

# Stratégies de déplacement pour l'extension d'un réseau de capteurs mobiles

Chaima Zidi<sup>1</sup>

1 : Université de Gafsa, Faculté des Sciences, Campus Universitaire Sidi Ahmed Zarroug, 2112 Gafsa Tunisie.

Contact : [chaima.zidi@gmail.com](mailto:chaima.zidi@gmail.com)

---

## Résumé

Les réseaux de capteurs mobiles sont de plus en plus émergents. Parmi les applications qui mettent en jeu ce type de réseau, celles qui ont besoin de déplacer un ensemble de capteurs en vue d'étendre la zone initiale de surveillance lors de l'occurrence de nouveaux événements. Un tel déplacement peut conduire au problème de la perte de connectivité qui résulte le partitionnement du réseau. Dans ce papier, nous proposons deux stratégies de déplacement coopératives basées sur deux schémas de déploiement des capteurs redondants : en grille et en ligne (de façon linéaire). Les capteurs redondants sont tout d'abord identifiés, à l'aide d'une technique de pavage répartissant la zone en cellules, puis ils sont déplacés vers la nouvelle position. Les mouvements des noeuds sont collectifs et simultanés en vue de réduire le temps de mobilité et la charge énergétique. Les résultats de simulation à l'aide du simulateur WSNNet montrent que nos approches élargissent la zone de couverture, maintiennent la connectivité et assurent l'acheminement de nouvelles informations vers le noeud de collecte, le sink.

## Abstract

Mobile sensor networks are increasingly emerging. Among the applications that involve this type of network, those who need to move a set of sensors to expand the initial monitoring zone upon the occurrence of new events. Such a displacement can lead to the problem of the loss of connectivity resulting network partitioning. In this paper, we propose two cooperative movement strategies based on two redundant sensor deployment schema : grid and line (linear). The redundant sensors are first identified, using a paving technique dividing the area into cells, then they are moved to the new position. Movements are collective and simultaneous in order to reduce the time mobility and energy charge. Simulation results using the simulator WSNNet show that our approaches extend the coverage area, maintain connectivity, and ensure the delivery of new information to the collect node, the sink.

**Mots-clés :** réseau de capteurs mobiles, connectivité, déploiement, déplacement, événement

**Keywords:** mobile sensor network, connectivity, deployment, relocation, event

---

## 1. Introduction

Les progrès technologiques dans le domaine de l'électronique, la prolifération des équipements sans fil et la croissance des besoins humains en termes de surveillance sont les principales motivations à la vulgarisation d'un dispositif, appelé capteur. Conçu comme un véritable système embarqué, un capteur, en plus de sa fonction initiale de captage, est doté de moyens de traitement, de communication et d'alimentation. Il peut prélever des mesures sur plusieurs types de grandeurs [2] comme la température, la pression, la position, le mouvement, la lumière, le son, ... Préconisé initialement pour les applications de surveillance militaires, l'usage des capteurs s'est émergé à d'autres domaines d'applications [13] comme la détection des secousses sous marines, les feux de forêt, la gestion du trafic routier, le suivi médical, les systèmes de surveillance, la domotique, ...

Un ensemble de capteurs, formant un réseau, est habituellement dispersé dans une zone en vue de recueillir des informations, les traiter, et les transmettre selon un mode de communication multi-saut vers le noeud de collecte, appelé « sink ». Ce dernier réorganise ces informations et les transporte vers l'utilisateur qui peut à son tour utiliser le sink comme passerelle, afin de transmettre ses requêtes au réseau [2]. Selon la nature de l'application, les capteurs peuvent être également mobiles pour couvrir l'apparition de nouveaux événements qui peuvent survenir en dehors de la zone initiale de surveillance. Cependant, les caractéristiques de la zone de surveillance en termes d'inaccessibilité rendent impossible une intervention humaine pour placer manuellement des capteurs ; d'où la nécessité des capteurs mobiles. En effet, les capteurs pourraient être équipés d'un module « Mobilisateur » pour qu'ils puissent se déplacer et pourraient également avoir d'autres modules, comme l'unité de Localisation, afin d'identifier leurs position géographique [2]. Ainsi, certains capteurs se déplacent vers l'endroit de cet événement afin d'avoir des nouvelles informations et des mesures plus précises. Ces capteurs définissent un Réseau de Capteurs sans fil Mobiles (RCM).

