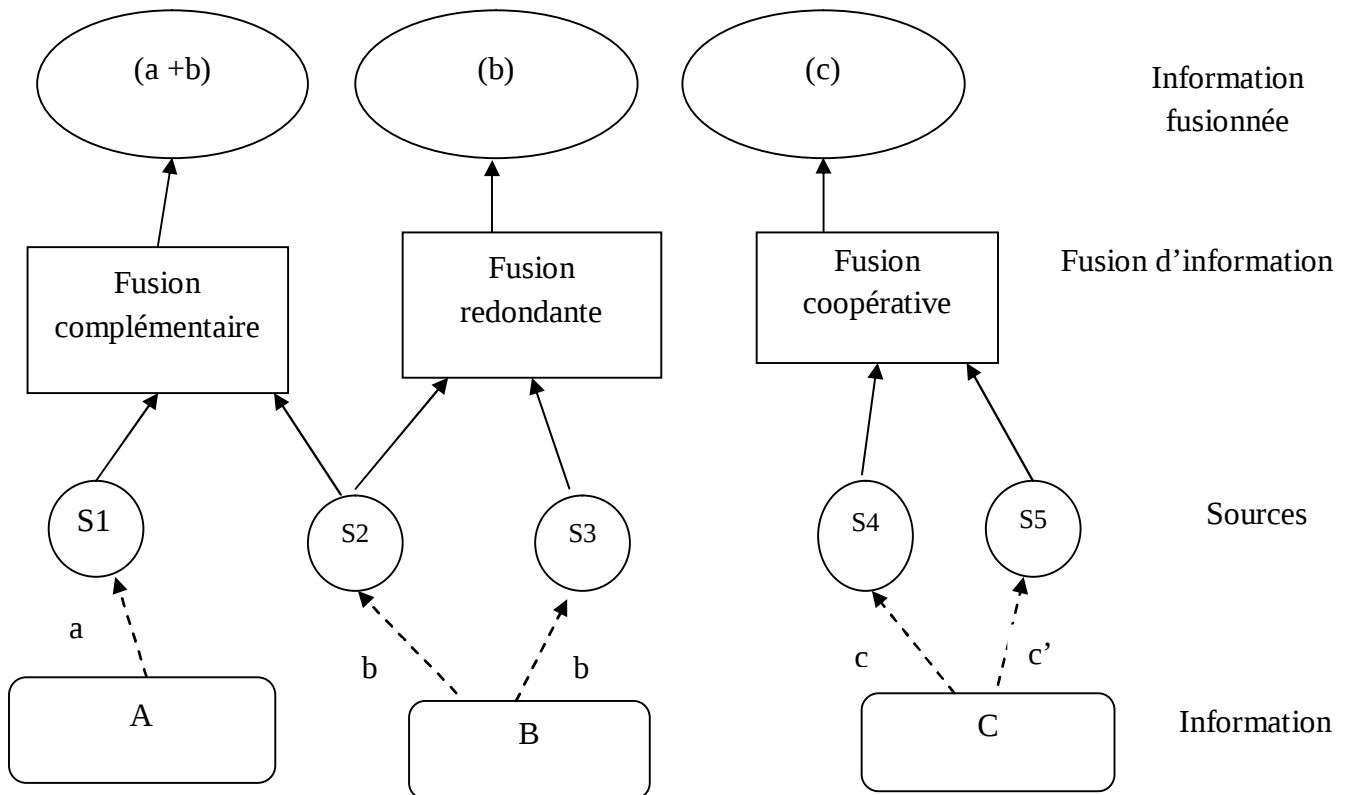


Figure 2.6 Les types de fusion de l'information basés sur la relation entre les sources.

Selon la relation entre les sources, la fusion de l'information peut être classifiée en tant que complémentaire, redondante, ou coopérative [DWH08]:

- **Complémentaire :** Quand l'information fournie par les sources représente différentes parties d'une plus large scène, la fusion de l'information peut être appliquée pour obtenir une information qui est plus complète. Sur la figure 2.6, les sources S1 et S2 fournissent les différentes informations, 'a' et 'b', respectivement, qui sont fusionnées pour réaliser une plus large information, dénotée par $(a+b)$, composée de morceaux non redondants 'a' et 'b' qui se rapportent à différentes parties de l'environnement (par exemple, la température des côtés ouest et est de la région surveillée). La fusion complémentaire recherche la perfection en composant la nouvelle information de différents morceaux.
- **La redondance:** Si deux ou plusieurs sources indépendantes offrent la même pièce d'information, ces pièces peuvent être fusionnées pour accroître la confiance associée. Les sources S2 et S3 dans la figure 2.6 fournissent la même information 'b' qui est fusionnée pour obtenir une information plus précise (b) .

La fusion de redondance pourrait être employée pour augmenter la fiabilité, l'exactitude, et la confidentialité d'information. Dans les WSNs, la fusion de redondance peut fournir des informations de haute qualité et empêcher les nœuds de capteur de transmettre l'information redondante.

- **Coopération:** Deux sources indépendantes sont coopératives quand l'information à fournir par elle est fusionnée dans la nouvelle information (habituellement plus complexe que les données originales). Les sources S4 et S5, sur la figure 2.6, fournissent l'information différente, c et c' , qui sont fusionnés dans (c) , que meilleur décrit la scène comparée à c et c' individuellement.

2.6.2 Classification basée sur des niveaux d'abstraction

La fusion d'information peut s'effectuer par plusieurs niveaux d'abstraction, Luo et al emploient quatre niveaux d'abstraction pour classifier la fusion de l'information [LYS02] : signal, pixel, dispositif (caractéristique), symbole.

§ Fusion du niveau de signal traite les signaux simples ou multidimensionnels des capteurs. Elle peut être employée dans des applications en temps réel ou comme étape intermédiaire pour d'autres fusions.

§ La fusion au niveau de pixels fonctionne sur les images et peut être utilisée pour améliorer les tâches de traitement d'image.

§ La fusion de niveau de dispositif traite des dispositifs ou des attributs extraits des signaux ou des images, telles que la forme et la vitesse.

§ Dans la fusion de niveau de symbole, l'information est un symbole qui représente une décision, et elle est désignée également sous le nom du niveau de décision.

Typiquement, les fusions de dispositif et de symbole sont employées dans des tâches d'identification d'objet.

Inconvénients

- Une telle classification présente quelques inconvénients et elle n'est pas appropriée à toutes les applications de fusion de l'information. D'abord, les signaux et les images sont considérés comme des données brutes habituellement fournies par des capteurs, ainsi ils pourraient être inclus dans la même classe.
- En second lieu, les données brutes peuvent ne pas provenir seulement de senseurs, les systèmes de fusion d'informations pourraient également fusionner des données fournies par des bases de données ou par l'interaction humaine. Troisièmement, elle suggère qu'un processus de fusion ne puisse pas traiter tous les niveaux simultanément.

En fait, la fusion de l'information traite trois niveaux d'abstraction de données : **mesure**, **dispositif**, et **décision**. Ainsi, selon le niveau d'abstraction des données manipulées, la fusion de l'information peut être classifiée dans quatre catégories :

Fusion de Bas-Niveau : En outre désignée sous le nom de la fusion de niveau de signal (mesure). Les données brutes sont fournies comme entrées, combinées dans le nouveau morceau de données qui sont plus précises que les entrées d'individu.

Fusion de Niveau Milieu : Aussi connue comme fusion de niveau caractéristique/attribut. Ou ces attributs de l'entité (forme, texture, position) sont fusionnés pour obtenir une carte caractéristique qui peut être employée pour d'autres tâches telles que la détection d'un objet).

Fusion de Haut-Niveau : également connue en tant que fusion de niveau de décision ou symbole. Elle effectue l'association d'informations élaborées (numériques ou symboliques) qui peuvent être considérées comme des propositions de décision.

Fusion multi niveaux. Quand le processus de fusion entoure des données des différents niveaux d'abstraction, l'entrée et la sortie de la fusion peut être de n'importe quel niveau à multi niveaux (par exemple, une mesure est fusionnée avec une fonction pour fournir une décision).

Bien que les trois premiers niveaux de la fusion soient indiqués par Iyengar et al, ils n'ont pas indiqué la fusion multi niveaux. Typiquement, seulement les trois premières catégories de la fusion sont considérées, habituellement avec les termes pixel/mesure, dispositif, et fusion de décision. Cependant, une telle catégorisation ne prévoit pas la fusion d'information de différents niveaux d'abstraction en même temps.

2. 6.3 Classification basée sur l'entrée et la sortie

Dasarathy fournit une autre classification bien connue qui considère le niveau d'abstraction, dans lequel la fusion de l'information traitée est classée par catégorie basée sur le niveau d'abstraction de l'information d'entrée et de sortie. [DAZ 07] Dasarathy identifie cinq catégories :

- **Données d'entrée - Données de sortie (Data In-Data Out : DAI-DAO) :** Dans cette classe, la fusion de l'information traite des données brutes et le résultat est également des données brutes, probablement plus précises ou fiables.
- **Données d'entrée - Dispositif de sortie (Data In-Feature Out : DAI-FEO) :** La fusion de l'information emploie des données brutes provenant des sources pour extraire les caractéristiques ou les attributs qui décrivent une entité (objet, situation...).
- **Dispositif d'entrée - Dispositif de sortie (Feature In-Feature Out : FEI-FEO) :** La fusion de **FEI-FEO** travaille sur un ensemble de dispositifs à améliorer, ou extraire des nouveaux dispositifs.
- **Dispositif d'entrée - Décision de sortie (Feature In-Data Out : FEI-DEO) :** Dans cette classe, la fusion de l'information prend un ensemble de dispositifs d'une entité produisant une représentation symbolique ou une décision.
- **Décision d'entrée - Décision de sortie (Decision In-Decision Out : DEI-DEO) :** les décisions peuvent être fusionnées afin d'obtenir des nouvelles décisions ou mettre l'accent sur les précédentes.

Comparaison entre la classification basée sur des niveaux d'abstraction et la classification basée sur l'entrée et la sortie :

Comparant à la classification présentée précédemment, la classification basée sur l'entrée et la sortie peut être vue comme prolongeation de la classification basée sur des niveaux d'abstraction, mais avec une granularité plus fine, où

- Dai-dao correspond à la fusion de niveau bas,
- Fei-feo à la fusion de niveau moyen,
- Dei-deo à La fusion de niveau haut.
- Dai-feo et le Fei-deo sont inclus dans la fusion à multi niveaux.

2.7 Méthodes et algorithmes pour la fusion de données

Les méthodes pour modéliser les connaissances et les informations imparfaites et pour les combiner ont connu des développements théoriques importants et leurs champs d'applications se sont étendus. Ces méthodes peuvent être classifiées en se basant sur plusieurs critères, tels que le niveau d'abstraction de données, but, paramètres, type de données, et base mathématique. La classification présentée dans cette section est basée sur le but de la méthode. Selon ce critère, la fusion de l'information peut être exécutée avec les différents objectifs tels que l'inférence, évaluation, classification, agrégation.

2.7.1 Inférence

Des méthodes d'inférence sont souvent appliquées dans la fusion de décision. Dans ce cas une décision prise est basée sur la connaissance de la situation perçue. Ici, l'inférence se rapporte à la transition d'une proposition vraie probable à l'autre, dont la vérité est censée pour résulter le précédent. Des méthodes classiques d'inférence sont basées sur l'inférence bayésienne et la théorie de croyance de Dempster-Shafer.

1) Inférence bayésienne

Dans cette approche, les capteurs sont considérés comme un ensemble d'entités capables de fournir une décision à tout instant. Chaque capteur est alors vu comme un estimateur bayésien. Ainsi, les distributions de probabilités associées à chaque capteur sont combinées dans une seule fonction de distribution de probabilités jointes a posteriori, en utilisant la règle de Bayes

La vraisemblance de cette fonction est maximisée pour obtenir la fusion finale de l'ensemble des capteurs. On trouvera dans [XUA92] les détails mathématiques ainsi qu'une application à la reconnaissance de l'écriture. L'incertitude est représentée en termes de probabilités conditionnelles décrivant la croyance, et elle peut assumer des valeurs dans l'intervalle [0, 1], où 0 est incrédulité absolue et 1 est croyance absolue. L'inférence bayésienne [BAY03] est basée plutôt sur la règle du Bayes, qui déclare ceci :

$$\Pr(Y/X) = \frac{\Pr(X/Y) \times \Pr(Y)}{\Pr(X)} \quad (1)$$

Là où la probabilité postérieure $\Pr(Y/X)$ représente la croyance des hypothèses est donnée par Y par apport à l'information X . Cette probabilité est obtenue en multipliant $\Pr(Y)$, la probabilité antérieure de l'hypothèse Y , par $\Pr(X/Y)$, la probabilité de recevoir X , étant donné qu' Y est vrai ; $\Pr(X)$ peut-être traité comme constante de normalisation. Le problème principal concernant l'inférence bayésienne est que les probabilités $\Pr(X)$ et $\Pr(X/Y)$ doivent être estimés ou devinés à l'avance puisqu'ils sont inconnus dans le domaine des WSN, la cumulation de l'inférence bayésienne a été employée pour résoudre le problème de localisation.

2) Inférence de Dempster-Shafer

La théorie de Dempster-Shafer (DST) est un outil issu des probabilités permettant de manipuler de manière précise les notions d'incertitude et d'imprécision. Elle permet de modéliser la connaissance que l'on a sur l'état d'un système, mais aussi de modéliser rigoureusement notre manque de connaissance de cet état. Les travaux de Dempster en 1968 [DEM68] sur les probabilités supérieures et inférieures ont été repris en 1976 par Shafer [SHA76] qui a élaboré ce qui est connu comme la théorie de Dempster-Shafer qui est une théorie mathématique [DEM68] [SHA76] qui généralise la théorie bayésienne. Ainsi, elle fournit un formalisme qui peut être employé pour la représentation de la connaissance, les mises à jour de croyance, et la combinaison inachevée d'évidence.

Par cette méthode, on peut donc, modéliser le degré de croyance, notion « de croyance » qui peut se révéler particulièrement efficace lors de la combinaison de différents points de vue (figure 2.7).

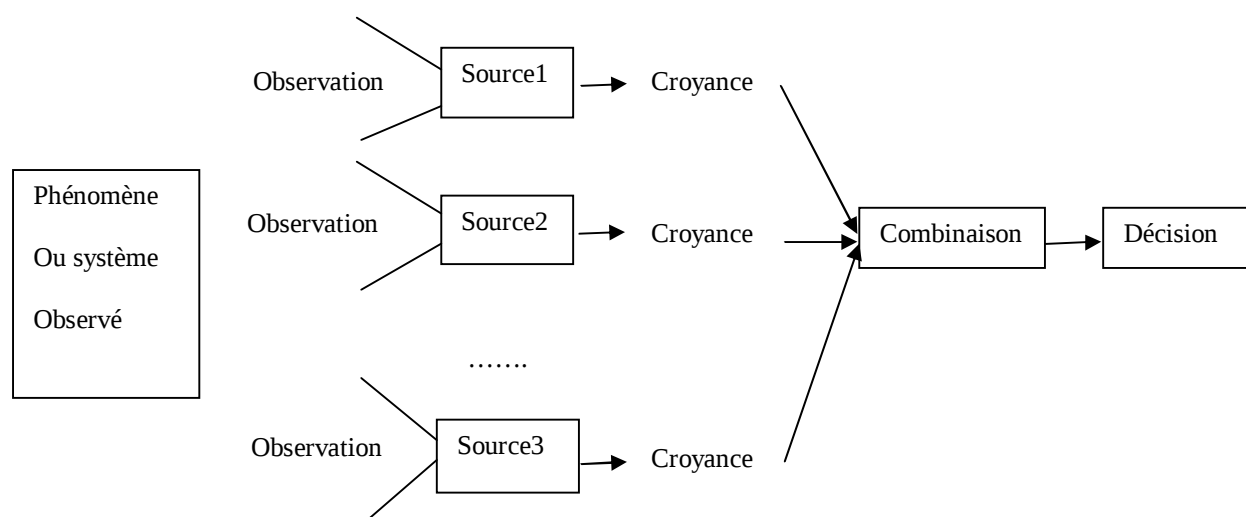


Figure 2.7 Fusion d'information

- **Modélisation des connaissances**

La DST nécessite la définition d'un cadre de discernement noté Θ , constitué de l'ensemble de toutes les hypothèses nécessaire à la description complète d'une situation présente. Généralement le cadre de discernement peut être défini comme suit : $\Theta = \{H_1, H_2, \dots, H_N\}$

Le cadre de raisonnement utilisé dans DST est le cadre de raisonnement de base notée 2^Θ , qui se définit comme étant l'ensemble de tous les sous-ensembles possibles composés à partir des hypothèses simples d'un cadre de discernement Θ qui permet l'union.

$$2^\Theta = \{\emptyset, H_1, H_2, \dots, H_1 \cup H_2, H_1 \cup H_2 \cup \dots \cup H_N, \Theta\}$$

Ainsi, on retrouve dans l'ensemble 2^Θ : l'ensemble vide ($\emptyset$), les hypothèses simples H_i et les hypothèses composées obtenues par les unions des hypothèses simples.

Fonction de masse

Dans la DST, la fonction de masse est définie : $m : 2^\Theta \rightarrow [0, 1]$, donc elle est définie pour chaque ensemble de A du cadre de raisonnement $2^\Theta(A)$, cela satisfait :

Pour exprimer la conviction globale en hypothèse H , Dempster-Shafer définit la fonction de croyance sur 2^Θ comme bel : $2^\Theta \rightarrow [0, 1]$:

Là où bel ($\emptyset$) = 0, et bel (Θ)=1.
bel : $2^\Theta \rightarrow [0, 1]$ comme :

Pour exprimer la probabilité de chaque hypothèse, la fonction pl est définie sur pl :

$2^\Theta \rightarrow [0, 1]$ comme :

$$pl(H) = 1 - dou(H) = \sum_{A \cap H = \emptyset} m(A) \quad (7)$$

Ou
$$pl(H) = \sum_{A \cap H \neq \emptyset} m(A), \forall H \subseteq \Theta, H \neq \emptyset \quad (8)$$

La probabilité $pl(H)$ déclare intuitivement que moins le doute dans l'hypothèse H , H est plus faisable. Dans ce contexte, l'intervalle de confiance $[bel(h), pl(h)]$ définit la croyance vraie de l'hypothèse H . $bel(H)$ est « la probabilité basse » et $Pl(H)$ est « la probabilité haute ».

- **La combinaison de Dempster Shafer (DST) :**

La règle de DST permet de combiner les informations issues de sources différents. car d'après Shafer les deux fonctions sont définies sur le même cadre de discernement alors ce cadre de discernement distingue l'interaction pertinente entre deux informations, de ce fait, les informations doivent être définies sur un même cadre de discernement de façon que l'on puisse en déduire leur somme orthogonale suivant la règle de combinaison de Dempster. Cette somme est toujours une fonction de croyance et prend en compte l'influence de toutes les autres. Ainsi, si nous disposons de plusieurs sources d'information et de fonctions d'allocation de masse, le problème est de combiner les informations.

