



HAL
open science

Contribution au déploiement optimisé des réseaux de capteurs sans fil

Sami Mnasri, Nejah Nasri, Thierry Val

► **To cite this version:**

Sami Mnasri, Nejah Nasri, Thierry Val. Contribution au déploiement optimisé des réseaux de capteurs sans fil. Journées Nationales des Communications Terrestres (JNCT), May 2014, Toulouse-Blagnac, France. pp. 75-86. hal-01178563

HAL Id: hal-01178563

<https://hal.science/hal-01178563v1>

Submitted on 20 Jul 2015

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Open Archive TOULOUSE Archive Ouverte (OATAO)

OATAO is an open access repository that collects the work of Toulouse researchers and makes it freely available over the web where possible.

This is an author-deposited version published in : <http://oatao.univ-toulouse.fr/>
Eprints ID : 13074

To cite this version Mnasri, Sami and Nasri, Nejah and Val, Thierry
Contribution au déploiement optimisé des réseaux de capteurs sans fil.
(2014) In: Journées Nationales des Communications Terrestres (JNCT),
22 May 2014 - 23 May 2014 (Toulouse-Blagnac, France).

Any correspondance concerning this service should be sent to the repository administrator: staff-oatao@listes-diff.inp-toulouse.fr

Contribution au déploiement optimisé des réseaux de capteurs sans fil

Sami MNASRI¹, Nejah NASRI² et Thierry VAL³

^{1,3} Université de Toulouse, Laboratoire CNRS-IRIT équipe IRT

² Ecole Nationale des Ingénieurs de Sfax, Laboratoire LETI équipe ISCSF

¹Sami.Mnasri@fsgf.rnu.tn, ²nejah.nasri@isecs.rnu.tn, ³val@irit.fr

Résumé : Les réseaux de capteurs sans fil (RCSF) sont un domaine de recherche en évolution continue avec une multitude de contextes d'application. Le déploiement des nœuds capteurs est une phase décisive qui influe considérablement sur le fonctionnement et la performance du réseau. Dans ce papier, nous nous intéressons à étudier le positionnement et le placement des nœuds capteurs dans un RCSF. Nous présentons tout d'abord la problématique de déploiement et nous détaillons ensuite les travaux de recherche les plus récents qui concernent les méthodologies de résolution de cette problématique.

Mots clefs : RCSF, optimisation, déploiement, positionnement, couverture, énergie, connectivité.

1. INTRODUCTION A LA PROBLEMATIQUE DE DEPLOIEMENT DES NŒUDS DANS UN RCSF

La performance d'un réseau de capteur sans fil est considérablement influencée par le processus de déploiement des nœuds capteurs. La problématique de déploiement ou de positionnement des nœuds capteurs dans un RCSF est une stratégie qui sert à définir la topologie du réseau, donc le nombre et la position des nœuds capteurs. La qualité de la surveillance, la connectivité, et la consommation d'énergie sont aussi directement affectées par la topologie de réseau. D'autre part, le problème de placement optimal des nœuds est un problème qui a été prouvé NP-difficile pour la plupart des formulations de déploiement des nœuds [1].

Les différentes tâches au niveau du déploiement peuvent être rassemblées sous trois phases principales. Une phase de pré-déploiement et de déploiement concerne le placement manuel des nœuds par un humain ou un robot, ou le lancement des nœuds à partir d'un hélicoptère par exemple. Une phase de post-déploiement est nécessaire si la topologie du réseau a évolué, suite par exemple à un

déplacement de nœuds, ou un changement des conditions de propagation radio. La troisième phase considère le redéploiement qui consiste à ajouter de nouveaux nœuds au réseau pour remplacer certains nœuds défectueux ou en panne. Le système peut itérer sur les phases 2 et 3.

Différentes problématiques sont étudiées au niveau du déploiement des nœuds capteurs dans un RCSF. Ces études concernent principalement les cas stationnaires et mobiles, les cas mono et multi objectifs, les aspects déterministes et stochastiques, et enfin les cas statiques et dynamiques.