Cependant, le déplacement direct des capteurs engendre, dans la plupart des cas, l'isolation de celui ou ceux déplacés qui peuvent s'éloigner les uns des autres et perdre les liens de communication, ce qui conduit à la rupture de la connectivité. Ce problème a retenu l'attention de plusieurs chercheurs [3, 10, 14]. Dans ce papier, nous abordons le problème de la réinstallation d'un ensemble de capteurs pour répondre à un événement en dehors de la zone initiale, à savoir, le déplacement et le déploiement des capteurs pour étendre la zone de surveillance tout en assurant la connectivité. Certains travaux [8, 11, 12] se concentrent sur le déploiement des capteurs déplacés pour fournir une couverture initiale et pour rétablir localement une connectivité perdue. Quant à nous, nous nous intéressons au maintien de la connectivité sur plusieurs niveaux. Tout d'abord, le déplacement ne devrait pas affecter la connectivité déjà établie au sein du réseau de capteurs, ce qui signifie que seul les capteurs redondants peuvent être déplacés pour ne pas créer des creux de connectivité ou de couverture. Deuxièmement, les capteurs devraient rester en communication même au cours de la relocalisation, ce qui signifie que la mobilité doit être collective et simultanée ce qui permet de réduire le temps global des déplacements et aussi de répartir le coût de l'énergie sur l'ensemble des noeuds déplacés. Enfin, les capteurs doivent se positionner de manière à assurer la connectivité entre eux et ainsi le routage des nouvelles informations vers le noeud sink. Dans ce papier, nous nous basons sur une technique de pavage en grille pour l'identification des noeuds redondants en vue de garder la couverture initiale. Inspiré de [7], nous utilisons cette technique dans la dissémination et l'échange des messages entre le noeud sink et les autres noeuds dans le but de minimiser la complexité des messages. Ensuite, nous proposons deux méthodes de relocation (déplacement) collectives pour les capteurs désignés menant à un redéploiement qui à la fois maintient la connectivité et assure l'acheminement des données collectées vers le noeud sink.

Le reste du papier est organisé comme suit. Dans la section 2, nous présentons certains travaux liés au contexte de notre travail. Ensuite, nous décrivons dans la troisième section nos deux approches proposées pour le maintien de la connectivité durant la relocation vers la position cible. La quatrième section est réservée à l'évaluation des performances. Enfin, nous concluons ce papier et présentons nos futurs travaux.

## 2. Travaux liés

Dans la littérature, plusieurs travaux ont adressé le problème de la connectivité dans un RCM. Le premier axe des solutions consiste à déplacer des capteurs en vue de combler les creux de connectivité créés par la défaillance des noeuds. Par exemple, dans [11], les auteurs se proposent de localiser les noeuds critiques dont l'élimination interrompt la communication et les recouvrir par d'autres noeuds en vue d'anticiper la défaillance. Dans [12], les capteurs se déplacent, en cascade, d'une zone plus dense vers une zone moins dense pour maintenir la connectivité initiale. Les noeuds « Maître » dans le réseau se chargent de collecter et d'annoncer les informations sur les capteurs défaillants et les capteurs redondants à déplacer. La connectivité est aussi étudiée dans le domaine robotique [6] où des noeuds robots additionnels sont déployés entre les capteurs pour atteindre une connectivité optimale en présence d'obstacles.