Pour combiner les effets de deux m_1 et de m_2 , la théorie de Dempster-Shafer définit une règle de combinaison $m(H)$, qui est donné par :

$$m(H) = \frac{1}{1-K} \sum_{A \cap B = H} m_1(A) \cdot m_2(B) \quad \forall H \subseteq \Omega, \text{ et } H \neq \emptyset \quad (9)$$

Le dénominateur $1 - [K = \sum_{X \cap Y = \emptyset} m_1(X)m_2(Y)]$ correspond à une constante de normalisation et doit être non nul. Le facteur K est appelé le degré de conflit entre les sources d'évidence et doit être inférieur à 1. Lorsque ce coefficient est égal à 1 les sources sont en conflit total et ne peuvent être fusionnées. A l'inverse, lorsqu'il est égal à **zéro** les sources sont en accord parfait.

La règle de Dempster présente des propriétés intéressantes, telles que, la commutativité et l'associativité, ce qui permet de combiner plusieurs sources de données avec facilité et dans n'importe quel ordre.

- **Notion de conflit dans la DST**

La mesure de conflit est calculée par l'équation (9) n'est pas une mesure absolue, mais dépend de la modélisation effectuée, en particulier de la répartition des masses sur les différents éléments focaux du cadre de discernement. Le conflit entre sources peut avoir deux origines : soit les sources ne sont pas fiables, c'est-à-dire qu'elles donnent des informations différentes (redondantes, complémentaires ou contradictoires) sur le même phénomène, soit les sources acquièrent des informations sur des phénomènes différents.

Dans le premier cas, il est intéressant de combiner les sources pour réduire l'incertitude et l'imprécision liées aux données issues de chaque source. Par contre, dans le deuxième cas, la combinaison n'a pas de sens [Bloc, 2003]. Cependant, lorsque les sources d'évidence à combiner sont très conflictuelles, ce qui signifie que le facteur K est très proche de 1, la combinaison entre ces sources d'information est impossible, d'où le recours à plusieurs solutions pour la gestion du conflit, parmi celles-ci, nous citons :

1. le modèle transférable des croyances [Smet, 1990] qui affecte une masse non nulle à l'ensemble vide, lorsqu'elle s'agit d'une hypothèse du monde ouvert, ce qui peut représenter une solution dans l'ensemble Θ .
2. la théorie du raisonnement plausible et paradoxal de Dezert-Smarandache [DEZ, 2002], [Smar, 2004] qui permet l'intégration dans l'ensemble de discernement, le paradoxe qui existe entre les sources indépendamment du conflit. La théorie de Dempster-Shafer est plus flexible que l'inférence bayésienne, car elle permet à chaque source de contribuer l'information avec différents niveaux de détail.

En outre, dans l'inférence de Dempster-Shafer nous n'avons pas besoin d'assigner des probabilités a priori aux propositions inconnues. Au lieu de cela, des probabilités sont assignées seulement quand l'information de soutien est disponible.

- **Règle de décision**

Plusieurs règles de décision ont été définies. Le plus souvent, la décision repose sur le maximum de la croyance ou de la plausibilité. Plus généralement, la fonction de décision δ pour une forme entrante X est donnée par :

$$\delta(X) = H_n$$

ou $H_n = \arg [\max \gamma (H_i)] ; H_i \in \Theta, \quad (10)$, et $\gamma(.)$ est la fonction de crédibilité ou plausibilité.

En effet, à travers les fonctions de croyance qui sont des outils de mesure de probabilité subjective, on peut évaluer le degré de vérité d'une affirmation d'un avis d'expert. Avec l'introduction des masses d'évidence, la règle de combinaison permet de traiter l'information au point d'aboutir à sa fiabilité. Ce qui aide grandement dans la prise de décision.

Le choix entre l'inférence bayésienne et la théorie d'évidence n'est pas une tâche insignifiante parce que, entre autres, il y a une différence entre l'exactitude de Dempster-Shafer et la flexibilité bayésienne.

3) Logique floue

La logique floue [BAN01] [LEE90] est capable de traiter le raisonnement approximatif à dessiner des conclusions des lieux imprécis, car elle généralise la probabilité. Un système basé sur la logique floue est en général composé de quatre étapes (Medjahed, 2010): fuzzification, inférence, composition et defuzzification.

Chaque entrée quantitative est fuzzyfiée (passe du domaine réel au domaine du flou) par la fonction d'appartenance. Les règles brouillées d'un système d'inférence produisent les sorties brouillées ce qui, à leur tour, passent à l'étape d'inférence, ou d'implication, permet d'illustrer un raisonnement humain ou une expertise exprimée sous forme de règles. Puis à l'étape de composition de règle ou plusieurs règles peuvent être activées simultanément (en parallèle) et préconiser des actions avec différents degrés de validité. Une règle est activée dès qu'elle a une prémisse ayant une valeur de

vérité non nulle. L'ensemble flou global de sorties est construit donc par agrégation des ensembles flous obtenus pour chacune des règles concernant cette sortie.

Enfin, ils sont defuzzyfiés par un ensemble de règles de sortie. Ces caractéristiques sont transformées en variables linguistiques et une règle est obtenue. La technique améliore le procédé aléatoire.

4) Réseaux de neurones

Des réseaux neurologiques ont été lancés au début des années 60 [ROS09] [WAH60], ils représentent une alternative aux théories bayésienne et de Dempster-Shafer, étant employés par des tâches de classification et d'identification dans le domaine de fusion de l'information. Des réseaux neurologiques ont été appliqués à la fusion de l'information principalement pour la reconnaissance automatique de cible (Automatic target recognition (ATR)) à l'aide des capteurs complémentaires et multiples. La raison est que les réseaux neurologiques fournissent fortement le moyen parallèle du rendement du traitement, ainsi de la robustesse face à différents problèmes comme le bruit. Des réseaux neurologiques pour la fusion de l'information peuvent également être trouvés dans d'autres applications sans compter que l'ATR.

5) Raisonnement D'Abduction

L'abduction, ou l'inférence pour une meilleure explication [PER05] est une méthode de raisonnement dans laquelle nous choisissons l'hypothèse qui, si vraie, expliquerait mieux une évidence observée. En d'autres termes, une fois qu'on observe un fait, l'abduction dérive l'explication la plus susceptible pour ce fait. Ainsi, donné une règle comme $a \rightarrow b$ (a nécessite b), l'abduction et la déduction diffèrent dans la direction dans laquelle la règle est employée pour l'inférence. Dans la déduction, une fois qu'on observe le fait a, nous dérivons b par suite de a, tandis que dans l'abduction, une fois qu'on observe la conséquence b, nous dérivons a comme explication de b. Dans le contexte du raisonnement probabiliste, l'inférence abductive correspond à la conclusion de l'état maximum de probabilité a posteriori des variables du système, étant donné quelques variables observées. Cependant, l'abduction est réellement un raisonnement modèle plutôt qu'une méthode de fusion de l'information.

6) Fusion sémantique de l'information

La fusion sémantique de l'information est essentielle dans le processus d'inférence du réseau dans lequel des données fournies par les capteurs sont traitées de sorte que les nœuds échangent seulement les interprétations sémantiques résultantes. L'abstraction sémantique permet au WSN d'optimiser son utilisation des ressources lors de la collecte, le stockage et le traitement des données . [FRP02] [FRD05] [WLZ06].

La fusion de l'information comporte habituellement deux phases : construction de base de connaissance et assortiment de modèles (inférence). La première phase (habituellement off ligne) agrège la plupart des connaissances appropriées d'abstractions en une information sémantique, qui est alors employée dans la deuxième phase (en ligne), une phase d'assortiment du modèle, pour fusionner des attributs appropriés et fournissant une interprétation sémantique des données de capteur.

2.7.2 Estimation

Plusieurs méthodes de fusion de données ont été développées pour la modélisation d'un nombre maximum de données en tenant compte de leurs natures très diversifiées, des faiblesses de certaines et des points forts d'autres. Le Choix de l'une de ces méthodes s'effectue généralement selon la nature des informations fournies par les sources et le niveau de fusion.

Dans cette section, nous présentons les méthodes d'évaluation connue en tant que : Maximum de vraisemblance, maximum a posteriori, filtre moyen des moindres carrés et mobile, filtre de Karman, et filtre de particules.

1) Maximum de vraisemblance (ML : Maximum Likelihood)

Les méthodes de l'Estimation basées sur Probabilité sont convenables quand l'existence de l'état estimée n'est pas le résultat d'une variable aléatoire.[BDS02]

Dans le contexte de la fusion de l'information, étant donné x , l'état estimé de x et $z = (z(1) \dots, z(k))$, z étant une séquence d'observations k de x , le $\lambda(x)$ de la fonction de probabilité est défini comme fonction de densité de probabilité (probability density function pdf) qui donne la vraie valeur de l'état X :

$$\lambda(x) = p(z | x).$$

Noter que la fonction de probabilité n'est plus une fonction de densité de probabilité (pdf). L'estimateur de maximum de vraisemblance (MLE) recherche la valeur de x qui maximise la fonction de probabilité.

$$\hat{x}(k) = \arg \max_x p(z/x) \quad (11)$$

Cela peut être obtenu à partir des modèles empiriques ou analytiques de capteur. Cette méthode a été prolongée pour soutenir des mesures fournies et opportunes : mesures prises aux différentes étapes du temps qui se produisent d'une manière asynchrone dans le réseau. D'autres réalisations distribuées de MLEs pour WSN incluent l'algorithme décentralisé de la maximisation d'espérance et l'estimateur local de maximum de vraisemblance qui éliminent la condition de partager toutes les données.

Le MLE est utilisé communément pour résoudre des problèmes de la découverte de l'emplacement. Dans ce contexte, la méthode est souvent employée pour obtenir les évaluations précises de distance (ou direction, angle) qui est employée pour calculer l'endroit des nœuds ou sources (cibles).

2) Maximum a posteriori (MAP)

Cette méthode est basée sur la théorie bayésienne ; donc elle est employée quand le paramètre X à découvrir est le résultat d'une variable aléatoire avec le $p(x)$ connu de pdf. L'ordre de mesure est caractérisé par le modèle de capteur (pdf conditionnel de l'ordre de mesure). Dans le contexte de la fusion de l'information, étant donné x l'état estimé, et $z = (z(1) \dots, z(k))$, un ordre des observations

de k de x , l'estimateur de maximum a posteriori recherche la valeur de x qui maximise la fonction de distribution postérieure.

$$\hat{x}(k) = \arg \max_x p(x/z) \quad (12)$$

Les deux méthodes, maximum de vraisemblance et maximum a posteriori, essayent de trouver la valeur la plus susceptible pour l'état X . cependant, la première méthode suppose que x est un point inconnu fixe de l'espace de paramètre, tandis que la dernière prise X comme résultats d'une variable aléatoire avec le pdf antérieur connu. Ces deux méthodes sont équivalentes quand le pdf antérieur de x n'est pas instructif. [BDS02] [SBR02].

3) Méthodes des moindres carrés

Les techniques dites des moindres carrés regroupent en particulier des modèles tels que les filtres de Kalman ou encore les méthodes d'optimisation et de régulation. Ils trouvent de très nombreuses applications, en particulier dans le domaine du contrôle de processus dynamique, mais surtout dans le domaine de la poursuite de cibles en mouvement. Cette classe comporte des méthodes d'évaluation basées sur des moindres carrés. Qui est une technique mathématique d'optimisation qui recherche une fonction sur un ensemble de mesures d'entrée. [BDS02] [RAN04].

Ceci est réalisé en réduisant au minimum la somme des erreurs carrée entre les points produits par la fonction et les mesures d'entrée. Ainsi, elle convient quand le paramètre à estimer est considéré fixe. Contrairement à la probabilité de maximum a posteriori, cette méthode n'assume aucune probabilité antérieure. Ici, les mesures sont manipulées comme fonction déterministe de l'état, comme :

$$z(i) = h(i, x) + w(i), \quad (13)$$

Là où h représente le modèle de capteur et le W un ordre de bruit, pour un ordre d'observations de $1 \leq i \leq k$. La méthode des moindres carrés recherche la valeur de x qui réduit au minimum la somme des erreurs carrées entre les observations réelles et prévues :

$$\hat{x}(k) = \arg \min_x \quad (14)$$

Les méthodes de maximum de vraisemblance et les moindres carrés sont équivalents quand le $w(i)$ de bruit est une séquence des résultats indépendante des variables aléatoires identiquement distribuées avec un symétrique zéro-signifie pdf.

Cette technique vise à construire les cartes spatiales décrivant des propriétés du gisement de capteur et à guider des nœuds mobiles dans la construction de telles cartes.

4) Filtre Moyen et Mobile

Le filtre moyen et mobile est largement adopté dans le traitement de signale les solutions Digital Signal Processor (DSP) parce qu'il est simple à comprendre et utiliser [SWI09] en outre, ce filtre est optimal pour réduire le bruit blanc aléatoire tout en maintenant une réponse d'étape pointue. C'est la raison qui fait de filtre moyen et mobile un filtre principal pour traiter les signaux codés

Dans le domaine du temps. Comme son nom l'indique, des calculs de ce filtre, la moyenne arithmétique d'un certain nombre de mesures d'entrée produit chaque point du signal de sortie. Etant Donné une entrée de signal numérique $z = (z(1), z(2) \dots)$, le signal vrai $X = (\hat{x}(1), \hat{x}(2) \dots)$ est estimés par :

$$\hat{x}(k) = \frac{1}{M} \sum_{i=0}^{M-1} z(k-i) \quad (15)$$

Pour chaque $k \geq M$, où M est la fenêtre du filtre, le nombre d'observations d'entrée est fusionné. Observer que M est également le nombre d'étapes que le filtre prend pour détecter au niveau de signal. Plus la valeur de M est réduite, plus le bord d'étape est pointu. Quand un signal d'étape au bruit blanc aléatoire le filtre, moyen et mobile parviennent à réduire le désaccord de bruit par un facteur de $\sqrt{M}$. ainsi, M devrait être la plus petite valeur dans laquelle cette réduction de bruit répond aux exigences d'application.

Généralement des filtres moyens et mobiles sont également utilisés dans WSN, en particulier le filtre à moyenne mobile pondérée exponentielle (Exponentially Weighted Moving Average) (EWMA).

Les applications ont utilisé des filtres d'EWMA pour obtenir des évaluations de raffinement à partir des capteurs pour des tâches de détection et de classification et pour estimer des distances pour des algorithmes de localisation.

5) Filtre de Kalman

Le filtre de Kalman a été proposé en 1960 qu' est un outil mathématique puissant et particulièrement utile dans le monde de l'embarqué, ainsi il est considéré comme une méthode très populaire de fusion [KAL60]. IL est basé sur un modèle d'état linéaire qui met en équation l'évolution du signal utile, et sa relation au signal mesuré ainsi que sur un critère d'optimisation qui exploite toutes les observations, de l'instant initial à l'instant courant. Le filtre de Kalman est un estimateur récursif. Cela signifie que pour estimer l'état courant, seul l'estimation de l'état précédent et les mesures actuelles sont nécessaires. D'où l'historique des observations et des estimations n'est ainsi pas requis.

En 1993, Crowley and Demazeau propose de diviser le filtre de Kalman en 5 étapes :

1. **Représentation d'état** : un modèle dynamique de l'environnement est une liste de primitives décrivant une partie de l'environnement à l'instant k . chaque primitive représente une estimation de l'état local de l'environnement comme une conjonction de propriétés estimées, L'état actuel de l'environnement est estimé par un processus d'observation qui projette l'environnement sur un vecteur d'observations en prenant en compte le bruit qui peut perturber le processus d'observation. et doivent être accompagnés d'une estimation de leur incertitude. Ainsi, des observations successives feront varier le facteur de confiance au cours du temps.

2. **Prédiction** : cette étape permet de projeter le vecteur estimé sur une valeur prédite et aussi de projeter l'incertitude estimée sur l'instant k .
3. **Correspondance entre l'observation et la prédiction** : cette étape suppose une continuité temporelle et calcule une distance de **Mahalanobis** entre les propriétés prédites et observées. Un seuil de rejet permet de séparer les bonnes occurrences des fausses alarmes.
4. **Mise à jour** : quand on a vérifié qu'une observation correspond à la prédiction, le filtre de Kalman procède à une estimation de l'ensemble des propriétés et leurs dérivées à partir de l'association de l'ensemble de propriétés prédites et observées. Le point intéressant en fusion de données est que le filtre de Kalman fournit aussi une estimation de la précision associée aux éléments de ces ensembles.
5. **Élimination de primitives incertaines et ajout de nouvelles primitives au modèle** : cette étape utilise les facteurs de confiance précédemment dérivés.

Plusieurs voies sont possibles pour établir les équations du filtre de Kalman suivant le critère qu'on cherche à minimiser. Il est possible de chercher :

- L'estimateur à variance minimale.
- L'estimateur qui maximise la densité *a posteriori* de $x(k)$ sachant z^k .
- L'estimateur qui maximise la vraisemblance de $x(k)$.
- La solution linéaire réursive au problème des moindres carrés pondérés.

Sous les hypothèses gaussiennes et pour un système linéaire, il est possible de démontrer que toutes ces approches conduisent aux mêmes équations. Ce sont les équations du filtrage optimal de Kalman. Ce filtre est le meilleur filtre récursif à variance minimale et non biaisée dans la classe des filtres linéaires, et l'une des méthodes utilisées en environnement dynamique [Maybeck, 1990] quand il est nécessaire de fusionner des données redondantes de bas niveau au cours du temps.

Dans le cas où le système peut être décrit par un modèle linéaire et que l'erreur associée autant au système qu'aux capteurs peut être modélisée par un bruit blanc Gaussien, le filtre de Kalman fournira d'unique estimations statistiquement optimales pour les données fusionnées. [Luo89].

Il n'est cependant plus optimal pour les systèmes non linéaires. En pratique, des nombreuses extensions de ce filtre ont été proposées tels que les filtres Extended Kalman (EKF) et le filtre d'Unscented Kalman (UKF) ces filtres sont une simplification du filtre de Kalman destiné à alléger les calculs. Ainsi pour traiter la dynamique non linéaire et les modèles non linéaires de mesure. Selon Jazwinski, la variation appelée le filtre Extended Kalman (EKF) est une approche populaire pour mettre en application les filtres non linéaires récursifs. Plus récemment, le filtre d'Unscented Kalman (UKF) a gagné l'attention puisqu'il n'a pas une étape de linéarisation et les erreurs associées. L'UKF emploie une technique d'échantillonnage déterministe pour choisir un ensemble minimal de points témoin autour du moyen. Ces points sont propagés par les fonctions non linéaires ainsi la covariance de l'évaluation est récupérée. Le filtre standard de Kalman peut être encore prolongé pour améliorer son exécution ou pour fournir des réalisations décentralisées.