Les auteurs dans [2] proposent une étude détaillée du déploiement dans le cas statique. Ils distinguent deux méthodologies de déploiement selon la distribution des nœuds (soit aléatoire, soit contrôlé). Les objectifs primaires traités sont différents :

- la couverture : qui est parmi les problèmes les plus prépondérants pour garantir la qualité de service dans un réseau sans fil. Plusieurs types de couverture sont présentés : la couverture par point, la couverture de régions, la couverture de barrière ou celle d'une cible en mouvement,

- l'optimisation de la consommation de l'énergie par les nœuds et l'assurance d'une efficacité énergétique,

- la connectivité du réseau,

- la durée de vie du réseau,

- le trafic du réseau,

- la fiabilité des données,

- le coût de déploiement (fonction du nombre de nœuds déployés),

- la tolérance aux pannes et l'équilibrage de charge entre les nœuds.

Dans le contexte de déploiement dynamique, les auteurs dans [2] présentent les travaux proposant des schémas de repositionnement des nœuds capteurs et les problématiques en relation.

Dans ce qui suit, nous visons à présenter les approches centralisées, décentralisées et hybrides utilisées pour résoudre la problématique de déploiement. Nous présentons ensuite quelques problématiques analogues et quelques applications du déploiement.

2. TRAVAUX RECENTS ET METHODOLOGIES DE RESOLUTION

2.1. APPROCHES CENTRALISEES

Différentes approches centralisées sont développées et testées pour résoudre la problématique de déploiement des nœuds dans un RCSF. Entre autres, nous pouvons citer les suivantes : les algorithmes de *Bernoulli* (BDA), les approches basées sur la partition de *Voronoi* (VPA), les approches basées sur les forces virtuelles (VFA), les algorithmes de champ potentiel (PFDA), les algorithmes différentiés de déploiement (DDA), les approches d'optimisation évolutionnaires et d'intelligence collectives. Nous présentons dans ce qui suit les différents travaux récents dans ce contexte.

Les algorithmes de force virtuels (VFA) sont des approches populaires pour le problème de couverture et de déploiement des nœuds. En effet, les nœuds sont considérés comme des points soumis à une force de répulsion et d'attraction exercée entre eux et qui peuvent se déplacer en fonction de la force calculée. Dans les travaux de [3], un algorithme de déploiement pour les réseaux de capteurs mobiles qui est basé sur la force de *van der Waals* est proposé. En effet, une force de frottement est introduite dans l'équation de la force, la relation de contigüité des nœuds est définie par la triangulation de *Delaunay*, la force calculée produit une accélération pour les nœuds pour se déplacer. Une métrique d'évaluation appelée fonction de corrélation par paire est introduite pour évaluer l'uniformité de la distribution des nœuds.

Dans [4] les auteurs se sont intéressés aux réseaux auto-organisés avec intelligence collective en essaim (*swarm* intelligence). Ils présentent les différents aspects des mécanismes bio-inspirés et examinent les différents algorithmes qui ont été appliqué à des systèmes de réseaux auto-organisés. Ils s'intéressent à l'algorithme bio-inspirés existant tels que l'algorithme de colonies de fourmis, l'algorithme d'abeilles ou l'algorithme d'optimisation par essaims particuliers. De plus, ils présentent et discutent les différentes problématiques des réseaux auto-organisés du point de vue de la couche physique, la couche MAC et la couche réseau.

Les travaux de [5] proposent une méthodologie multi-objectif pour résoudre le problème de déploiement et d'affectation de l'énergie (*Deployment and Power Assignment Problem*). Cet algorithme évolutionnaire multi-objectif est basé sur la décomposition (MOEA/D : *Multi Objective Evolutionary Algorithm/Decomposition*). Ce problème est décomposé en un ensemble de sous-problèmes scalaires qui sont classifiés selon leurs préférences en objectifs et qui sont traitées en parallèle en utilisant les informations de voisin et les opérateurs évolutionnaires

spécifiques. A chaque itération de l'algorithme évolutionnaire proposé, les opérateurs proposés adaptent et fixent dynamiquement les exigences et les préférences en objectifs pour chaque sous-problème. Selon leurs résultats numériques, l'algorithme MOEA/D est meilleur que le NSGAIII pour différentes instances.