Le second axe des solutions s'intéresse principalement au suivi d'événements. Dans [9], les au-

teurs proposent une méthode distribuée basée sur la notion des forces virtuelles des noeuds pour leur permettre de s'auto déployer dans la zone initiale et de s'attirer vers la position de l'évènement physique grâce à sa puissance attractive. Dans le cadre de la réinstallation des capteurs suite à un nouveau évènement, le travail dans [4] consiste à déplacer les capteurs de façon à approcher la distribution spatiale des évènements. Finalement, dans [5, 8], l'accent est mis essentiellement sur le schéma de déploiement que doit suivre les capteurs pour assurer la couverture.

Dans ces travaux, les noeuds mobiles peuvent se déplacer dans la zone initiale pour maintenir la connectivité ou pour suivre un évènement dans la zone, soit de façon autonome, soit à l'aide des robots, ou encore via des entités intermédiaires, noeuds « Maître ». Notre objectif est différent : nous voulons guider et déplacer des capteurs en réponse d'un évènement prenant place à l'extérieur des limites de la zone de déploiement tout en assurant la connectivité sans recourir à une plateforme robotique, ni ajouter d'autres noeuds supplémentaires. La nature de ce nouvel évènement diffère selon le domaine de l'application. Pour nous, il sera caractérisé par sa position et peut correspondre à une augmentation brusque de la température, un accident routier, une victime demandant du secours, un phénomène physique, un objet que nous espérons découvrir sa nature...

### 3. Stratégies proposées

Dans cette section, nous présentons dans la phase primaire la technique de l'identification des capteurs redondants. Nous décrivons ensuite deux stratégies pour maintenir la connectivité et assurer la robustesse du réseau lors de la couverture de la zone de la cible. Chaque stratégie consiste à la fois en un modèle de mobilité et un schéma de déploiement. Dans la première méthode, les capteurs vont être déployés selon une topologie virtuelle pour propager une partie de la zone initiale sous forme d'une grille. Dans la deuxième méthode, nous plaçons un nombre réduit de capteurs linéairement entre l'extrémité de la zone initiale et la cible.

#### Hypothèses et définitions

Nous considérons un réseau composé de  $N$  capteurs mobiles, déployés sur une zone géographique bidimensionnel dont  $L$  et  $H$  sont respectivement sa largeur et sa hauteur. Les noeuds sont repérés à un instant donné par leurs coordonnées  $(x, y)$ . Ils peuvent se déplacer avec la même vitesse, et ont la même portée de détection (sensing range  $R_s$ ) et la même portée de communication (communication range  $R_c$ ). Un noeud est capable de communiquer avec les noeuds dans sa portée de communication  $R_c$ , et de détecter un évènement dans l'espace intérieur de sa zone de détection  $R_s$ . Un noeud est alors redondant si sa zone de captage est totalement couverte par d'autres noeuds dans son entourage [12]. Nous admettons aussi que chaque point de la zone initiale est couvert par plusieurs capteurs déployés pour assurer le critère de la redondance, que la connectivité est initialement maintenue entre chaque noeuds et que  $R_c = 2R_s$  [14]. Enfin, nous assumons que le noeud sink est le premier noeud déployé, de coordonnées  $(X, Y)$ , et il est informé de la position de l'évènement cible de coordonnées  $(x_c, y_c)$ . Il est également responsable de propager cette information et de prévoir le nombre des capteurs nécessaires pour la couverture de la nouvelle zone. Nous adressons le cas où il y aura l'occurrence d'un unique évènement.