Pendant longtemps, des filtres de Kalman ont été utilisés dans les algorithmes pour la localisation et le routage de source, particulièrement en robotique. Les réseaux de capteur sans fil ont hérité de cette tendance d'application et, l'amélioration visant d'exactitude, le filtre de Kalman a été appliqué pour raffiner des évaluations d'endroit, de distance et des sources de voie différentes.

Un protocole MAC peut également tirer bénéfice de l'applicabilité d'un filtre de Kalman pour prévoir, par exemple, de sa taille de structure.

6) Filtre de Particules

La technique de filtrage particulaire fait appel à la méthode de Monte-Carlo ; les filtres de particules sont des réalisations récursives du traitement des signaux statistique connu sous le nom des méthodes séquentielles de Monte-Carlo (SMC). [GRS06]. Bien que le filtre de Kalman soit une approche classique pour l'évaluation d'état, les filtres de particules représentent une alternative pour des applications avec le bruit, particulièrement quand la puissance informatique est plutôt bonne marché et taux de prélèvement sont lents. [NGG02].

Dans un procédé de filtration, les particules multiples (échantillons) de la même chose énoncent que x variables sont employées, et chaque particule a un poids associé qui indique la qualité de particules. Puis, l'évaluation est le résultat de la somme pesée de toutes les particules. L'algorithme de filtre de particules a deux phases : **prévision et mise à jour**. Dans la phase de prévision, chaque particule est modifiée selon le modèle existant, y compris l'addition du bruit aléatoire simule l'effet du bruit. Puis, dans la phase de mise à jour, le poids de chaque particule à lieu réévalué basé sur la dernière information de capteur disponible, de sorte qu'on élimine des particules avec de petits poids.

Le filtrage particulaire connaît actuellement un fort développement dans de nombreux domaines dont les sciences de l'ingénieur et les sciences et techniques de l'information et de la communication tels que la localisation, la robotique, le traitement du signal audio ou encore la communication numérique. Il s'agit d'une méthode dans laquelle des particules explorent l'espace d'état, ces particules interagissent sous l'effet d'un mécanisme de sélection qui concentre automatiquement les particules dans les régions d'intérêt de l'espace d'état. Chaque particule est munie d'un poids qui représente la probabilité que l'état qu'elle décrit soit celui du processus à estimer.

2. 8 Architectures et modèles

Dans la littérature, plusieurs architectures et modèles pour servir de directives pour concevoir des systèmes de fusion de l'information. Cette section présente l'évolution des modèles et des architectures pour de tels systèmes. Ces modèles sont utiles pour guider les spécifications, la proposition, et l'utilisation de la fusion de l'information dans WSN. Certains de ces modèles, tels que le JDL fournissent une vue systémique de fusion de l'information, tandis que d'autres, tel que le cycle intelligent et la boucle d'avertissement de Boyd, fournissent une vue de tâche de fusion de l'information.

2.8.1 Modèle de JDL et ses dérivés

Le premier mécanisme pour maîtriser la combinatoire liée à la complexité grandissante est de réaliser une découpe fonctionnelle [SBW09]. Un groupe de travail sous l'impulsion du Département de la défense Américain a alors proposé un modèle de fusion comportant initialement 3 niveaux fonctionnels et aujourd'hui globalement 6 ou 7 niveaux. Un modèle d'architecture fonctionnelle associe alors l'ensemble de ces niveaux. Un tel modèle dénommé JDL user modèle dérivé du modèle JDL original est présenté dans la figure 2.8. La dénomination JDL (Joint Directors of Laboratories Data Fusion Working Group) provient du fait que ce modèle est issu d'un groupe de travail associant les directeurs de laboratoire travaillant dans le domaine de la fusion.

Les niveaux sont les suivants

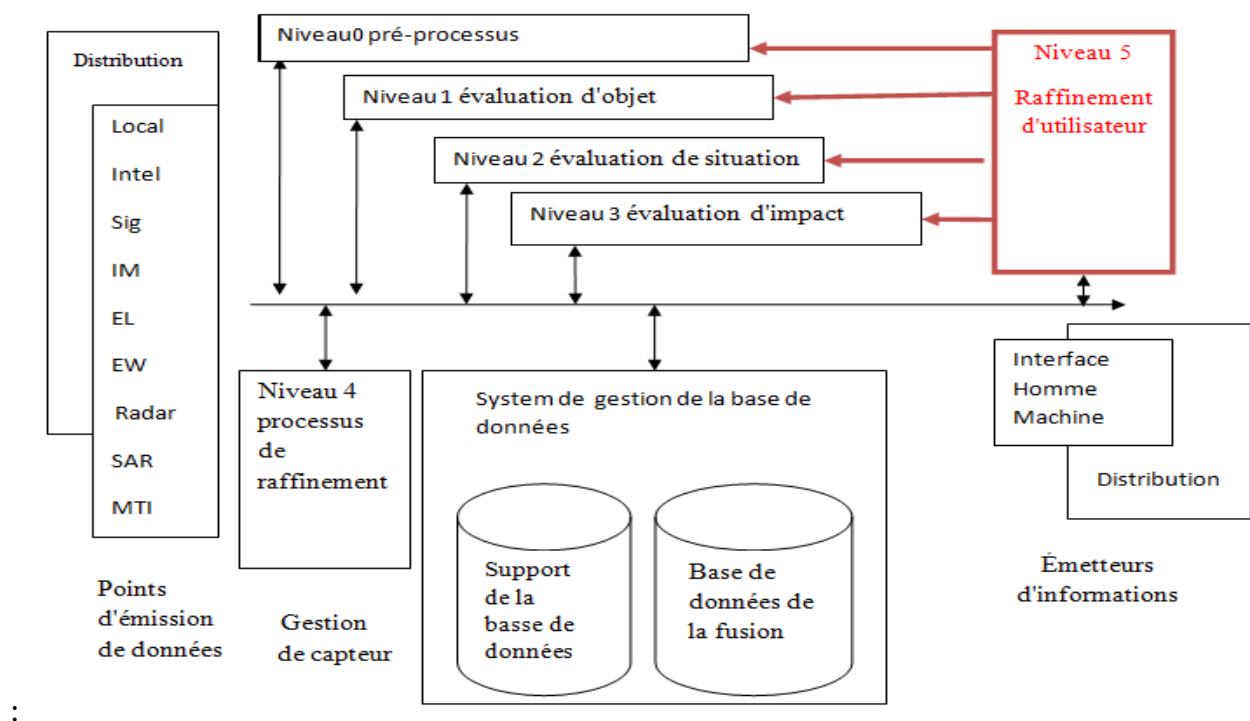


Figure 2.8 : Extensions de modèle de JDL

- Les entrées capteurs
- Niveau 0: Extraction de caractéristiques ou de prémisses
- Niveau 1: Définition de piste, pistage et fusion d'attributs. Fusion des prémisses pour aboutir à des objets
- Niveau 2: Raisonnement pour l'évaluation de la situation courante
- Niveau 3: Évaluation de la menace
- Niveau 4: Supervision et contrôle du processus de fusion
- Niveau 5: Raffinement introduit par l'utilisateur
- L'homme dans la boucle de décision
- Les bases de données

- Les niveaux 1, 2, 3 furent les trois premiers définis. Ils correspondent à la façon dont les opérationnels organisent leurs raisonnements. Il est à noter que les niveaux fonctionnels deux et trois sont très ambitieux et encore aujourd'hui quasi inaccessibles à un système automatique. L'essentiel des publications concerne le niveau un et le niveau 0, doit être défini pour prendre en compte et classer tous les modules de détection, décisions partielles, reconnaissance des formes en traitements d'images et détection de cibles. Il est important de garder en mémoire le concept centré humain des fonctions de chaque niveau, car il permet aux différentes communautés de capitaliser les investissements en vue d'automatiser certaines tâches en exhibant les difficultés pour automatiser ces tâches ou pour utiliser ces tâches automatisées. Ceci est particulièrement vrai concernant l'évaluation de la situation courante et encore plus pour l'évaluation des impacts possibles auxquels la situation peut aboutir.
- Le niveau 4 a été introduit plus tard et autorise des traitements successifs avec raffinement du contrôle des processus de fusion. Alors que les niveaux 0, 1, 2, 3 sont étiquetés comme des niveaux de fusion, le niveau 4 est plutôt considéré comme la gestion de ressources, et le niveau 5 comme une part de l'interface personne-machine.
- Ce niveau 5 ad hoc appelé « User Refinement » permet de décrire les adaptations de la façon que l'on trouve dans tous les systèmes opérationnels orientés vers l'utilisation efficace par un opérateur. En effet, en remplaçant l'application dans un contexte d'aide à la décision, il permet d'exhiber qu'elles sont les sorties de ce système. Il autorise alors une par métrisation évolutive des différents traitements présents dans les différents niveaux fonctionnels.

Le Modèle JDL ne donne aucun détail sur la façon, dont une sortie globale d'un mécanisme de fusion particulière peut-être générée et contrôlée. Il s'agit d'un schéma d'organisation fonctionnelle dans lequel les flux d'information entre niveaux ne sont pas décrits. Il en est de même des mécanismes de contrôle des flux gérant le parallélisme d'exécution de tâches à différents niveaux fonctionnels, la valeur ajoutée apportée lorsqu'un niveau communique avec un autre pouvant être contrebalancée par une complexité due à une combinatoire croissante et des délais temporels pour autoriser l'usage de boucle de contre réaction.

Une littérature abondante existe concernant les modifications et adaptations du modèle JDL pour le rendre plus expressif et donc plus opérationnel.

2.8.2 Modèle de Dasarathy

Dasarathy [DAZ 07] suggère d'accéder aux flots de données et de contrôle suivant 3 niveaux de fusion: les données; les prémisses et les décisions. Tous les flux ont un type comme en programmation orientée objet. Ce travail reste au niveau taxonomie, il montre la richesse des mécanismes de fusion qui peuvent être implantés dans une application. Sur la figure 2.9, un mécanisme donné est représenté par une flèche et un acronyme. Par exemple DAI-FEO désignant un mécanisme de fusion acceptant des données du niveau DATA en entrée et fournissant des prémisses en sortie.

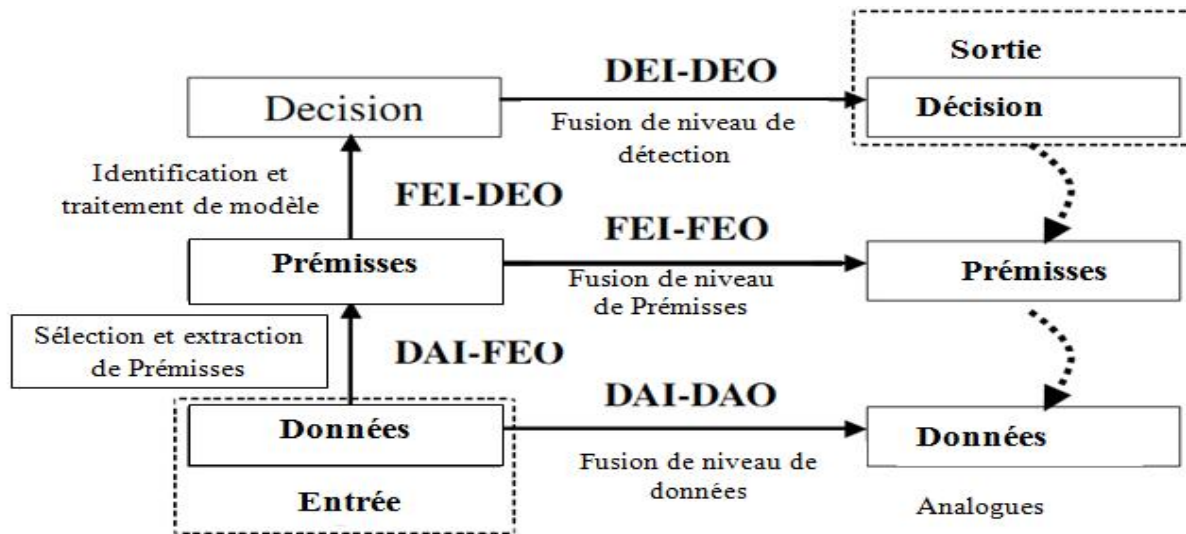


Figure 2.9 : Le modèle de Dasarathy.

Cette façon de voir est largement utilisée dans le domaine du traitement d'images et de la reconnaissance des formes. Un point important est que le type des flots est clairement identifié à partir de leur sémantique, ce qui rajoute une dimension essentielle par rapport au modèle JDL. Il est alors possible de faire apparaître un mécanisme de régulation qui contrôle les niveaux inférieurs à partir de décisions partielles des niveaux supérieurs tel qu'il est représenté par les flèches descendantes sur la figure 2.9.

2.8.3 OODA modèle (Architecture cyclique) [BOY07]

Les travaux d'Endsley ont clairement indiqué que la conscience d'une situation se base sur la perception des éléments constituant au sein de l'environnement constitué par un volume de temps et d'espace, la compréhension de leur signification et la projection de leur devenir dans un court terme. C'est dans ce contexte qu'un étage de fusion dénommé ORIENT a été défini par Boyd au sein d'une architecture cyclique constituée de flux unidirectionnels et dont les aspects contrôle se font au travers du monde réel par un bouclage avec un délai. Ce nouveau niveau a en charge de placer l'information dans son contexte afin d'améliorer soit la précision soit la coordination temporelle.

Cette façon de procéder met de nouveau en avant les flux circulant entre des niveaux fonctionnels. Le bouclage est réalisé au travers du monde réel ce qui amène une simplification notable au niveau de l'Operating System, mais ne conduit pas à des systèmes opérationnels dans la pratique. Le processus Orient joue un rôle particulier, car il permet d'introduire un contrôle opportuniste avant le niveau décision.

Une instanciation est proposée par Bedworth dans laquelle les fonctionnalités sont plus précisément décrites pour chaque niveau dans une application de traitement d'images, à savoir par exemple l'étage de décision comprend les tâches de prises de décisions à proprement parler, ainsi que des traitements contextuels.

2.8.4 Cycle d'intelligence

La communauté britannique d'intelligence(UK) décrit le processus d'intelligence comme cycle de quatre étapes, qui s'appelle Cycle d'Intelligence [SHC02]. Le cycle d'intelligence, représenté sur la figure2.10, décrit le processus de développement des informations brutes (capteur) en intelligence finie utilisée dans la prise de décision et l'action.

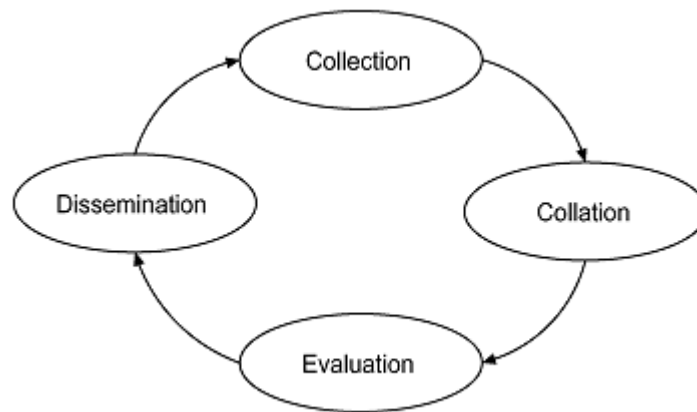


Figure 2.10 : Le Cycle D'Intelligence.

Les étapes (activités) du cycle d'intelligence sont :

Collection: L'information brute est rassemblée de l'environnement.

Collation: L'information rassemblée est analysée, comparée, et corrélée. L'information non pertinente et incertaine est jetée.

Évaluation: L'information assemblée est fusionnée et analysée.

Diffusion: Des résultats de fusion sont fournis aux utilisateurs qui utilisent l'information fusionnée pour produire des décisions et des actions en réponse à la situation détectée.

Tous les algorithmes de routage précédemment mentionnés peuvent être employés pour dépeindre le cycle d'intelligence.

Par rapport au modèle de JDL, la collection occupe le niveau 0 du modèle de JDL ; La collation incluse de niveau 1 ; L'évaluation comporte les niveaux 2 et 3 ; et la diffusion correspond au niveau 4 du modèle de JDL.

À la différence du modèle d'OODA, le cycle d'intelligence ne fait pas explicitement la planification (décider) et les phases d'exécution (Loi), qui sont vraisemblablement incluses dans les phases d'évaluation et de diffusion. Encore, ce modèle ne représente pas les tâches spécifiques d'un système de fusion de l'information.

2. 8.5 Modèles omnibus

À la différence du modèle de JDL [BED09], le modèle omnibus organise les étapes d'un système de fusion de l'information dans un ordre cyclique, juste comme la boucle d'OODA et le cycle d'intelligence. Cependant, elle fait explicitement les activités se rapportant à des tâches de fusion de l'information (voir la figure2.11). Le modèle omnibus doit être appliqué répétitivement pendant la phase de conception d'un système de fusion de l'information. Au commencement, il devrait être employé pour modéliser le cadre fournissant une perception globale du système. Après,

ce modèle peut être employé pour concevoir les tâches secondaires fournissant une compréhension du système.

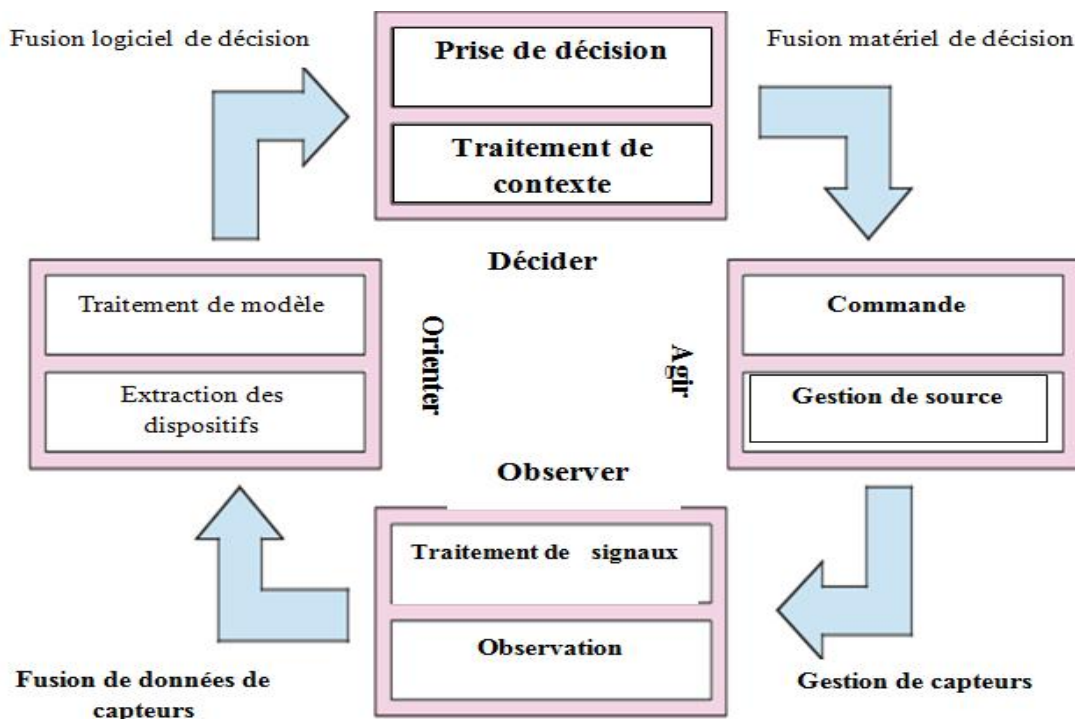


Figure 2.11 : Modèle d'omnibus.