Dans leurs travaux, les auteurs de [6] modifient l'équation de l'abeille observatrice et de l'abeille exploratrice de l'algorithme de colonie d'abeilles (ABC). En effet, certains nouveaux paramètres sont introduits tels que l'oubli et le facteur voisin pour accélérer la vitesse de convergence et la probabilité de mutation pour maximiser le taux de couverture. Selon eux, en le comparant par rapport au déploiement basé sur l'algorithme ABC (*Artificial Bee Colony*) original et ou celui d'optimisation par essaims particuliers, L'approche proposée peut atteindre une meilleure performance en couverture et en vitesse de convergence avec moins de distance de déplacement des capteurs.

Les auteurs dans [7] présentent un algorithme génétique qui recherche une solution au problème des trous de couverture dans le réseau. L'algorithme proposé détermine le nombre minimum et les meilleurs emplacements des nœuds mobiles qui doivent être ajoutés après le déploiement initial des nœuds fixes. La performance de l'algorithme génétique proposé a été évaluée à l'aide de plusieurs indicateurs, et les résultats de simulation montrent que cet algorithme permet d'optimiser la couverture du réseau en termes de ratio de couverture global et de nombre de nœuds mobiles supplémentaires.

Les travaux de [8] étudient les différentes approches multi-objectif pour la résolution de la problématique de déploiement des capteurs suivant différentes paramètres (couverture, scalabilité, connectivité, coût, durée de vie, latence). Les auteurs présentent dans cette étude, les travaux basés sur les algorithmes génétiques et ceux basés sur les essaims particuliers. Ils présentent également les différents environnements de simulation dans le cas multi-objectif. Cette simulation est décomposée en deux phases. La première consiste à simuler le comportement des nœuds et les résultats sont optimisés jusqu'à atteindre la convergence. La deuxième phase consiste à alimenter un réseau de simulation par les résultats obtenus pour vérifier la solution trouvée.

Les travaux de [9] étudient le problème de déploiement des RCSF en termes de couverture et consommation d'énergie des nœuds mobiles. Cinq algorithmes de déploiement sont développés pour maximiser la portée de détection et minimiser la consommation d'énergie pour maximiser la durée de vie. Ces algorithmes fournissent également la possibilité de redéploiement lorsqu'un certain nombre de nœuds est inopérant. Deux

algorithmes centralisés d'optimisation sont développés, un est basé sur l'optimisation par essais particuliers (OEP) et un autre basé sur les algorithmes génétiques (AG). Ce dernier algorithme est employé pour déterminer le compromis optimal entre le rapport de couverture du réseau et la distance globale parcourue par les nœuds mobiles ayant un rayon de détection fixe. L'algorithme d'optimisation par OEP est employé pour assurer la couverture du réseau et réduire au minimum l'énergie consommée par les nœuds mobiles ayant des portées de détection ajustables. Selon leurs résultats, en optimisant l'énergie, cet algorithme permet d'étendre la durée de vie du capteur entre 1.4 et 10 fois.

Dans leurs travaux de recherche, les auteurs de [10] s'adressent au problème de déploiement statique des réseaux de capteurs sans fil. Leurs travaux de recherches visent la satisfaction et l'optimisation des objectifs suivants : le coût de déploiement (le nombre de nœuds), la qualité de surveillance, la connectivité du réseau, et la durée de vie de ce dernier. Les auteurs proposent plusieurs stratégies de déploiement heuristiques et abordent le problème en trois étapes. Dans la première étape, ils considèrent le coût de déploiement et la qualité de surveillance uniquement. Ils proposent une nouvelle stratégie de déploiement appelée algorithme de déploiement différencié (*Differentiated Deployment Algorithm*), basée sur le traitement d'image et la modélisation 3D. Dans la deuxième étape, ils étendent les travaux de la première étape en ajoutant comme objectif la connectivité du réseau. En effet, ils proposent deux stratégies de déploiement basées sur la méta-heuristique de recherche Tabou. La première stratégie est l'algorithme de déploiement de Bernoulli (*Bernoulli Deployment Algorithm*), qui est une stratégie probabiliste dans laquelle la décision pour déployer ou enlever un nœud suit une distribution de Bernoulli. La deuxième stratégie est l'algorithme potentiel de déploiement (*Potential Field Deployment Algorithm*) qui est une méthode déterministe se basant sur un des principes de la robotique: les forces virtuelles (*Virtual Forces*).