#### 3.1. Phase primaire

Déterminer quel capteur est redondant est un problème qui n'est pas simple. En effet, il n'est pas évident pour un seul capteur de savoir, d'une manière indépendante, s'il est redondant ou non. Une technique de pavage en grille est une solution naturelle à ce problème qui permet de faciliter la détermination des capteurs redondants. Elle permet également de minimiser le nombre de capteurs ACTIVE déployés sur le terrain et elle est composée de deux étapes. La première étape consiste à réorganiser la zone en cellules carrées dont l'arrête, noté  $p$ , est égale à  $a$  ( $p = a = R_c/\sqrt{5}$ ). La longueur  $a$  est choisie de manière à ce que la distance maximale,  $D_{max}$ , séparant deux capteurs éloignés de deux cellules adjacentes ne dépasse jamais le rayon de communication  $R_c$  ( $D_{max} \leq R_c$ ). En effet, la distance  $D_{max}$  représente le diamètre du rectangle composé de deux cellules adjacentes d'arrête  $a$ , ce qui signifie que  $D_{max} = \sqrt{(a^2) + ((2a)^2)} = a\sqrt{5}$ . Si  $D_{max} = R_c$ , alors  $a = R_c/\sqrt{5}$ . L'objectif de cette répartition est de garder qu'un seul capteur ACTIVE (capteur maître) au niveau de chaque cellule pour assurer la couverture et la connectivité; le reste est

considéré, par définition, « redondant ». Pour ce faire, nous nous basons sur des coordonnées virtuelles  $(l, c)$ , établies par rapport à la grille avec  $l$  est le numéro de la ligne,  $c$  est le numéro de la colonne, et qui caractérisent chaque capteur. Ces coordonnées sont calculées tout au début et sont données par  $l = E(|y - Y|/a)$  et  $c = E(|x - X|/a)$  avec  $(x, y)$  sont les coordonnées du noeud, et telque  $E$  est la partie entière.

Ensuite, au cours de l'étape suivante, chaque ensemble de capteurs appartenant à une même cellule procède à l'élection du maître de leur cellule. Pour simplifier cette procédure, le capteur ayant le plus grand identifiant sera nommé et annoncé maître. Tous les autres noeuds sont alors redondants et passent à l'état SOMMEIL (état de veille) sauf le noeud maître.

À la fin, chaque noeud dispose de l'identifiant du maître de sa cellule. Quant à ce dernier, il détient toutes les caractéristiques des noeuds capteurs dans son entourage tels que l'identifiant, la position et l'énergie, qui permettent au noeud maître d'identifier les capteurs redondants endormis. La figure 1 illustre l'état du réseau étudié suite à cette phase. Cette organisation virtuelle est

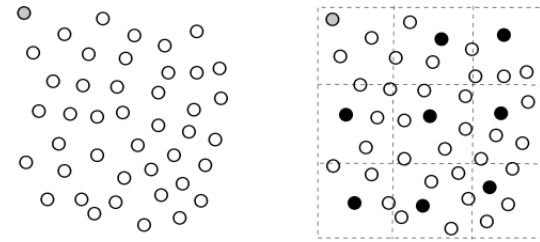


FIGURE 1 – Établissement de la grille. L'état initial du réseau est à gauche. Le réseau en grille est à droite. Le noeud sink est en gris; les noeuds maîtres est en noir; les autres sont des capteurs redondants.

utilisée par la suite pour canaliser les messages diffusés suivant les lignes et les colonnes. En effet, le noeud sink est chargé de diffuser les coordonnées de la position ciblée vers les capteurs maîtres. Au lieu d'inonder le message dans tout le réseau, le noeud sink envoie verticalement le message Req\_Sink incluant la position : c'est à dire vers les noeuds de la même colonne que lui. Puis, ces noeuds communiquent la position aux autres noeuds maîtres de la même ligne.