À l'origine le modèle omnibus est proposé pour traiter l'information recueillie par les dispositifs de capteur. Quelques modifications peuvent être suggérées pour la rendre plus générale et appropriée à d'autres systèmes de fusion de l'information. D'abord, l'observation et le traitement des signaux peuvent être remplacés par le rassemblement de l'information et le prétraitement de l'information, respectivement. En second lieu, la fusion de données de capteur devrait être énoncée en tant que fusion de données brutes. Troisièmement, au lieu de la gestion de capteur nous devrions adopter la gestion de source. De cette façon, nous faisons l'approprié modèle omnibus aux systèmes d'information qui traitent n'importe quel genre de sources, y compris des capteurs.

2.9 Conclusion

Comme la fusion donnée est un domaine vaste, on a introduit dans ce chapitre un aperçu sur l'historique de la fusion dans Wsns, ainsi que la classification de la fusion donnée. Ensuite nous avons proposé un panorama des principales méthodes de fusion de données. Il s'agit des classiques méthodes probabilistes (en particulier de l'inférence bayésienne), mais aussi de méthodes non probabilistes (théorie des ensembles flous et des possibilités, théorie des fonctions de croyance), apparues plus récemment, mais qui connaissent un essor de plus en plus important. Et enfin on a vu les modèles et architectures utilisées pour la fusion des données des capteurs.

Pour bien expliquer la fusion de données dans Wsns, on choisit une des méthodes vue précédemment et on va l'appliquer dans le chapitre suivant.

3.1 Introduction

Pour compléter l'étude de la fusion de données vue dans le chapitre précédent, nous proposons dans ce chapitre la mise en pratique d'une des techniques de fusion de données qui est Dempster Shafer (DST). Cette méthode est appliquée aux données prélevées d'une serre agricole (température, humidité, rayonnement) dans le but de connaître le microclimat se trouvant dans la serre à un moment donné afin d'agir pour assurer un microclimat idéal à la progression des plantes.

3.2 Exemple d'application [ZHZ08]

La fusion de données est un moyen très efficace pour le contrôle de l'environnement d'une serre agricole. Les données issues de différents capteurs qui permettent de recueillir les paramètres d'environnement (température, humidité, rayonnement, etc.) a fait l'objet de plusieurs recherches. L'objectif de ces recherches est de trouver une approche moderne pour améliorer le contrôle du microclimat d'une serre agricole. Pour cela, différentes méthodes de fusion de données issues de différents capteurs ont été développées. L'application que nous avons entreprise dans le cadre de ce présent travail est l'adaptation de la Technique de Dempster-Shafer (DST) en vue d'optimiser les paramètres du climat dans des intervalles bien déterminés selon le type de la plante à cultiver. Pour ce faire, une modélisation qui consiste d'abord à définir les facteurs de changement à l'intérieur de la serre agricole est tout d'abord nécessaire. Des données numériques issues des capteurs pendant la période cultivatrice sont recueillies et une base de données est ainsi construite.

3.3 Serre agricole

Dans une serre agricole, il existe plusieurs paramètres qu'il y a lieu de maîtriser en fonction des plantes qui y sont cultivées. Cependant, il existe des périodes pendant lesquelles ces paramètres tels que la température, l'humidité, la luminosité, etc., à l'intérieur de la serre, deviennent dangereux pour la plante. La capacité de l'homme à avoir des jugements précis et rapides, dans ce cas, est limitée. C'est ainsi que beaucoup de systèmes de contrôle automatique et de régulation ont été introduits dans une serre agricole pour se substituer à l'intervention de l'homme en le libérant des contraintes astreignantes de surveillance du microclimat à l'intérieur de la serre.



Figure3.1 : la serre agricole.

Dans ce contexte nous proposons de fusionner les données capturées en tant d'humidité, de température et de rayonnement pour déduire le microclimat existant dans la serre.

3.4 Les données utilisées

Les données utilisées dans cette étude sont numériques et collectées par les capteurs durant la période cultivatrice d'olivier sous serre. Quatre grandeurs de chaque paramètre ont été prélevées par les capteurs. Ces prélèvements *P1*, *P2*, *P3* et *P4* vont nous servir d'hypothèses du cadre de discernement $\Omega = \{H1, H2, H3, H4\}$. Les grandeurs utilisées sont données dans le tableau suivant où les P_i correspondent aux H_i .

Prélèvement	Température Ambiante (c°)	Humidité en(%)	Rayonnement (lux)
P1	23	85	100
P2	24	95	130
P3	25	90	120
P4	26	100	170

Tableau 3.1: les quatre prélèvements d'un nœud capteur.

Ces prélèvements ou hypothèses seront utilisés pour le calcul des masses de données selon la Technique de Dempster-Shafer (DST) pour chaque hypothèse.

3.5 Méthodologie

On rappelle que, de manière générale et dans notre application, le processus de la fusion de données suit quatre étapes, à savoir, la modélisation, l'estimation, la combinaison et la décision. La modélisation utilisée est la DST (Dempster Shafer Theory). L'estimation qui définit les fonctions choisies dans l'étape de modélisation est basée sur la logique floue. La combinaison est effectuée en utilisant la DST et la décision sur le résultat de la combinaison est obtenue par le calcul de la plausibilité présentée au chapitre précédant, ceci est donc effectué en suivant les étapes suivantes:

- Ø Choix de la méthode de modélisation.
- Ø Identification des facteurs de mesures (température ambiante, humidité, rayonnement).
- Ø Calcul des masses.
- Ø fusion utilisant la DST
- Ø mesure de la plausibilité et prise de décision.

3.5.1 Facteurs de mesures utilisés

Les données utilisées ont été prélevées dans une serre agricole et présentées dans [BOU00]. Trois différents types de mesure ont été effectués. Il s'agit donc de la température ambiante, de l'humidité, et du rayonnement.

3.5.2 Calcul des masses

La modélisation des fonctions de masse est un problème crucial pour lequel il n'existe pas de méthode générale. En effet, on rappelle que, selon le type d'application, il existe différentes méthodes permettant d'élaborer les masses de croyances. La plus simple et la plus utilisée reste encore l'expertise humaine dans laquelle les coefficients sont établis manuellement. Dans notre application, les bornes des mesures tirées d'une fiche technique d'un olivier sous serre agricole sont les suivantes:

- ▼ Température ambiante : [22°, 24°].
- ▼ humidité ambiante : [90%, 100%].
- ▼ Luminosité : [100lux, 200lux]

Le calcul des masses de croyances respecte ces bornes inférieures et supérieures. Pour initialiser ces masses, nous avons utilisé l'approche floue, car c'est la meilleure façon de prendre en compte de l'imprécision des informations incomplètes et améliorer, ainsi, la distribution de masse affectée à chaque hypothèse. Ainsi, pour déterminer ces masses, nous avons calculé les degrés d'appartenance ou fonctions d'appartenance $\mu_{Hi}(x)$ des différents paramètres x de l'hypothèse H_i . Pour ce faire, nous avons associé à chaque valeur numérique du tableau 3.1 un terme linguistique qui lui convient conformément au tableau 3.2.

Capteur physique	Terme linguistique
Température	Chaud, tiède, froid
Hygrométrie	sec, confort, humide
Luminosité	Eclaire, confort, sombre

Tableau 3.2: Termes linguistiques utilisés.

La fonction d'appartenance $\mu_{Hi}(x) \in [0,1]$ détermine le degré d'appartenance $\mu_{Hi}(x)$ de la mesure x à un jeu flou H_i . La détermination des fonctions de masse à l'aide de cette approche permet d'attribuer des valeurs de masse pour chaque hypothèse à partir des degrés d'appartenance. Notons que dans notre cas, nous avons quatre hypothèses, à savoir :

- $\mu_{H1}(x)$, degré d'appartenance de x à un jeu flou H_1 .

- $\mu_{H2}(x)$, degré d'appartenance de x à un jeu flou $H2$.
- $\mu_{H3}(x)$, degré d'appartenance de x à un jeu flou $H3$.

La détermination des fonctions de masse se fait comme suit:

$$m^{(H1)} = \mu_{H1}(x),$$

$$m^{(H2)} = \mu_{H2}(x),$$

$$m^{(H3)} = \mu_{H3}(x),$$

Où $m^{(.)}$ est une fonction de masse non normaliser.

3.5.3 Fusion utilisant la DST

Pour la fusion des données des capteurs, nous avons utilisé la formule (9) du chapitre précédent, à savoir :

$$m(H) = \frac{1}{1-K} \sum_{A \cap B = H} m_1(A) \cdot m_2(B) \quad \forall H \subseteq \Omega, \text{ et } H \neq \emptyset \quad (9)$$

$$\text{ou } K = \sum_{A \cap B = \emptyset} m_1(A) \cdot m_2(B) \quad (*)$$

3.5.4 Mesure la plausibilité et prise de décision

Après la fusion des quatre sources d'informations, on sélectionne l'hypothèse la plus probable, en utilisant l'expression (8) du chapitre précédent, à savoir :

$$pl(H) = \sum_{A \cap H \neq \emptyset} m(A), \forall H \subseteq \Theta, H \neq \emptyset \quad (8)$$

Le maximum de plausibilité ou la décision est obtenu en utilisant l'expression (10) du chapitre précédent, soit:

$$d(X) = H_n$$

$$H_n = \arg \left[\max_{H_i \in \Omega} \gamma(H) \right] \quad (10)$$

Où $\gamma(.)$ est la fonction de plausibilité.

Dans notre application, le calcul de ces masses est montré dans le tableau 3.3.

3.5.5 Résultats et discussion

Les figures suivantes nous donnent respectivement le degré d'appartenance en fonction de la température ambiante (figure3.1), l'humidité (figure3.2) et le rayonnement (figure3.3), des quatre hypothèses en fonction des variables linguistiques définies au tableau3.2 précédant et selon l'expert.

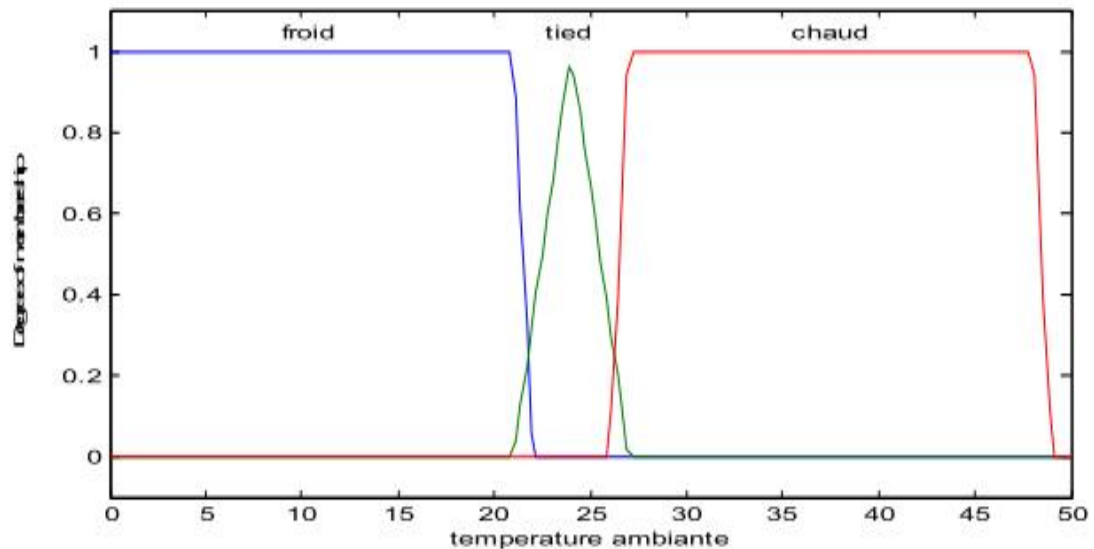


Figure 3.1 : Degré d'appartenance en fonction de la température ambiante.

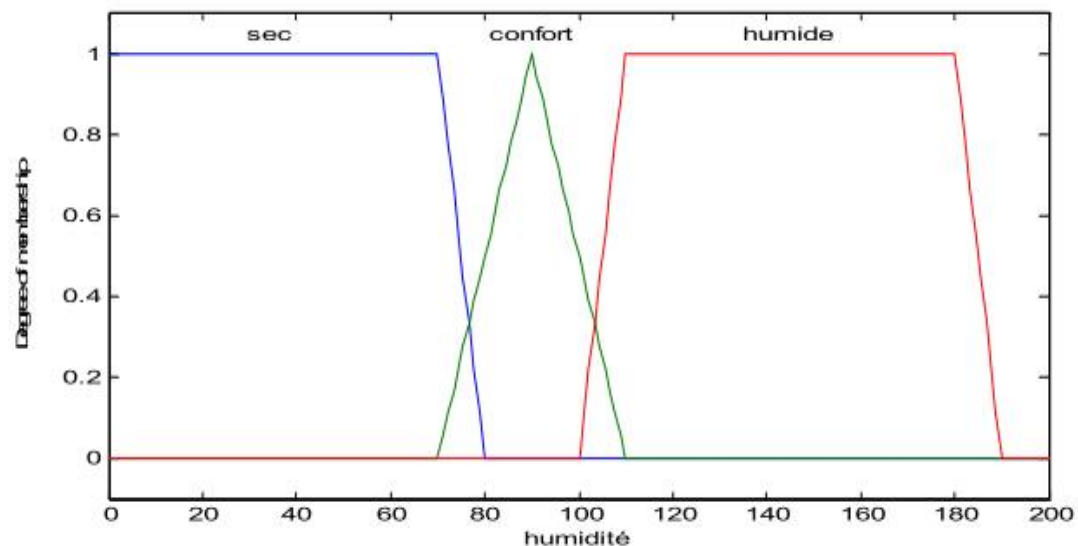


Figure 3.2 : Degré d'appartenance en fonction de l'humidité.

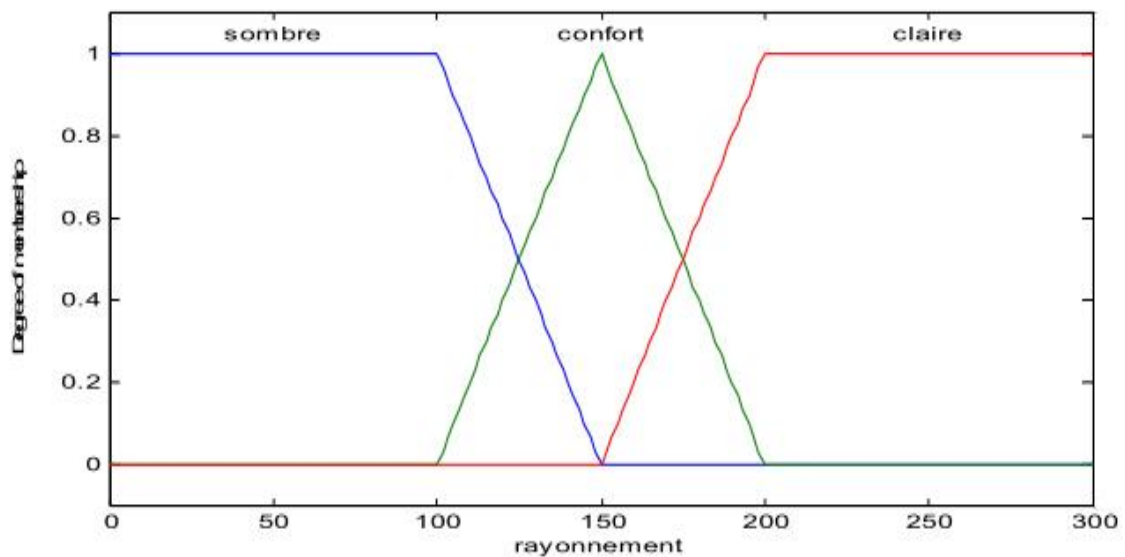


Figure 3.3 : Degré d'appartenance en fonction de rayonnement.

3.6 Les étapes de la fusion :

1. L'étape de captage des données :

Dans notre exemple, le capteur capte quatre fois le même phénomène parmi les phénomènes existant dans la serre agricole, et on a pris la température Ambiante, l'humidité, et le rayonnement. Les données sont présentées dans le tableau 3.1.

2. Calcul de degré d'appartenance :

On utilise les figures de degrés d'appartenance pour calculer les masses correspondantes aux données du tableau 3.1. Ces masses estimées, non normalisées, sont données au tableau 3.3.

Hypothèse	Température Ambiante (m1)	Humidité (m2)	Rayonnement (m3)
H1	0.6666	0.6666	0.0000
H2	1.0001	1.0001	0.6000
H3	0.6666	0.6666	0.4000
H4	0.3333	0.3333	0.6000

Tableau 3.3 valeurs des masses estimées non normaliser.

3. La normalisation :

Pour cela on applique la formule suivante :

$$m_i(.) = \frac{m_i(.)}{\sum m_i(.)}$$

Le tableau 3.4 donne les valeurs normalisées des masses

Hypothèse	Température Ambiante (m1)	Humidité (m2)	Rayonnement (m3)
H1	0.2500	0.2500	0.0000
H2	0.3750	0.3750	0.3750
H3	0.2500	0.2500	0.2500
H4	0.1250	0.1250	0.3750

Tableau 3.4 Les valeurs de masse normalisée.

4. L'étape de la fusion

On applique la DST selon les expressions suivantes :

$$m(H) = \frac{1}{1-K} \sum_{A \cap B = H} m_1(A) \cdot m_2(B) \quad \forall H \subseteq \Omega, \text{ et } H \neq \emptyset$$

$$\text{ou } K = \sum_{A \cap B = \emptyset} m_1(A) \cdot m_2(B)$$

1^{er} itération: on multiplie toutes les masses de la température avec toutes les masses de l'Humidité comme il montre le tableau suivant :

		Température (m1)			
		m1(H1)	m1 (H2)	m1(H3)	m1(H4)
m12		0,25	0,375	0,25	0,125
Humidité (m2)	m2(H1) 0,25	H1 0,0625	$H1 \cap H2 = \emptyset$ 0,09375	$H1 \cap H3 = \emptyset$ 0,0625	$H1 \cap H4 = \emptyset$ 0,03125
	m2(H2) 0,375	$H2 \cap H1 = \emptyset$ 0,09375	H2 0,140625	$H2 \cap H3 = \emptyset$ 0,09375	$H2 \cap H4 = \emptyset$ 0,046875
	m2 (H3) 0,25	$H3 \cap H1 = \emptyset$ 0,0625	$H3 \cap H2 = \emptyset$ 0,09375	H3 0,0625	$H3 \cap H4 = \emptyset$ 0,03125
	m2 (H4) 0,125	$H4 \cap H1 = \emptyset$ 0,03125	$H4 \cap H2 = \emptyset$ 0,046875	$H4 \cap H3 = \emptyset$ 0,03125	H4 0,015625
K1	$k1 =$ 0,71875	0,1875	0,234375	0,1875	0,109375

Tableau 3.5 Les résultats de la fusion la température et l'humidité.

Le tableau3.5 nous a donné les masses de chaque hypothèse après la fusion de la température et l'humidité (m12 (H1), m12 (H2), m12 (H3), m12 (H4)). On a aussi d'autres masses qui représentent le conflit.

2^{ème} itération :

Le tableau3.6 nous donne les masses obtenues par la fusion des résultats du tableau précédant (m12 (H1), m12 (H2), m12 (H3), m12 (H4)) avec les masses de rayonnement pour chaque hypothèse.

		Résultat de fusion de température et l'humidité(m12)			
		m12(H1)	m12 (H2)	m12(H3)	m12(H4)
m123		0,0625	0,140625	0,0625	0,015625
Rayonnement(m3)	m (H1) 0	H1 O	$H1 \cap H2 = \emptyset$ 0	$H1 \cap H3 = \emptyset$ 0	$H1 \cap H4 = \emptyset$ 0
	m2(H2) 0,375	$H2 \cap H1 = \emptyset$ 0,0234375	H2 0,05273438	$H2 \cap H3 = \emptyset$ 0,0234375	$H2 \cap H4 = \emptyset$ 0,00585938
	m2 (H3) 0,25	$H3 \cap H1 = \emptyset$ 0,015625	$H3 \cap H2 = \emptyset$ 0,03515625	H3 0,015625	$H3 \cap H4 = \emptyset$ 0,00390625
	m2 (H4) 0,375	$H4 \cap H1 = \emptyset$ 0,0234375	$H4 \cap H2 = \emptyset$ 0,05273438	$H4 \cap H3 = \emptyset$ 0,0234375	H4 0,00585938
K2	$k2 =$ 0,20703125	0,0625	0,08789063	0,046875	0,00976563

Tableau 3.6 Les résultats de la fusion la température, humidité et le rayonnement.

3^{ème} itération : Calcul de conflit

D'après la théorie de Dempster Shafer le conflit de l'ensemble vide doit être égal à zéro selon la formule suivante :

$$m(\emptyset) = 0$$

Le conflit total égal à la somme de toutes les masses obtenues par conjonction des hypothèses qui sont égales à l'ensemble vide ($H_i \cap H_j = \emptyset$, avec i différent de j)

Pour cela, d'après les deux tableaux précédant, on calcul le conflit total :

$$\text{Le conflit total } K = K1 + K2 = 0,92578125$$

Calcul de dénominateur : $1 - K = 1 - 0,92578125 = 0,07421875$.

4^{ème} itération : L'application de l'équation

$$m(H) = \frac{1}{1 - K} \sum_{A \cap B = \emptyset} m_1(A) \cdot m_2(B) \quad \forall H \subseteq \Omega, \text{ et } H \neq \emptyset \quad (9)$$

Et les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

	m123
H1	0.000
H2	0,71052632
H3	0,21052632
H4	0,07894737

Tableau 3.7 Les valeurs de masse fusionnées.

5. L'étape de décision

Une fois les sources d'informations fusionnées, il est nécessaire de sélectionner l'hypothèse la plus probable. Pour prendre une meilleure décision, nous avons utilisé la méthode de calcul de plausibilité donnée par l'expression (8) de chapitre précédent à savoir :

$$pl(H) = \sum_{A \cap H \neq \emptyset} m(A), \forall H \subseteq \Omega, H \neq \emptyset$$

Ceci donne les plausibilités des quatre hypothèses comme le montre le tableau 3.8. On rappelle que la plausibilité constitue le degré de confiance maximal que l'on attribue à une hypothèse et permet de déterminer la meilleure hypothèse en donnant le maximum de chances à chacune d'elles.

Hypothèses	m123
H1	0.000
H2	0,71052632
H3	0,21052632
H4	0,07894737

Tableau 3.8 Les valeurs de masse selon la fonction de plausibilité.

Le maximum de plausibilité est donné par l'expression (10) de chapitre précédent, à savoir :

$$\delta(X) = H_n$$

$$H_n = \arg[\max \gamma(H_i)], H_i \in \Omega$$

Où $\gamma(.)$ est la fonction de plausibilité.

D'après les résultats du tableau 3.8 ci-dessus, nous constatons que la part maximale de croyance soutient l'hypothèse H2.dont la plausibilité est la plus élevée. Conformément au tableau 3.8, nous observons que les capteurs se prononcent en faveur de l'hypothèse H2. Cet accord est reflété au niveau de la masse m123(H2). Ainsi, la décision retenue sera l'hypothèse H2 qui représente le microclimat existant dans la serre agricole.

A partir de ce résultat, l'expert peut intervenir pour assurer un microclimat idéal à la progression des oliviers.

3.7 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons étudié l'une des méthodes les plus utilisées pour la fusion de données dans les WSNs qui se base sur la théorie d'évidence de Dempster Shafer (DST) ; ainsi on a procédé d'un exemple d'application pour expliquer le fonctionnement de la DST sous une serre agricole afin d'améliorer les conditions de progression d'une plante à l'intérieur de cette serre.

Dans le chapitre suivant, nous décrivons le protocole de routage LEACH, et sur ce dernier on va implémenter la méthode de Dempster Shafer. Nous avons choisi l'environnement de simulation des réseaux de capteurs OMNET++ afin de voir les résultats de la fusion.

4.1 Introduction

Dans le domaine des réseaux de capteurs sans fils, plusieurs simulateurs ont été mis en place pour tester les performances d'un réseau, parmi lesquels on cite : NS-2, GloMoSim, GTSNetS, OMNeT++, Opnet... Dans notre projet, nous avons choisi de travailler avec le simulateur OMNeT++ (Objective Modular Network).

Dans ce chapitre, nous présentons dans un premier temps l'environnement de simulation OMNeT++ 4, puis nous décrivons l'implémentation d'une méthode de fusion (Dempster Shafer) sur un protocole de routage (LEACH).

4.2 Simulateur

Avant sa mise en place, le déploiement d'un WSN nécessite une phase de simulation afin de s'assurer du bon fonctionnement de tous les protocoles de communication qu'il utilise. En effet, pour de grands réseaux, le nombre de capteurs peut atteindre plusieurs milliers et entraîne donc un coût financier relativement important. Ainsi, il faut réduire au maximum les erreurs de la conception. Malgré cela, il reste des facteurs réels qui ne peuvent être pris en compte par la simulation, tels que les contraintes physiques (perturbations électromagnétiques, inondations, etc.) ou les aléas (détériorations dues à un animal, etc.)

Ø J-Sim

J-Sim (ou Java-Sim) [35], est un simulateur orienté objet, à base de composants, son environnement de simulation est écrit en Java. Il est initialement prévu pour les réseaux filaires, son extension pour les réseaux sans fil propose une implémentation de l'IEEE802.11-MAC. Cette extension le rend utilisable pour la simulation de MANET (*Mobile Ad-hoc NETwork*). L'avantage clef de J-Sim se résume par la facilité de l'ajout et de la suppression des modules d'une manière *plug-and-play*. J-Sim permet la simulation des réseaux de l'ordre de 1000 noeuds.

Le passage à l'échelle peut toutefois être amélioré. J-Sim donne la possibilité d'utiliser n'importe quelle application Java comme générateur de trafic. Il semble gérer correctement l'aspect consommation d'énergie.

Ø Tossim

Pour arriver à simuler le comportement des capteurs au sein d'un WSN, un outil très puissant a été développé et proposé pour TinyOS sous le nom de TOSSIM. Le principal but de TOSSIM est de créer une simulation très proche de ce qui se passe dans les WSN dans le monde réel. Une économie d'effort et une préservation du matériel sont possibles grâce à cet outil. [MWI06]

4.3 Choix du simulateur OMNeT++ 4.0

Le déploiement d'un réseau de capteurs exige une étape de simulation avant son installation sur site. La simulation permet de tester à moindre coût les performances d'une solution. OMNeT++ est un environnement de simulation à événements discrets. Il comprend différents modules programmes en C++ et en langage NED. Il a été créé, en premier lieu, pour simuler les communications réseaux. Grâce à son architecture flexible et générique, il a été utilisé avec succès dans divers domaines, notamment :

- la modélisation de réseaux de file d'attente,
- la modélisation de protocoles de communication,
- la validation des architectures hardware,
- l'évaluation de performances pour des systèmes software complexes.

Plusieurs modèles de simulation sont disponibles. Dans le domaine de l'internet : IP, IPv6, MPLS, etc. [OMN09].

Omnet++ fournit une infrastructure et des outils pour modéliser des simulations. La partie principale de cette infrastructure est l'architecture en composants des modèles de simulation. Les modèles sont créés à partir de composants appelés modules. Les modules sont les composants de base et peuvent être combinés de différentes manières (comme le jeu des LEGOS).

Les modules peuvent être connectés les uns aux autres via des ports (gâtes) et être combinés les uns aux autres pour constituer un module composé (compound module). Le degré d'emboîtement des modules est illimité. Les modules communiquent par des messages. Ces messages peuvent contenir diverses structures de données. Les modules peuvent envoyer des messages à travers plusieurs ports de connexion ou directement vers la destination (selon la topologie du réseau). Ils ont des paramètres qui sont utilisés pour ajuster leur comportement et/ou pour indiquer la topologie du réseau. Les modules du plus bas niveau de la hiérarchie sont appelés Module Simple. Ils encapsulent leur comportement en code C++ car ils sont programmés en C++ et utilisent la librairie `omnetpp.h`.

4.4 Architecture

L'architecture d'OMNET++ est hiérarchique composée de modules. Un module peut être soit module simple (*simple module*) ou bien un module composé (*compound module*). Les feuilles de cette architecture sont les simples modules qui représentent les classes C++. Pour chaque module simple correspond un fichier `.cc` et un fichier `.h`. Un module composé est composé de simples modules ou d'autres modules composés connectés entre eux. Les paramètres, les sous modules et les ports de chaque module sont spécifiés dans un fichier `.ned`.

La communication entre les différents modules se fait à travers les échanges de messages. Les messages peuvent représenter des paquets, des trames d'un réseau informatique, des clients dans une file d'attente ou bien d'autres types d'entités en attente d'un service. Les messages sont envoyés et reçus à travers des ports qui représentent les interfaces d'entrée et de sortie pour chaque module.

La conception d'un réseau se fait dans un fichier .ned et les différents paramètres de chaque module sont spécifiés dans un fichier .ini. OMNeT++ génère à la fin de chaque simulation deux nouveaux fichiers omnet.vec et omnet.sca qui permettent de tracer les courbes et calculer des statistiques.

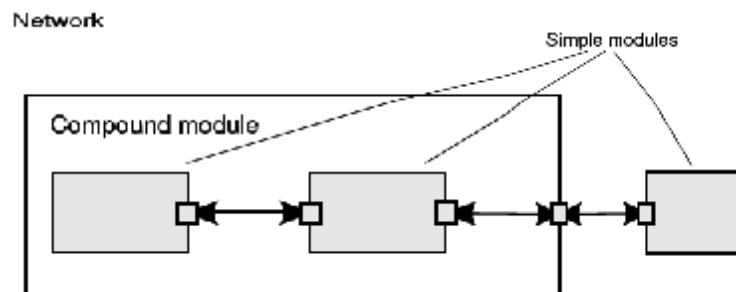


Figure 4.1 Modules composés et modules simples.

4.5 Compiler et exécuter une simulation

Un modèle OMNeT++ est constitué des éléments suivants :

- Une description de la topologie en langage NED réalisée dans un fichier .ned .Ce dernier décrit la structure du module : ses paramètres et ses ports. L'éditeur peut être utilisé en mode graphique ou en mode texte, et l'utilisateur peut changer de mode à l'envie.

En mode graphique l'utilisateur peut créer des modules composés, des liens (ports) entre les modules et d'autres types de composants. Les modules peuvent être créés en utilisant la palette des types de modules disponibles.

Le mode texte permet à l'utilisateur de travailler directement avec le code source

NED. Les erreurs sont indiquées, en temps réel, à gauche du code par un point rouge.

- l'utilisateur peut définir plusieurs types de messages (fichier .msg) et leur ajouter des champs de données. OMNeT++ traduira les définitions des messages en classe C++.
- Les modules simples sont des classes OMNeT++ programmées en C++ (fichier .cc et .h)
Les fichiers.ini sont les configurations des modules et du réseau (initialisation des paramètres des différents modules du réseau). Ils permettent à l'utilisateur de configurer ses modèles de simulation pour l'exécution. L'éditeur est en connaissance de toutes les déclarations NED (modules simples ou modules composés).
- Une fois le modèle de simulation prêt à l'emploi, OMNeT ++ va construire un programme de simulation exécutable. En utilisant le compilateur NED (nedtool) et le compilateur MSG (opp_msgc), OMNeT va traduire les fichiers .ned et .msg en C++. Une fois la traduction terminée, on obtient un projet en C++. La construction de l'exécutable se fait de la même façon qu'elle se fait pour n'importe quel programme C++ (Figure4.2).

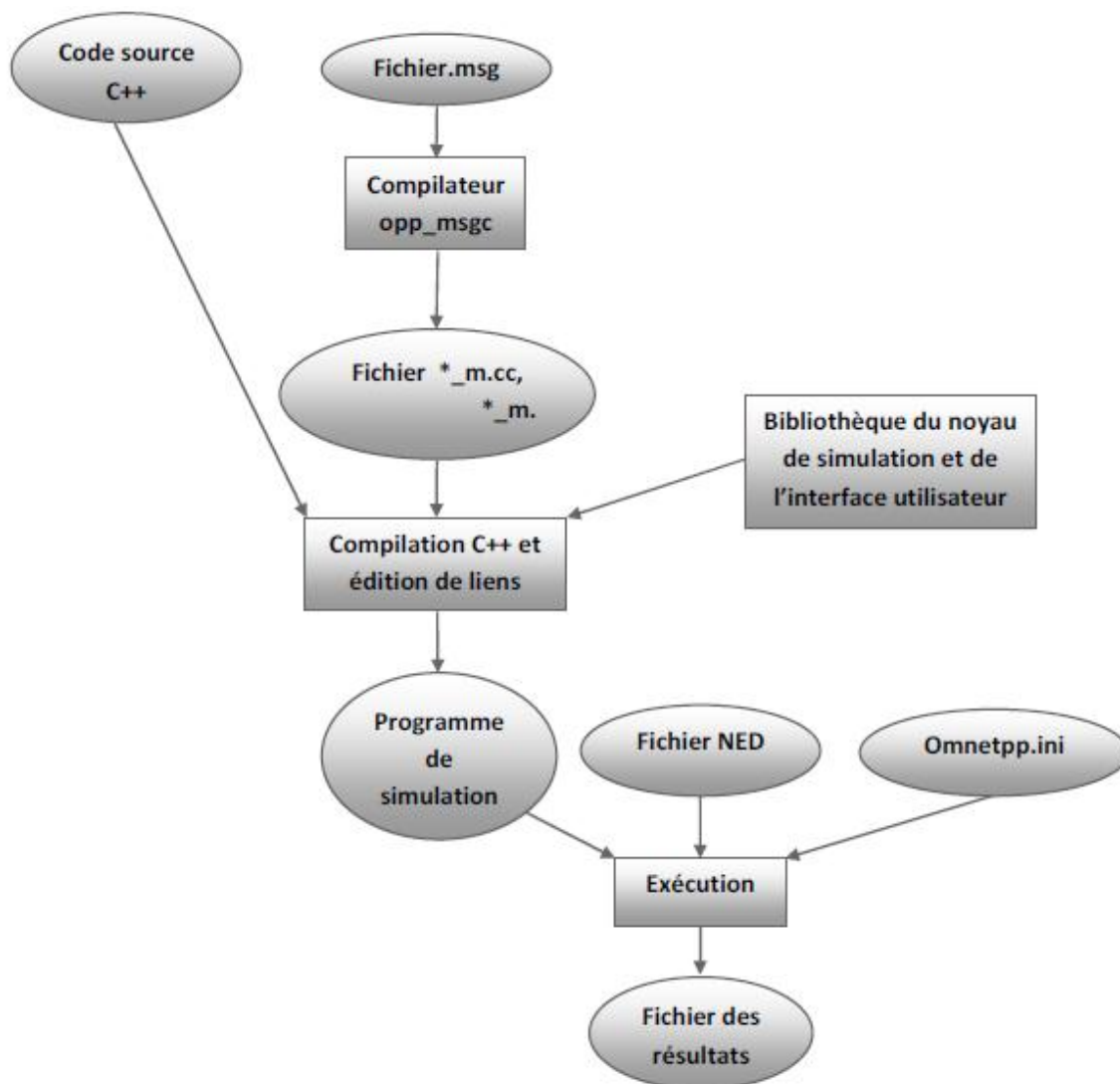


Figure 4.2 : Diagramme de compilation et d'exécution d'une simulation sous OMNeT++ 4 IDE

4.6 Architecture des design NED

Notre modèle de simulation simplatform est implémenté au niveau du simulateur OMNET++. Il est spécifiquement conçu pour simuler un RCSF. Il permet de modéliser chaque couche de la pile protocolaire d'un réseau de capteur sans fil et consiste en un ensemble de modules.

Notre réseau Sensor Network est le module qui englobe tous les autres modules les constituant :

4.6.1 SensorNetwork

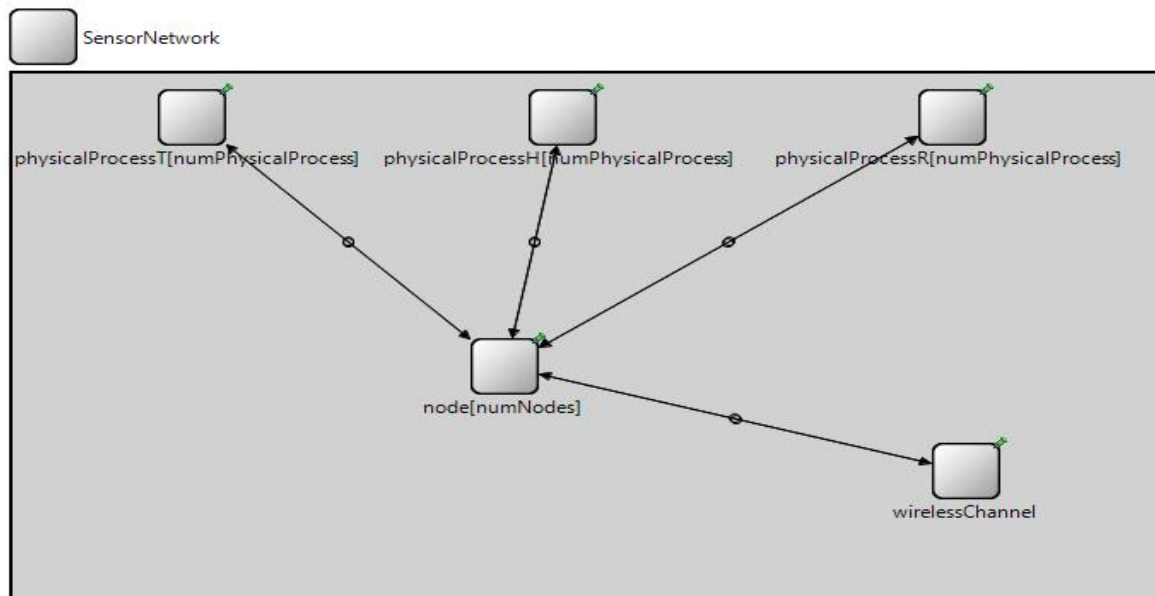


Figure 4.3: La structure d'un RCSF (Sensor Network) sous notre plateforme.