### 3.2. Stratégie de déplacement en grille

Rappelons que notre objectif est d'élargir la zone de surveillance en déplaçant des noeuds redondants jusqu'à atteindre la position ciblée. Maintenant que les capteurs redondants sont identifiés, la première stratégie proposée consiste à couvrir la surface séparant la zone initiale et la position ciblée par un ensemble de capteurs qui sera déployé sous forme d'une grille. Les dimensions  $l_g$  (la longueur) et  $h_g$  (la hauteur) de cette grille sont déterminées en se basant sur les coordonnées de la cible  $x_c, y_c$  et les dimensions de la zone initiale  $L$  et  $H$ , et elles sont respectivement égales à  $l_g = |L - x_c|$  et  $h_g = |H - y_c|$ . Cette grille virtuelle est formée par conséquent d'un nombre de lignes  $i = h_g/a$  et d'un nombre de colonnes  $j = l_g/a$ . Le nombre de capteurs  $k$  nécessaire pour la couverture de cette surface est donc égal au nombre des cellules carrées qui compose la grille et est calculé comme suit :  $k = i * j$ . Ces capteurs sont choisis de la grille extrême de la zone initiale. Elle est symétrique à celle tracée précédemment. Il suffit donc de déplacer un seul capteur de chaque cellule de la grille extrême vers sa position dans la nouvelle surface. Cette procédure de calcul est achevée par le noeud sink qui diffuse le message Req\_Sink et déclenche par la suite la procédure de déplacement des capteurs. En effet, à la réception de Req\_Sink, le noeud maître vérifie si sa cellule fait partie de la grille symétrique. Dans ce cas, le maître envoie un message MOVE à un capteur pour qu'il déclenche son déplacement vers la cible. Par contre, si seulement sa ligne est comprise dans les lignes formant la grille symétrique, le noeud maître transmet cette requête vers ses voisins successeurs dans la même ligne. D'autre part, si ce maître est sur la même colonne que le sink, il rediffuse la requête vers les autres noeuds des cellules voisines dans la même colonne.

Tous les noeuds désignés se déplacent simultanément et avancent avec le même pas qui est égal à  $a$  (arrête de la cellule). Par conséquent, la connectivité sera toujours maintenue même lors de déplacement. Cette méthode de mobilité est avantageuse non seulement sur le plan énergétique, mais aussi en terme de temps. En effet, lorsque le capteur de l'extrémité de la grille arrive près de la cible, il s'arrête dans cette position et ordonne au reste de s'arrêter. Finalement, cette approche donne lieu à un redéploiement en grille.

Toutefois, selon cette topologie, certains capteurs déplacés ne sont pas tous utiles pour maintenir la connectivité lors de l'acheminement des données relevées sur le nouvel évènement. En plus dans le cas où la position cible est très lointaine, il faut utiliser une grille plus large que celle de la zone initiale. Pour pallier à ces deux défauts, nous souhaitons minimiser le nombre  $k$  des capteurs déplacés et atteindre la position de la cible même si elle est très éloignée de la zone initiale.

### 3.3. Stratégie de redéploiement en ligne

Au cours de cette approche, juste un ensemble minimal de capteur se déplacent vers l'évènement. Cet ensemble sera redéployé sous forme d'un pont reliant la zone de surveillance initiale à la localisation de la cible et il sera choisi à chaque fois d'un ensemble réduit de cellules tant qu'elles contiennent des capteurs redondants. Afin de réduire le temps de réponse à l'évènement, les capteurs appartiennent à des cellules de l'extrémité de la zone, et particulièrement, de l'extrémité la plus proche de la position ciblée.

Comme dans la première solution, pour déclencher les déplacements, le message Req\_Sink va être relayé du noeud sink jusqu'aux maitres des cellules extrêmes selon les lignes et les colonnes. Chaque noeud maitre diffuse un message MOVE vers tous les capteurs de sa cellule. Ensuite, ces capteurs se déplacent progressivement et simultanément d'une manière autonome vers la direction de la cible. Chaque fois qu'ils avancent d'une distance  $a$ , un capteur est déployé. De ce fait, l'ensemble des capteurs sera déployé linéairement entre l'extrémité de la zone et l'emplacement de la cible.