Sensor Network qui représente dans la réalité les capteurs, le canal sans fil et le processus physique ou la cible à contrôler. Dans notre modèle un capteur est représenté par un module composé Node, le canal sans fil par un module simple Wireless Channel et le processus physique par un module simple PhysicalProcess.

La connexion entre les nœuds capteurs ou entre un nœud et la station de base dans notre réseau se fait par l'intermédiaire du canal sans fil qu'on a appelé Wireless Channel. Lorsqu'un nœud souhaite envoyer un paquet de données, il l'envoie vers le module "Wireless Channel" qui décide par la suite d'à qui le relayer entre les nœuds et la station de base. Tous les nœuds capteurs sont reliés avec le module qui représente le processus physique ou l'objet cible. Comme nous allons présenter, la communication avec ces modules se fait à travers un module modélisant l'unité de capture interne au nœud.

4.6.2 Physical Process

Un module simple qui simule la cible à contrôler, il est connecté au nœud capteur. On peut avoir plusieurs processus physiques. Comme le montre la figure précédente, dans notre cas on a trois PhysicalProcess (physicalProcessT, physicalProcessH, physicalProcessR).

4.6.3 Node

Il représente le nœud capteur, ses composants résument les différentes couches de la pile protocolaire d'un RCSF. Il contient un module simple application et trois modules composés communication, ressourcesManager, et SensorManager.

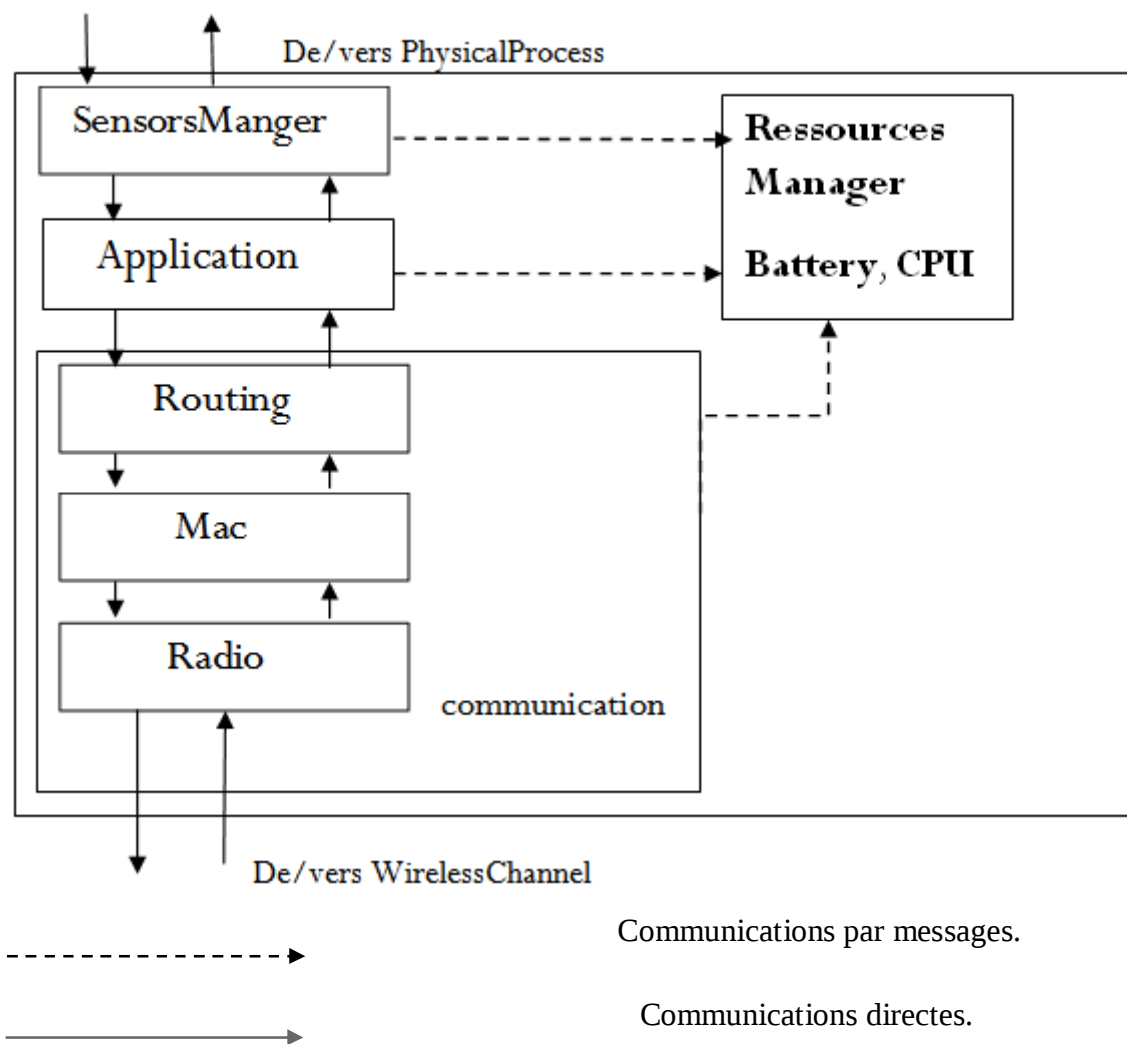


Figure 4.4 : La structure du Module Node.

Le nœud capteur est un module composé dont les sous-modules sont les composants décrits dans la figure 4.4. Chaque module simple du nœud capteur est caractérisé par ses propres fonctionnalités et ses propres paramètres. Il est implémenté indépendamment des autres modules, il faut bien définir les interfaces de communication entre les modules pour avoir une bonne circulation des messages. Comme montré dans la figure 4.3 la connexion entre le module Radio et le module *Wireless Channel* est bidirectionnelle afin de pouvoir simuler l'envoi et la réception des trains de bits. De plus, une connexion bidirectionnelle avec la couche supérieure MAC pour pouvoir envoyer les paquets provenant de la couche 3 vers Wireless Channel par l'intermédiaire de la couche physique Radio et de l'autre côté recevoir les paquets provenant de l'extérieur toujours passant de la couche Radio qui les relaye vers la couche MAC pour d'éventuels traitements et retransmission vers les couches supérieures. Afin de mettre à jour l'énergie restante au niveau du nœud d'une façon continue, ce module a une liaison directe avec le module modélisant la batterie du capteur.

4.6.4 Communication

Un module composé englobant : MacLayer, NetLayer et radio.

Communication

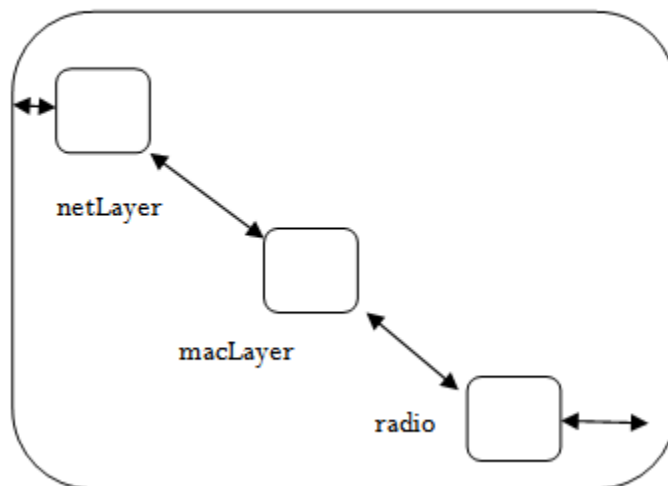


Figure 4.5 : La description du module composé communication avec le langage Ned.

Comme son nom l'indique, le module communication gère les communications dans le nœud capteur via ses modules simples :

Radio

Il modélise le dispositif matériel caractérisant la propriété sans fil des capteurs. Il est connecté avec le module simple Battery (appartenant au module composé ressourcesManager) afin de mettre à jour ce dernier lors des opérations d'émission/réception. Cette consommation d'énergie est également relative aux activités au niveau du canal sans fil. Ce module simule à la fois la couche physique d'un capteur et l'unité de transmission/réception dans un capteur. Les niveaux de transmission, la puissance de transmission ainsi que les délais de transitions sont aussi pris en compte au niveau de ce module. Il est également chargé de la modulation et de la démodulation des données (transformation des données sous forme de signaux et inversement). La connexion entre le module Radio et le module *Wireless Channel* est bidirectionnelle afin de pouvoir simuler l'envoi et la réception des trains de bits. De plus, une connexion bidirectionnelle avec la couche supérieure est obligatoire (La couche MAC).

La description d'un module simple en NED se fait de la manière suivante :

Radio



Figure 4.6 : Le module simple radio.

1) NetLayer

Il simule la couche réseau d'un nœud capteur. Au niveau de cette couche, on implémente les protocoles de routage ainsi que les fonctions d'encapsulation / décapsulation des trames pour la communication à travers les couches. Ce module a des liens de communication bidirectionnels avec le module adjacent Application qui lui transmet les données capturées venant du module responsable de la fonction de captage et cela après d'éventuels traitements au niveau de la couche Application et une autre connexion bidirectionnelle avec la couche MAC afin d'exécuter les protocoles MAC appliqués sur les messages.

2) MACLayer

Il simule la couche MAC d'un nœud capteur. Il permet d'implémenter des protocoles de routage lui aussi. Ce module doit avoir une connexion bidirectionnelle avec le module simulant la couche réseau et le module simulant la couche Radio du nœud.

4.6.5 Ressources Manager

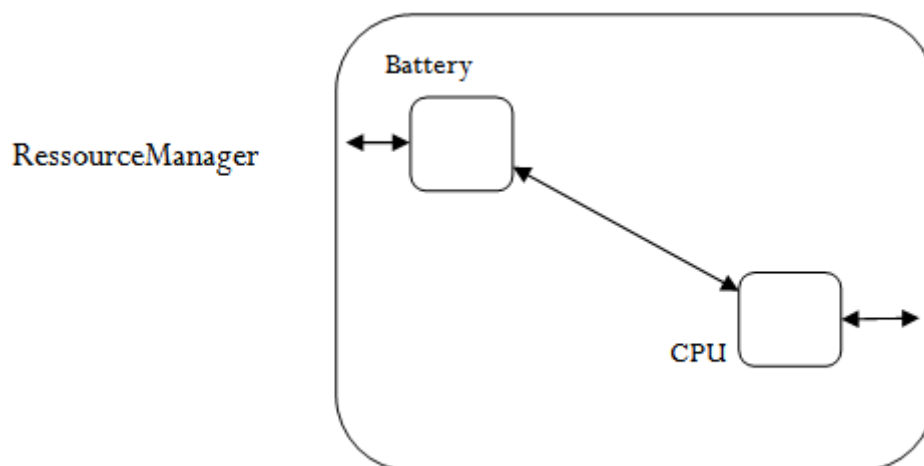


Figure 4.6 la description NED du module composé RessourcesManager.

RessourcesManager est un module composé qui contient deux modules simples CPU et Battery. Ce module joue un rôle clé pour la gestion de l'énergie puisqu'il permet d'enregistrer les demandes de consommations d'énergie auprès du module « Battery ». Il est l'élément responsable de la mise à jour de l'unité d'énergie (Battery) à tout moment. Il contribue dans le traitement de l'information capturé via son module CPU qui est le module responsable des calculs et des traitements.

1) Battery

Le module le plus important dans un capteur. En effet, il modélise le l'unité d'énergie qui est nécessaire pour un bon fonctionnement du capteur. Il alimente en énergie tous les autres composants, et ce, par l'intermédiaire du module ressourcesManager. Il est aussi responsable de la mise à jour de l'énergie du nœud capteur : si l'énergie est totalement dissipée, il envoie un message de déconnexion aux autres modules du nœud capteur.

2) CPU (Central Processing Unit)

Il modélise l'unité responsable du traitement de l'information collectée par le nœud. Lui aussi est relié au module Battery via RessourcesManager afin de maintenir à jour la consommation d'énergie.

4.6.6 SensorManager

SensorManager

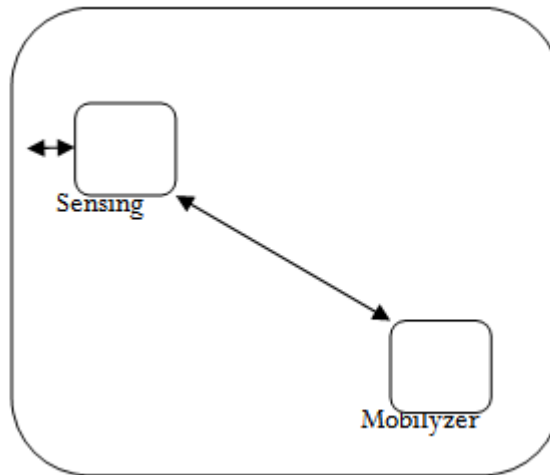


Figure 4.7 La description NED du module composé SensorManager.

Il est responsable de la gestion de la mobilité à travers son module simple Mobilyzer et du captage d'information à travers son module simple sensing.

1) Sensing

Il simule l'unité de capture dans un nœud capteur, il reçoit les données provenant de l'environnement de simulation. Il peut exister plusieurs types d'unités de capture selon l'usage pour lequel le capteur a été conçu. Lorsque l'application exécutée au niveau d'un nœud capteur requiert une donnée, un message est envoyé au module Sensing. Ce dernier envoie un message au module Physical process qui répond en envoyant une valeur qui est transmise. Comme montré dans la figure 4.3, il faut une connexion bidirectionnelle pour permettre un tel échange. De plus, ce module est directement lié au module Battery. Ceci permet la mise à jour de l'énergie restante au niveau de la batterie à la suite de chaque capture.

2) Mobilyzer

Ce module est appelé lorsqu'il existe des nœuds mobiles, il est responsable sur le déplacement des nœuds. De ce fait, le module Mobilyzer simule la mobilité des nœuds capteurs et/ou de la station de base au niveau d'un réseau de capteurs sans fil. Le module dans lequel sont implémentés les scénarios de mobilité aura des liens de communication directe avec le module qui simule le mobilisateur. Si le nœud en question est supposé fixe, ce module peut ne pas être utilisé,

ce qui veut dire qu'il est optionnel. Mobilyzer a un lien direct avec le module Wireless Channel afin que ce dernier puisse mettre à jour les tables utilisées pour gérer la connectivité entre les nœuds à tout moment.

Jusqu'à maintenant, l'énergie consommée par la mobilité n'était pas prise en compte. Si des modèles de cette consommation sont implémentés, un lien direct entre le module mobilizer et le module Battery doit être prévu [BEC 09].

4.6.7 Application

Un module simple qui simule les applications utilisateurs s'exécutant au niveau du capteur. Il est connecté à l'unité de capture afin de traiter l'information capturée avant de la transmettre à travers la pile de communication. Au niveau de ces applications, il est possible de recevoir les données capturées par le module *Sensing* et les envoyer à travers la pile protocolaire après d'éventuels traitements. On peut aussi envoyer des requêtes demandant des données et/ou recevoir des informations parvenant à d'autres nœuds. De plus, l'utilisateur peut utiliser des messages prédéfinis pour contrôler et commander les modules Radio et MAC du nœud (changer l'état, modifier les paramètres, etc.).

Afin de garantir ces fonctionnalités, le module *Application* doit avoir des liens de communication bidirectionnelle avec le module simulant l'unité de capture ainsi que celui simulant la couche réseau.

4.6.8 Wireless Channel

C'est le canal sans fil, il maintient une connexion entre les différents nœuds capteurs du réseau. Il est directement lié au nœud capteur, et ce, afin de pouvoir mettre à jour la batterie lors de transmissions inter-nœuds.

4.7 LEACH

4.7.1 Définitions sur LEACH

Heinzelman et al. ont proposés un algorithme de clustering distribué appelé LEACH (Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy) pour le routage dans les réseaux de capteurs homogènes. LEACH choisit aléatoirement les nœuds cluster-heads et attribue ce rôle aux différents nœuds selon la politique de gestion Round-Robin (c'est-à-dire tourniquet) pour garantir une dissipation équitable d'énergie entre les nœuds. Dans le but de réduire la quantité d'informations transmises à la station de base, les cluster-heads agrègent les données capturées par les nœuds membres qui appartiennent à leur propre cluster, et envoient un paquet agrégé à la station de base.

LEACH est fondé sur deux hypothèses de base :

- Ø la station de base est fixe et est placée loin des capteurs,
- Ø tous les nœuds du réseau sont homogènes et limités en énergie.

L'idée derrière LEACH est de former des clusters des nœuds capteurs selon la force reçue du signal et d'utiliser les têtes locales de grappe (cluster head) comme des routeurs pour :

- conduire des données à la station de base. Les dispositifs principaux de LEACH sont : Coordination et contrôle localisés pour l'initialisation et le traitement de grappe.
- Rotation randomisée de la grappe (effectuée par "les stations de base" ou "les têtes de cluster").
- Les nœuds CH agrègent les données arrivant des nœuds appartenant à leurs grappes respectives, et envoient un paquet d'agrégations à la station de base afin de réduire la quantité d'information qui doit être transmise à la SB [AOU00]

LEACH est exécuté en deux phases : la phase « set-up » et la phase « steady-state » suivant la Figure 4.9. Dans la première phase, les clusters heads sont sélectionnés et les clusters sont formés, et dans la seconde phase, le transfert de données vers la station de base aura lieu.

Le processus d'élection des clusters heads est déclenché pour choisir le futur cluster head. Ainsi, une fraction prédéterminée de nœuds s'élisent comme cluster heads selon le schéma d'exécution suivant : durant une période T , un nœud n choisit un nombre aléatoire nb dont la valeur est comprise entre 0 et 1 ($0 < nb < 1$). Si NB est inférieure à une valeur seuil alors le nœud ne deviendra pas cluster head durant la période courante, sinon le nœud n devrait rejoindre le cluster head le plus proche dans son voisinage.