## 4. Évaluation des performances

Dans cette section, nous présentons certains résultats préliminaires de l'évaluation des performances de nos deux algorithmes proposés que nous avons implémentés au sein de WSNNet [1]. Ce dernier est un simulateur dédié aux réseaux de capteurs et est composé d'un ensemble de modules permettant de simuler les couches protocolaires (Application, Routage, MAC, Physique), mais aussi de la mobilité des capteurs. Nous avons intégré un nouveau module au niveau applicatif implémentant le modèle de dissémination des messages selon les lignes et les colonnes et deux nouveaux modules de mobilité pour chaque stratégie. L'outil « WSNNet-replay » nous permet

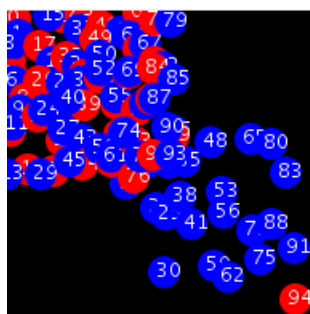


FIGURE 2 – Déploiement en grille

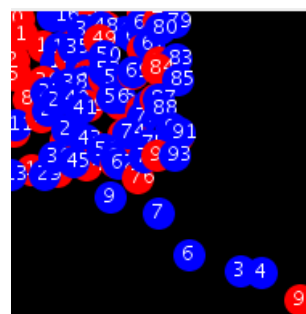


FIGURE 3 – Déploiement en ligne

de visualiser les mouvements des capteurs et ainsi le schéma de déploiement final. Les figures 2 et 3 illustrent respectivement le déploiement en grille et le déploiement en ligne suite aux déplacements des capteurs. Dans ces deux figures, les noeuds maitres sur la zone initiale sont en rouge et les noeuds simples sont en bleu. Le noeud portant le numéro 94 coloré en rouge est un noeud fictif

représentant l'évènement cible. Afin de capter de nouvelles données, les capteurs se déplacent de la zone initiale la plus dense vers la position de l'évènement tout en gardant la connectivité avec les capteurs de la zone initiale. Dans la suite, nous analysons tout d'abord les performances du module de dissémination des messages dans la zone initiale. Ensuite, nous comparons les deux modules de mobilité proposés à travers trois scénarii en se basant sur les critères suivants : le nombre de capteurs déplacés, le temps écoulé et l'énergie dissipée. Dans le tableau suivant, nous résumons les caractéristiques de chaque scénario.

	surface	nombre de capteurs	la cible (x,y)
scénario 1	100*100	95	(180,180)
scénario 2	150*150	200	(200,190)
scénario 3	200*200	353	(220,250)

TABLE 1 – Caractéristiques des scénarii

#### 4.1. Module de dissémination des messages

Nous comparons notre modèle implémenté avec une méthode de dissémination de messages classique basée sur l'inondation ou flooding. La figure 4 montre que le nombre de messages échangés est étroitement lié au nombre de capteurs mis en jeu. D'autre part, contrairement à la méthode d'inondation, notre méthode réduit considérablement le nombre des messages qui circulent dans le réseau. Cette réduction est due au fait que ce modèle permet de canaliser le flux des messages selon une direction bien déterminée. De ce fait, seuls les noeuds maitres dans cette direction seront concernés par la réception et la retransmission du paquet reçu. La retransmission s'accomplit à son tour selon une direction donnée en se basant sur l'emplacement du noeud maitre par rapport à la cible.

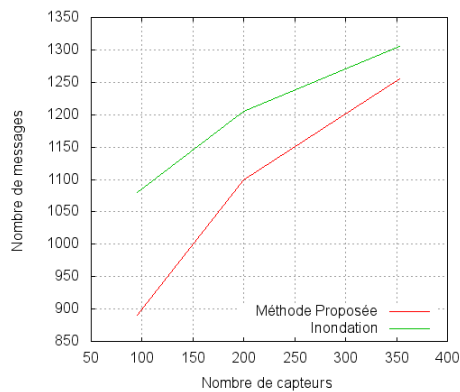


FIGURE 4 – Messages disséminés

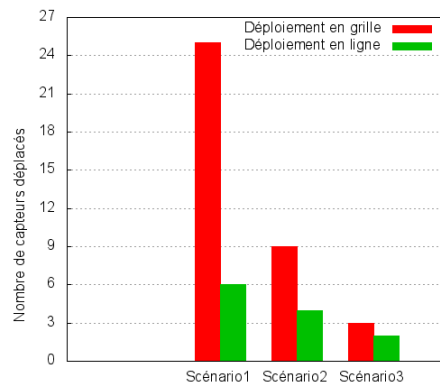


FIGURE 5 – Nombre de capteurs déplacés

#### 4.2. Modules de mobilité

Comme le représente la figure 5, le nombre des capteurs désignés, que se soit dans la première et la deuxième solution, varie selon la position de la cible. Or, nous constatons que le nombre de capteurs mis en jeu selon la première solution (Redéploiement en grille) dépasse celui des capteurs mis en jeu selon la deuxième solution (Redéploiement en ligne). En effet, le nombre de capteurs influe sur la distance totale parcourue par tous les capteurs. Comme le nombre des capteurs déplacés au cours de la deuxième solution est réduit, alors la distance totale parcourue est aussi réduite.

Dans ce paragraphe, nous évaluons la charge énergétique dissipée par la mobilité. Nous avons adopté le modèle énergétique proposé dans [12], qui fixe une consommation de 27,96 joule(j) par mètre parcouru. Pour implémenter ce modèle, nous avons considéré que chaque capteur a une énergie initiale de  $10^5$  j et puis nous avons défini une fonction qui calcule la consommation. A l'instar de la figure 6, l'énergie totale consommée lors de la première solution est beaucoup plus importante que celle dissipée lors de la deuxième solution.

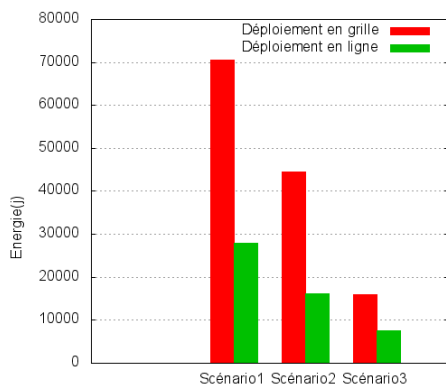


FIGURE 6 – Énergie consommée par la mobilité



FIGURE 7 – Durée de déplacements

Enfin, nous couronnons nos expérimentations par la mesure du temps écoulé pendant le déroulement des déplacements menant aux schémas de redéploiement. La mesure se déclenche avec le déclenchement de la mobilité du premier capteur. Comme le met en relief la figure 7, la première solution se déroule en un temps plus important que celui du déroulement de la deuxième solution dans le premier et le deuxième scénarii. Cependant à partir d'un certain nombre de capteurs (scénario 3), la différence du temps de déroulement devient minimale. Cela est due au fait que les mouvements des capteurs sont parallèles : c'est à dire que la mobilité de tous les capteurs se déclenche au même instant, et que lors du déplacement d'un capteur selon la deuxième solution, un certain nombre de capteurs d'un même niveau (ligne et /ou colonne) se déplacent ensemble. Par la suite, la deuxième solution est presque similaire à la première en termes de temps de déroulement.

## 5. Conclusion et perspectives

Dans ce papier, nous avons présenté deux approches remédiant à la perte de la connectivité lors du suivi d'un évènement survenant en dehors de la zone de déploiement initiale. Nos solutions reposent sur le caractère distribué et coopératif des capteurs constituant le réseau pour une prise de décision plus sûre. Elles se déroulent essentiellement en trois phases. La première phase permet de répartir la zone en clusters. Chacun des clusters est supervisé par un maître. Ce dernier coopère avec les autres noeuds maîtres et le noeud sink lors de la deuxième phase de dissémination pour la désignation des capteurs à déplacer. La dernière phase correspond aux déplacements des capteurs donnant lieu aux différents schémas de redéploiement : en grille et en ligne. Les évaluations des performances via le simulateur WSNNet montrent l'intérêt des deux méthodes en termes de maintien de la connectivité au sein du réseau. L'ensemble des noeuds se déplacent d'une manière simultanée et organisée en vue de répartir la consommation de l'énergie et de garder les liens de communication.