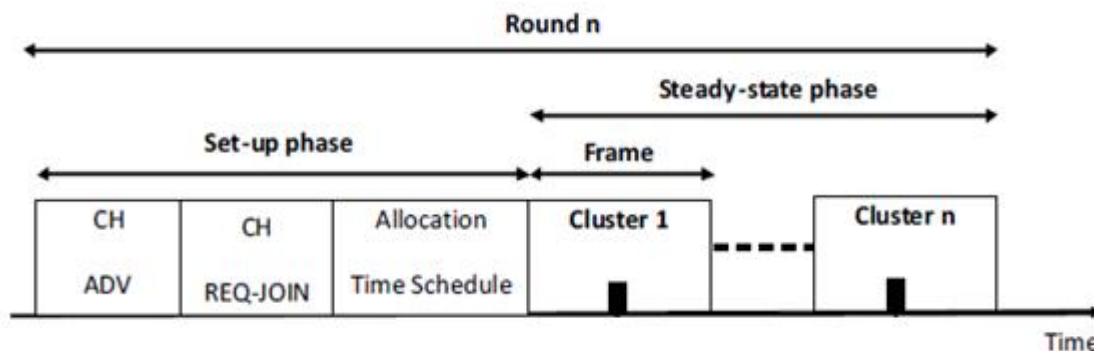


Figure 4.9 : Formation de clusters dans LEACH

Afin d'équilibrer l'énergie consommée, les cluster-heads élus ne sont pas fixés autrement dit si à l'instant t l'ensemble des cluster-heads est C , à l'instant t' l'ensemble des cluster-heads est C' différent de C . la décision à devenir cluster-head dépend de la quantité d'énergie restante au niveau du nœud, de cette façon seuls les nœuds ayant un grand réserve, sont qualifiés à remplir les fonctions intenses en énergie.

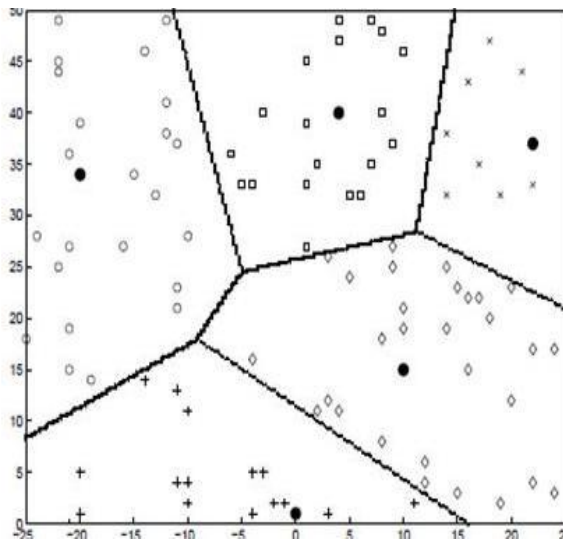


Figure 4.10: Cluster-heads formé à l'instant t

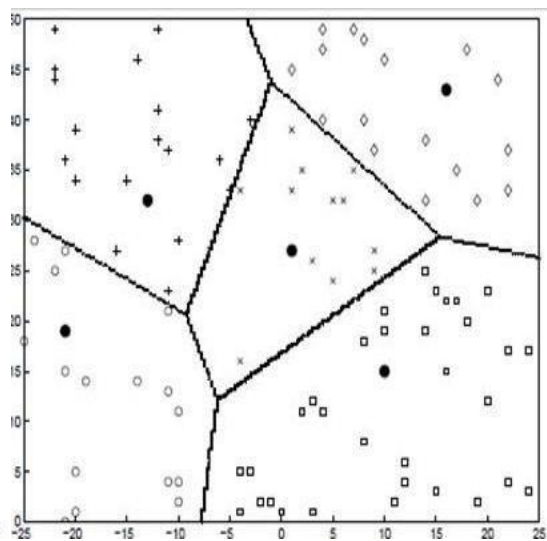


Figure 4.11: cluster-heads formé l'instant t'

Le système fixe le nombre de clusters en fonction de quelques paramètres comme la topologie du réseau, le coût des opérations de communication et de calcul. Généralement la valeur optimale de cluster-heads représente 5% des noeuds du réseau.

Les données sont communiquées des nœuds vers le cluster-heads, et une fois l'agrégation est faite, le cluster-head les envoie directement vers la station de base (figure 4.12)

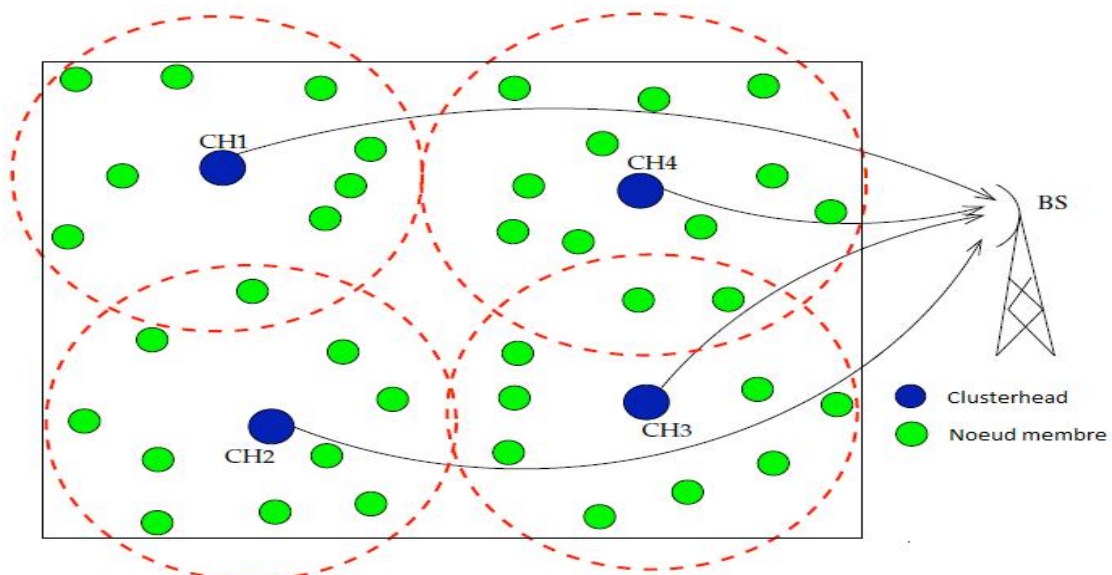


Figure 4.12 : Communication de données dans LEACH.

4.7.2 Pourquoi LEACH

Afin d'arriver à une nouvelle approche de clustering, nous avons choisi LEACH comme protocole de base.

LEACH est parmi les premiers protocoles de routage hiérarchiques conçus pour les réseaux de capteurs sans fil. La robustesse de ses notions de base l'a rendu très populaire. Certaines de ses notions notamment celles concernant l'agrégation de données et sa technique d'exécution en round ont été retenues ; d'autres comme sa métrique de sélection d'un cluster-head et sa technique de communication de données ont été améliorées, ainsi, la majorité des travaux de recherche présentés juste après s'appuient sur LEACH

4.7.3 Itérations de l'algorithme

L'algorithme LEACH est organisé en cycle, ou chaque cycle débute par une phase setup, qui correspond à l'organisation des clusters ; suivi d'une phase dite steady-state, qui correspond à l'envoi de données vers la station de base. C'est cette dernière phase qui prend plus de temps que la première afin de minimiser le nombre de cluster-heads élus .

Le protocole de routage hiérarchique proposé est un protocole qui se base sur le partitionnement dynamique du réseau en un ensemble de clusters. Il doit assurer un fonctionnement optimal du réseau par minimisation de la consommation des ressources en termes d'énergie et des délais d'acheminement de l'information. L'implémentation du protocole passe par trois phases de fonctionnement: une phase d'annonce et de création des clusters, une phase d'ordonnancement et une phase de transmission.

- Ø Phase d'annonce et création de clusters : Durant cette phase, la Station de Base (SB) annonce le déroulement d'un nouveau round. Les différents noeuds s'auto-élisent pour être des CHs selon une probabilité dite d'élection et un pourcentage établi d'avance de sélection des CHs [5% à 15%]. Cette élection peut être décrite comme suit :

$$T(n) = \begin{cases} \frac{p}{1 - p * (r \bmod \frac{1}{p})} & \text{si } n \in G \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

Où P et r désignent respectivement le pourcentage des noeuds désirant être CH et le round courant, G étant l'ensemble des noeuds n'étant pas des CHs durant les dernières $\left(\frac{1}{p}\right)$ Itérations.

n étant une valeur aléatoire comprise dans l'intervalle [0,1] attribuée à un nœud. Si cette dernière est inférieure à un seuil T(n), le nœud se déclare CH puis informe ses voisins de son élection.

Ainsi, un message d'avertissement contenant son identifiant en tant que CH est diffusé via un protocole MAC CSMA/CA permettant d'éviter de probables collisions et interférences entre les CHs adjacents. Les noeuds décident d'appartenir à des CHs en tenant compte de l'amplitude du signal reçu. Ainsi, le CH ayant diffusé un signal de plus grande amplitude aura une probabilité plus importante d'être choisi par rapport à d'autres CHs. En cas d'égalité, le choix d'appartenance à un CH se fait aléatoirement. Cela passe par l'envoi du nœud d'un paquet d'affiliations au CH choisi, ce dernier renvoie un message d'acquiescement pour la confirmation.

Ø **Phase d'ordonnement** : Une fois les clusters formés, chaque CH passe d'un rôle de simple nœud membre (NM) à un rôle de centre de coordination pour la transmission d'informations au sein de son groupe. En se basant sur la méthode d'ordonnement de tâche, il met en œuvre le protocole MACTDMA et assigne à chacun de ses NMs, un intervalle de temps pendant lequel le nœud peut communiquer ses informations. L'ensemble de ces intervalles de temps constitue une Frame, dont la durée diffère selon le nombre de nœuds du cluster.

Ø **Phase de transmission** : C'est une phase de collecte d'information permettant de se prononcer sur les performances et la robustesse du protocole. En se basant sur la méthode TDMA pour l'accès à la couche MAC, les NMs communiquent leurs données vers les CHs correspondant pendant un laps de temps prédéfini. Les données perçues au niveau de chaque CH sont agrégées puis transmises directement vers la SB. En dehors de l'intervalle de temps alloué pour la transmission, chaque nœud a la possibilité de se mettre en veille pour économiser ses ressources.

Dans ce protocole, le traitement des données au niveau de chaque cluster se fait localement et le rôle de chaque CH est de coordonner les échanges avec les autres NMs. Le réseau possède la capacité de s'auto-réorganiser lors de la phase d'élection des CHs. Chaque nœud a la possibilité d'être élu CH et vis versa, chaque CH peut redevenir un simple NM pouvant appartenir à un cluster. L'élection d'un CH se base sur des critères énergétiques. Plus le nœud possède une énergie importante plus il peut devenir CH. Une fois que ce dernier est élu, il communique avec l'ensemble des NMs selon un protocole d'accès à la couche MAC type TDMA. Il réalise entre autres des fonctions d'agrégation des données issues des NMs optimisant ainsi les délais de traitement donc de la consommation d'énergie. Contrairement aux NMs, les CHs sont en activité permanente puisqu'ils communiquent soit avec l'ensemble des nœuds appartenant à leurs clusters soit ils échangent des données avec la SB. [AOU00]

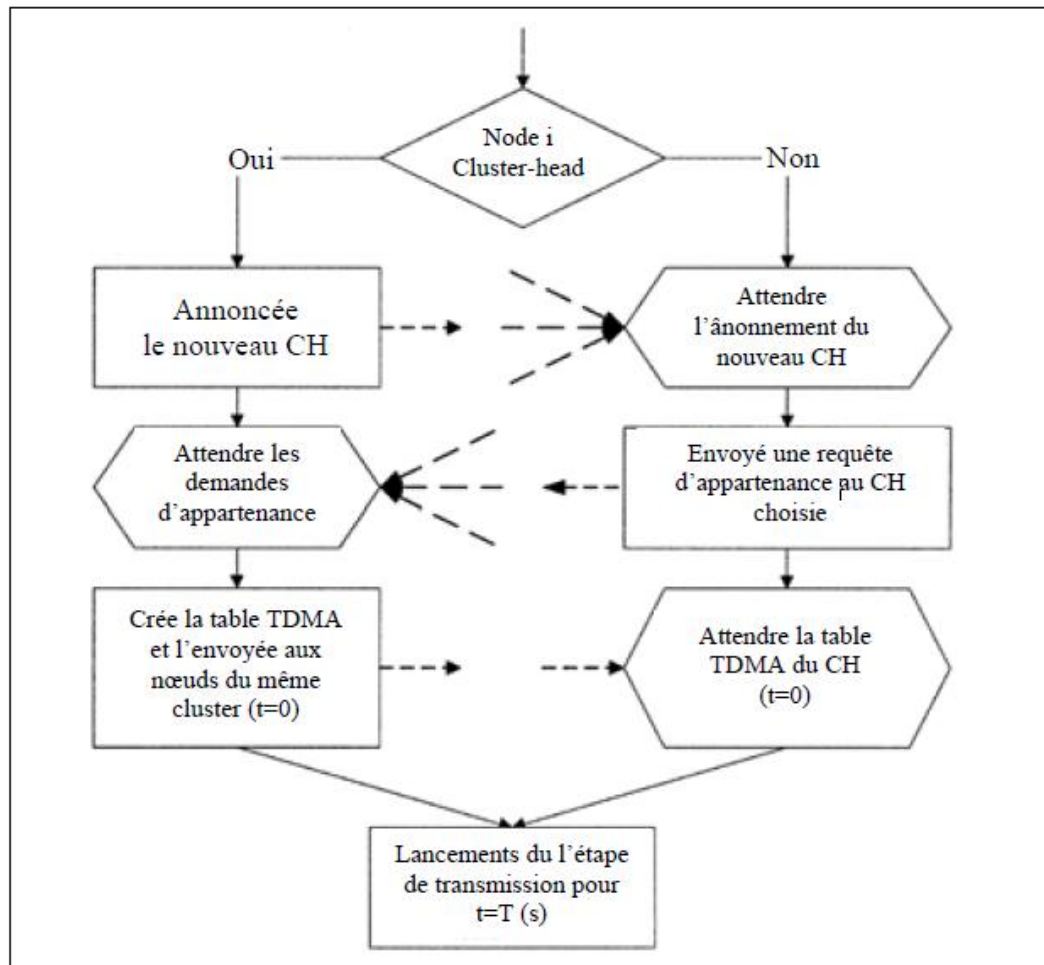


Figure 4.13: opérations de l'étape d'initialisation.

4.7.4 Modèle de consommation d'énergie

Une grande partie des travaux de recherche mène actuellement se concentre sur le domaine de la radio a faible puissance. Heinzelman et al dans [HEI00] proposent un modèle de consommation d'énergie ou la radio absorbe $E_{elec} = 50 \text{ nJ/bit}$ pour exécuter des circuits émetteurs/récepteurs et $E_{amp} = 100 \text{ pJ/bit/m}^2$ pour l'amplificateur de transmission. Ainsi, pour transmettre un message de n bits sur une distance d , la radio consomme :

$$E_{tx}(n, d) = E_{elec} * n + E_{amp} * n * d^2$$

Pour recevoir ce même message, la radio consomme:

$$E_{rx}(n) = E_{elec} * n$$

E_{elec} : est l'énergie électrique

E_{amp} : est l'énergie nécessaire à l'amplification

Un protocole de routage efficace en énergie doit minimiser la distance de transmission, la taille des paquets à transmettre, le nombre de transmission et de réception pour chaque message.

4.8 L'algorithme de la fusion

L'algorithme de fusion est implémenté au niveau de chaque nœud du réseau.

Une fois le nœud capteur a récupérée la valeur des trois grandeurs physiques, il récupère chaque donnée et les met dans une liste.

Pour chaque donnée on calcul sa masse et on la mettre dans cette liste;

La fonction simule donne la valeur de chaque phénomène et pour ça masse on fait le traitement suivant :

1) pour la température :

On fixe $T_{max}=24$;

$T_{min}=22$;

Pour le calcul de la masse m on utilise la formule suivante :

$m = T \text{ (donné par rand () \%100 pour chaque hypothèse) } - T_{min} / 100$;

Donc on aura une valeur dans l'intervalle $[0,1]$;

2) pour l'humidité:

On fixe l'hum $H_{max} = 100\%$;

$H_{min} = 90\%$;

Dans ce cas, on utilise une condition, car si la valeur de rand () est inférieur à la valeur minimum de la l'humidité, on aura des masses négatives, ce qu'est impossible.

Pour le calcul de la masse m , on utilise la formule suivante :

Si $(\text{rand ()}/100) > H_{min}$ alors

$m = H \text{ (donné par rand () /100 pour chaque H (hypothèse)-} H_{min})/100$;

Sinon

$m = - [H \text{ (donné par rand () /100 pour chaque hypothèse)-} H_{min}]/100$;

Finsi ;

3) Pour le rayonnement:

On fixe $R_{max}=200$;

$R_{min}=100$;

Si la valeur $(\text{rand ()}/100) > R_{min}$ alors

$m = R \text{ (donné par rand () pour chaque hypothèse)-} R_{min})/100$;

Sinon

$m = -[R \text{ (donné par rand () pour chaque hypothèse)-} R_{min}]/100$;

Finsi ;

Pour chaque physical process on normalise ces masses selon la fonction suivante :

$$m_i(.) = \frac{m_i(.)}{\sum m_i(.)}$$

Une fois les valeurs des masses normalisées on fusionne comme suit :

Fusion

```

Double m1, m2, m12, m123, k, fu ;
Double prod=0, k1=0;
int i,j;

```

Debut

On utilise la boucle imbriquée pour le calcul du produit des éléments d'une matrice

```

pour (i=1 à size (buff) ,i<:4;i++){
  Pour (j=1 à size (buff), j<1;j++) {
    Prod B m1[i] * m2[j];
    Si (i # j) alors {
      k1=k1+prod; // la somme des masses ou les intersections sont des
                  ensemble vide (conflit).

```

```

      Sinon (if i=j)faire{
        m12=m1 [i]*m2 [i]; // m12 représente la masse fusionnée de
                           physicalProcessT et physicalProcessH de hypothèse i.

```

```

      fin si,

```

```

    fin pour ;

```

```

fin ;

```

La fusion des résultats (m12) avec m3

```

pour (i=1 à size (buff) ,i<4; i++);
  pour (j=1 à size (buff),j<1;j++);
    m123=m12[i]*m3[j];
    si (i#j)faire {
      k=k1+prod; // la somme des masses ou les intersections sont des ensembles
                  vides (conflit)

```

```

    sinon ( i=j) alors {

```

```

      m123 B m12*m3; // m12 représente la masse fusionnée de physicalProcessT,
                    physicalProcessH et physicalProcessR de hypothèse i.

```

```

    fin si;

```

```

  fin pour ;

```

Le résultat de la fusion

```

  pour (i=1 à size (buff) ,i<4 ;i++);

```

```

    fu [i] =(1/1-k)*m123; // le résultat final de la fusion de chaque hypothèse i.