Les résultats de simulation sont cohérents avec l'étude théorique établie. La deuxième solution présente des meilleures performances en termes de déplacement de capteurs concernant la distance parcourue, et par conséquent en termes d'énergie consommée. Cela aura un impact inéluctable sur le prolongement de la durée de vie du réseau. En revanche, en termes de temps, nous

constatons que les deux solutions se déroulent en un temps très proche.

Dans une optique de perspective et amélioration, nous souhaitons adapter ces deux approches à la couverture multi-événements qui seront localisés dans des différents endroits. Nous envisageons également de concevoir une solution, combinant les avantages de la première solution en termes de résistance aux pannes, et les atouts de la deuxième solution en termes de réduction du nombre de capteurs mis en jeu lors du redéploiement, afin de pouvoir comparer les différentes approches proposées avec des références récentes traitant le même problème, et ainsi mener une évaluation des performances plus complète.

### Bibliographie

1. Wsnnet / worldsens simulator.
2. I.F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci. Wireless sensor network : A survey. *Computer Networks*, 2002.
3. X. Bai, S. Kumar, D. X. Ziqiu, Y. Ten, and H. Lai. Deploying wireless sensors to achieve both coverage and connectivity. *ACM MobiHoc*, 2006.
4. Zack Butler and Daniela Rus. Event-based motion control for mobile sensor networks. *IEEE Pervasives Computing*, 2003.
5. Teddy M. Cheng and Andrey V. Savkin. A distributed self-deployment algorithm for the coverage of mobile wireless sensor networks. *IEEE Communications Letters*, 2009.
6. B. Ciubotaru, R. Cioarga, D. Chiciudean, M.V. Micea, and M. Stratulat. Connectivity improvement in wireless sensor networks based on mobile nodes. *IMTC*, 2007.
7. S.M. Das, H. Pucha, and Y. Charlie Hu. Performance comparison of scalable location services for geographic ad hoc routing. *IEEE INFOCOM*, 2005.
8. W. Fan, H. Zhang, X. Cai, and H. Liu. Redeployment for mobile wireless sensor networks. *International Conference on Information and Automation*, 2008.
9. M. Garetto, M. Griboudo, C. Chiasserini, and E. Leonardi. A distributed sensor relocation scheme for environmental control. *IEEE International Conference on Mobile Adhoc and Sensor Systems*, 2007.
10. Koushik Kar and Suman Banerjee. Node placement for connected coverage in sensor networks. *Proceedings of the Workshop on Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc and Wireless Networks (WiOpt'03), Sophia Antipolis, France*, 2003.
11. B. Khelifa, H. Haffaf, M. Madjid, and D. Llewellyn-Jones. Monitoring connectivity in wireless sensor networks. *International Journal of Future Generation Communication and Networking*, 2009.
12. G. Wang, G. Cao, T. La Porta, and W. Zhang. Sensor relocation in mobile sensor networks. *IEEE INFOCOM*, 2005.
13. N. Xu. A survey of sensor network applications. *IEEE Communications Magazine*, Vol. 40, 2002.
14. H. Zhang and Jennifer C. Hou. Maintaining sensing coverage and connectivity in large sensor networks. *Ad Hoc and Sensor Wireless Networks*, Vol. 1, No. 1-2., 2005.

---

*Ce travail s'inscrit dans le cadre d'un projet de coopération STIC-Tunisie, STI-tu1007, « Auto-adaptativité d'un réseau de capteurs mobiles : vers un réseau écologique de capteurs », entre l'INRIA-Rocquencourt et l'ENSI Tunis.*

---