```

4.9 Déroulement de notre algorithme de fusion

Notre algorithme de fusion se déroule selon 4 phases principales comme suit :

Phase 1 : La détection des phénomènes aux niveaux des physicalProcess :

On a trois sous module dans notre réseau nommé PhysicalProcessT, PhysicalProcessH, PhysicalProcessR chacun de ces derniers introduit une valeur de la température, humidité et rayonnement respectivement qui seront envoyée pour tous les nœuds du réseau.

Phase 2 : la fusion des données aux niveaux de chaque nœud :

Les données à fusionner s'effectuent dans le nœud suivant ces étapes :

Etape1 : Chaque nœud du réseau capte ces trois valeurs par la baie de l'unité de captage (Sensing) puis les envoie à l'unité de traitement.

Etape2 : Après avoir reçu les données captées par la couche application, cette dernière permet de les fusionner avec la fonction de la DST (théorie du Dempster Shafer) ; Et envoie le résultat le plus probable selon la fonction de la plausibilité au sous module sous module communication, ainsi elle circule à l'intérieur de ce module qui se compose de trois couches : la couche réseaux (NetLayer). La couche physique (MacLayer). Et la Radio.

Etape3 : Enfin, la Radio doit envoyer la donnée fusionnée au sous module Wireless Channel qu'il va la diffuser sur tout le réseau Wsn.

Phase 3 : l'agrégation des données aux niveaux des clusters .

Dans cette phase, tous les nœuds du réseau envoient les données fusionnées à leurs clusters Head selon le fonctionnement du protocole Leach. Ainsi, à ce niveau les clusters Head vont agréger toutes les données de ces membres, et dans notre cas chaque CH prend la valeur maximale de la fonction de la plausibilité, puis l'envoie à la station de la base.

Phase 4 : la prise de décision aux niveaux de la station de base (puits) :

À l'arrivée des données envoyées par le cluster Head le nœud puits utilise la fonction de plausibilité citée précédemment pour prendre une meilleure décision parmi les données envoyées par tous les clusters Head du réseau.

4.10 Conclusion

Dans ce dernier chapitre, nous avons présenté l'environnement de simulation utilisé OMNeT++4, son principe de fonctionnement ainsi que la plateforme de simulation utilisée. Nous avons utilisé le protocole Leach pour implémenter l'algorithme de fusion DST (Théorie Dempster Shafer), puis nous avons effectué une étude comparative entre le protocole Leach sans fusion et le protocole Leach avec fusion. Dans le but d'avoir l'efficacité de cette technique pour la minimisation de consommation d'énergie dans le réseau de capteur sans fil, donc elle assure une durée de vie assez prolongée.

- **Imprécision**

L'imprécision d'une information est caractérisée par le contenu de l'information. Elle est relative à l'information ou à la source. Elle se mesure par l'erreur de l'information fournie (défaut quantitatif de l'information). La réalité doit donc être connue ou estimée. Nous distinguons l'imprécision sans erreur (il pleut beaucoup) et l'imprécision avec erreur il pleut 10 mm3/h alors qu'il y en a 15).

- **Incomplétude**

L'incomplétude mesure le manque d'information apporté par la source. Elle peut se mesurer par la différence de la quantité d'information réellement fournie par la source et de la quantité d'information que la source doit fournir (en cas de bon fonctionnement ou pour répondre à un problème posé).

- **Incertitude**

L'incertitude caractérise le degré de conformité à la réalité d'une information, ou encore l'assurance d'une source en l'information fournie. Une information incertaine décrit donc une connaissance partielle de la réalité. Pour la mesurer, la réalité doit donc être connue.

- **Inconsistance**

Représentée souvent sous la forme de conflit, caractérise plusieurs informations conduisant à des interprétations contradictoires et donc incompatibles. Les situations conflictuelles sont fréquentes dans les problèmes multi-sources de fusion de données et aussi de prise de décision (cas des analyses multi-expertes). Par exemple, un patient qui possède des taches rouges sur le corps est examiné par deux médecins (experts) qui établissent deux diagnostics différents : rougeole et allergie. Par ailleurs, la redondance est souvent utilisée pour répondre au problème de conflit (doute sur un résultat), par exemple lorsque plusieurs capteurs sont mis en oeuvre pour la levée de doute. Cependant, la redondance peut aussi produire des situations conflictuelles, lorsque les capteurs impliqués ont des dysfonctionnements aléatoires ou des problèmes de précision de mesure, dès lors donnant lieu à des interprétations différentes, voire contradictoires de l'événement. Dans une application multi-capteurs, même en utilisant un vote majoritaire pour la décision, si les capteurs présentent tous des mesures différentes, le système aura néanmoins une difficulté pour prendre une décision.

- **Ambiguïté**

L'ambiguïté d'une information est le fait que celle-ci entraîne deux ou plus interprétations. L'ambiguïté peut provenir d'une autre imperfection de l'information, mais pas nécessairement.

- **Distance de Mahalanobis :**

En statistique, la **distance de Mahalanobis** est une mesure de distance Elle est basée sur la corrélation entre des variables par lesquelles différents modèles peuvent être identifiés et analysés. C'est une manière utile de déterminer la *similarité* entre une série de données connues et inconnues la distance de Mahalanobis accorde un poids moins important aux composantes les plus dispersées. Dans le cas de l'analyse des signaux, et en supposant que chaque composante soit une variable aléatoire de type gaussien, cela revient à minimiser l'influence des composantes les plus bruitées bien pour déterminer la cohérence de données fournies par un capteur par exemple : cette distance est calculée entre les données reçues et celles prédites par un modèle.

Conclusion générale

Les réseaux de capteurs sans fil (RCSF) sont une nouvelle technologie qui a surgi après les grands progrès technologiques concernant le développement des capteurs intelligents, des processeurs puissants et des protocoles de communications sans fil. Ce type de réseau composé de certaines ou de milliers d'éléments a pour but de la collecte de données de l'environnement, leur traitement et leur dissémination vers le monde extérieur.

Les applications des réseaux de capteurs sans fil sont nombreuses. Elles comprennent différents domaines : agricole, militaire... etc.

Dans ce travail nous avons débuté par une étude approfondie des RCSF, dans le but de mettre en évidence les services critiques du réseau. Donc nous avons donné un aperçu sur les RCSF et présenté certaines de leurs applications. Nous avons aussi exposé les différents problèmes qui concernent l'économie d'énergie qui est considérée comme un facteur principal qui limite la durée de vie du réseau. Ainsi, nous avons également présenté quelques travaux existants qui visent à réduire la consommation d'énergie dans le réseau.

Ensuite, on a abordé un état d'art sur les méthodes proposées pour fusionner les données des capteurs des réseaux sans fil.

La fusion de données est employée aussi bien dans la vie quotidienne que dans les technologies récentes. Il existe plusieurs topologies et niveaux de fusion dont le choix dépend de la nature des sources et des données. De nombreux travaux sur la fusion de données dans les applications réelles montrent que cette dernière améliore nettement les performances du système par rapport à chacune des sources prises isolément. Plusieurs méthodes peuvent être utilisées. Les principales sont essentiellement basées sur une modélisation floue et probabiliste. Les premières sont issues des approches bayésiennes, de la théorie des croyances les secondes reposent sur la théorie des sous-ensembles flous et la théorie des probabilités.

Ce projet nous a permis d'approfondir nos connaissances sur les réseaux de capteurs sans fil, d'avoir le sens de créativité et d'innovation dans un domaine qui a bouleversé le monde et qui a apporté des résultats excellents à de nombreuses branches, ce qui nous a motivés à travailler sur un tel domaine émergent.

Comme perspectives de notre travail, il est essentiel de poursuivre l'étape d'implémentation sur le simulateur OMNeT et effectuer des tests de validation de la méthode avant de l'exploiter dans le monde réel.

Références bibliographiques :

[AOU00] Hania AOUDIA , Youcef TOUATI , Arab ALI-CHERIF et Patrick GREUSSAY

Université Paris8 Vincennes/Saint-Denis, Laboratoire d'Informatique Avancée de Saint-Denis
LIASD, 93200 Saint-Denis - France.

[ASCS02] I. Akyildiz, W. Su, E. Cayirci, Y. Sankarasubramaniam. A survey on sensor Networks. IEEE Communications Magazine, vol. 40, no. 8, pp. 102-114, Georgia Institute of Technology, Atlanta, USA. Août 2002.

[ASC02] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. I. Cayirci. A survey on sensor Networks. IEEE Communications Magazine, Vol. 40, No. 8, pp. 102-116, Août 2002.

[ASC04] I.F. AKYILDIZ, W. S. SANKARASUBRAMANIAM, E. CAYIRCI : Wireless Sensor Networks: A Survey. Computer networks, 2002, 38, pp. 393-422.

[ASSC02] I.F.Akyildiz,W.Su ,Y.Sankarasubramaniam, E.Cayirci, *Wireless sensor networks: a survey*, Computer Networks: The International Journal of Computer and Telecommunications Networking, v.38 n.4, pp.393-422, 2002.

[BAY03]: BAYES,T.R. An essay towards solving a problem in the doctrine of chances.Philosophical Transaction of the Royal Society53, 1763.

[BOU00].

[BCSV02] Alvise Bonivento, Luca P. Carloni, and Alberto Sangiovanni-Vincentelli.Platform-based design of wireless sensor networks for industrial applications.In DATE '06 : Proceedings of the conference on Design, automation and test in Europe, pages 1103_1107, 3001 Leuven, Belgium, 2006. European Design and Automation Association.

[CK03]: Chee-Yee Chong and S. P. Kumar. Sensor networks : evolution, opportunities, and challenges. Proceedings of the IEEE, 91(8) :1247_1256, 2003.

[CAI07] CAI Chun-li (Polytechnic School,Chongqing Jiaotong University,Chongqing 400042, China); Research on Intelligent Greenhouse Environment Control System[J];Journal of Chongqing Institute of Technology(Natural Science Edition);2007-10

[15]DAZ01:DASARATHY,B,V.What,Where,Why,When,and How,Inform.Fus.2,2(January)2001.

[DAZ 07] :DASARATHY, B. V.Sensor fusion potential exploitation-innovative architectures and illustrative applications. Proc. IEEE85, January), 1997.

[DEM08] :DEMPSTER, A.P.A generalisation of Bayesian inference.J.Royal Stat.Soc.,Serie B 30,1968

[DGMB05] A. Delye, V. Gauthier, M. Marot, and M. Becker. Etat de l'art sur les réseaux de capteurs. Rapport de Recherche INT N-05001RST GET-INT, UMR5157 SAMOVAR, Institut National des Télécommunications, Evry, France, 2005.

[DWH08]: DURRANT-WHITE , H.F. Sensor models and multisensor integration. Inter.j. Robotics Res. (December), 1988.

[ESP08] : David Espès « Protocoles de routage réactifs pour l'optimisation de bande passante et la garantie de délai dans les réseaux ad hoc mobiles » l'Université Toulouse III - Paul Sabatier, 2008

[ECPS02]: Deborah Estrin, David Culler, Kris Pister, and Gaurav Sukhatme. Connecting the physical world with pervasive networks. IEEE Pervasive Computing,1(1) :59_69, 2002.

[17]Elw02: ELMENREICH,W.Sensor fusion in the time triggred system.PH.D.thesis,institute fur technische Informatik,Vienna University of technology,Vienna,Austria.2002

[HKKW03] V. Handziski, A. Kopke, H. Karl, and A. Wolisz, "A common wireless sensor network architecture". Technische Universität Berlin, July 2003, pp.10-17.

[HPHW05] V. Handziski, J. Polastre, J. H. Hauer, C. Sharp, A. Wolisz, and D. Cullery, "Flexible Hardware Abstraction for Wireless Sensor Networks". In Proceedings of the Second European Workshop on Wireless Sensor Networks (EWSN '05),February 2005.

HAL04: HALL, D.L.AND LLINAS,J .An introduction to multi-sensor data fusion .Proc.IEEE 85,1(January),1997

Isabelle Bloch. : Fusion d'informations numériques :panorama méthodologique. Cépaduès - Éditions, 1995.

[JCH00] Jaap C. Haartsen, "The Bluetooth radio system". IEEE Personal Communications Magazine, February 2000, pp. 28-36.

[KPS02] F. Koushanfar, M. Potkonjak, and A. Sangiovanni-Vincentelli, "Fault Tolerance in Wireless Ad hoc Sensor Networks". Proceedings of IEEE Sensors 2002, June 2002.

[12]KLE03:KLEIN.L.A.Sensor and Data Fusion Concepts and Applications.vol.TT14.SPIE Optical Engineering Press, 1993

[LAL12]: cours Mustapha Lalam, université mouloud mammeri (ummto), 2011-2012

[LAK05]: LUO, R. C. AND KAY, M. G. Multisensor Integration and Fusion for intelligent Machines and Systems, Reissue edition Computer Engineering and Computer Science. Ablex Publishing, New Jersey, USA, 1995.

[LMFJ04]: Konrad Lorincz, David J. Malan, Thaddeus R. F. Fulford-Jones, Alan Nawoj, Antony Clavel, Victor Shnayder, Geo_rey Mainland, Matt Welsh, and Steve Moulton. Sensor networks for emergency response : Challenges and opportunities. IEEE Pervasive Computing, 3(4) :16_23, 2004.

[LIA09] LIANG Zhu-jun et al (Information Engineering College, Southwest University of Science and Technology, Mianyang, Sichuan 621000); Application of the Environmental Monitoring Technology in the Protected Agriculture [J]; Journal of Anhui Agricultural Sciences; 2009-16

[LIU08] LIU Fang, LI Zhen-xiao (College of Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China); Research on the Control Mode of Agriculture Greenhouse Control System in China [J]; Journal of Agricultural Mechanization Research; 2008-10

[LYS02] : LUO, R. C., C. -C., AND SU, K. L. Multisensor fusion and integration: Approaches, applications, and future research directions. IEEE Sensors J. 2, 2 (April), 2002.

[MSK04] P. MOHAPATRA, S. V. KRISHNAMURTHY: Ad Hoc Networks Technologies and Protocols. Springer Verlag Telos, 2004, ISBN: 0-387-22689-3.

[MCPS03] Alan Mainwaring, David Culler, Joseph Polastre, Robert Szewczyk, and John Anderson. Wireless sensor networks for habitat monitoring. In WSNA '02, PODS : A Remote Ecological Micro-Sensor Network Project, [http ://www.pods.hawaii.edu/](http://www.pods.hawaii.edu/). L. Alkalai C. Ulmer and S. Yalamanchili. Wireless distributed sensor networks for in-situ exploration of mars. Technical Report 2003-67, NASA, 2003.

[NDS04] F. Nekoogar, F. Dowla, and A. Spiridon, "Self organization of wireless sensor networks using ultra-wideband radios". Atlanta, GA, United States, September 2004.

[ODER03] O. derhab, Le problème d'exclusion mutuelle dans les réseaux mobiles Ad Hoc, thèse de magistère, université des sciences et de la technologie houari Boumediene, 2003.

[PH07] L. Paradis and Q. Han, “A Survey of Fault Management in Wireless Sensor Networks”. Plenum Press New York, NY, USA, 2007.

[PZ06] Practel, Inc. ZigBee, “Technology for Wireless Sensor Networks”. April 2006.

[SCV04]: S. Cheung S. Coleri and P. Varaiya. Sensor networks for monitoring tra_c. In 42nd Allerton Conference on Communication, Control and Computing, 2004.

[SHA06] :SHAFFER, G.A Mathematical Theory of Evidence.Princeton University Press, Princeton,NJ,1976.

[SGSK06] E. Souto, R. Gomes, D. Sadok and J. Kelner, “Sampling Energy Consumption in Wireless Sensor Networks”. IEEE International Conference on Sensor Networks, Ubiquitous, and Trustworthy Computing -Vol 1 (SUTC'06), June 2006.

[SOH07] K. SOHRABY, D. MINOLI, T. ZNATI, Livre:“ WIRELESS SENSOR NETWORKS Technology, Protocols, and Applications”, 2007 by John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved.

[SKA07] Skandar Basrour , Mini projet □ Réseau de capteur sans fil un etat de l'art □ , Universite Joseph Fourier Grenoble. Janvier 2007

[SRA03] Srajan raghuwnshi, « An Energy Efficient Cross Layer Design Scheme for Wireless Sensor Networks», Master's Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, 29Aout 2003.

[TRCP04] I. Teixeira, J. F. de Rezende, A. de Castro, and A. C. P. Pedroza, “Wireless Sensor Network: Improving the Network Energy Consumption”. in XXI Symposium Brazilian Telecommunications, SBT'04, Belem, Brazil, September 2004.

[UDD06]: U.S.Department of Defence, Data fusion Lexicon. Published by Data Fusion Subpanel of the JointDirectors of Laboratoires. Technical Panel for C3(F.E .White,Code4202,NOSC,San Diego, CA).1991.

[WEN07] TAN Wei1, JIANG Nan2 (1.Northeast Forestry University, Heilongjiang Harbin 150040, China;2.JiLin University, Jilin Changchun 130026,China);Research and Design of Greenhouse Intelligent Control System on Single-chip Computer [J];Forestry Machinery & Woodworking Equipment; 2007-11

VAR03: VAN RENESSE, R. The importance of aggregation .In Future Derection in Destributed Computing: Research and Position Papers ,A.schipper,A.A .Shvartsman, H. Weatherspoon ,and B.Y.zhao,EDS.lecture Notes in computer Science ,Vol.2584.Spriner ,Bologna ,Italy ,2003

Références bibliographiques

- [YUZ04] YU Wei-ping,ZHANG Guang-cai,SHI Xin-ning,HUANG Li-jangle Man- zhi , DONG Zhi-gang(Ningxia Forestry Institute,Yinchuan750004,Ningxia,China);Establishment of Energy-saving Solar Greenhouse and Technology of Protective Cultivation on Sand Land[J];Forest Research;2004-S1
- [YAS07] Yasser Romdhane, « Evaluation des performances des protocoles S-MAC et Directed Diffusion dans les réseaux de capteurs », projet de fin d'étude, Ecole Supérieure des communications de Tunis (Sup'Com), 2006/2007
- [ZHZ08] ZHAO Zi-jing et al(Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gans 730070);Discussion on Application of PID Control in Temperature Control System[J];Journal of Anhui Agricultural Sciences;2008-21*
- [ZCL08] T. Zhao, W. D. Cai, and Y. J. Li, "A Sensor Network Topology Inference Algorithm, omputational Intelligence and Security". 2007 International Conference on. January 2008.
- [file:///C:/Users/Micro-News/Desktop/serre%20agricole%20-%20Recherche%20Google.htm\(image seere\)](file:///C:/Users/Micro-News/Desktop/serre%20agricole%20-%20Recherche%20Google.htm(image seere))
- [BOU07] Bouguelid, 2007
- [(DUB&PRA 88] Dubois & Prade, 1988
- [Luo and Kay, 1989].
- Xu et al, 1992