2.2 APPROCHES DISTRIBUEES

En plus des approches centralisées, on trouve les approches distribuées qui exploitent les avantages de la distribution pour mieux résoudre la problématique de déploiement. Dans ce contexte, les travaux de [9] étudient également le problème de déploiement des RCSF dans le cas distribué. Trois algorithmes d'optimisation distribués sont également développés, sans l'utilisation d'un nœud central, pour replacer les nœuds et optimiser la couverture réseau. Chaque algorithme est coopérativement exécuté par tous les nœuds qui utilisent et communiquent entre eux des

informations limitées pour se relocaliser et réaliser une meilleure couverture. Deux de ces algorithmes utilisent les positions relatives entre les nœuds pour optimiser la couverture et la consommation d'énergie. Ils permettent une baisse de consommation d'énergie entre 20% et 25%. Le troisième algorithme est, selon les auteurs, le premier algorithme développé pour les réseaux dépourvus de la possibilité d'auto-localisation. Il soutient le déploiement optimal de tels réseaux sans exiger l'utilisation d'un matériel de géolocalisation ou l'optimisation de la consommation d'énergie pour les algorithmes de localisation. Selon eux, ceci est important pour les applications de surveillance à l'intérieur parce que les algorithmes de localisation actuels ne peuvent pas facilement fournir une bonne exactitude pour le redéploiement des capteurs dans des environnements intérieurs.

2.3 APPROCHES HYBRIDES

Les approches hybrides consiste à utiliser deux techniques ou plus pour résoudre la problématique voulue. Il reste à trouver le bon schéma d'hybridation et savoir combiner ces méthodes pour en tirer des avantages. Dans ce contexte, différentes hybridations sont proposées. Entre autres, on cite les suivantes :

Les auteurs de [10] ont ainsi résolu la problématique de déploiement en considérant simultanément tous les objectifs indiqués précédemment. La stratégie proposée est appelée algorithme de déploiement multi-objectif (*Multi-Objective Deployment Algorithm*). Elle est basée sur un algorithme de forces virtuelles et de recherche tabou multi-objectif.

Parmi les métaheuristiques les plus récentes, on cite celle qui est basée sur la théorie de la biogéographie insulaire (BBO : *Biogeography based optimization*). Dans [11], les auteurs proposent de nouvelles versions BBO hybrides pour résoudre les problèmes d'optimisation globale avec des variables continues avec et sans contraintes. Ces nouvelles versions BBO hybrides ont comme objectif l'empêchement de la lente convergence et le manque de diversité de l'algorithme BBO. La première hybridation proposée est coupler le BBO avec l'algorithme d'évolution différentielle (DE : *Differential Evolution*) pour la résolution des problèmes d'optimisation sans contrainte, en particulier pour les problèmes multimodaux. La seconde hybridation proposée consiste à utiliser trois nouvelles variantes de BBO pour résoudre les problèmes d'optimisation sous contraintes. Pour tester les méthodes proposées, les auteurs proposent la résolution du problème d'allocation de la puissance pour détecter le signal déterministe dans un RCSF d'une manière décentralisée. Leur objectif global était la minimisation de l'énergie allouée aux nœuds capteurs, en garantissant une faible probabilité d'erreur de détection. Avec ce même

objectif, une deuxième application est proposée. Elle consiste à segmenter les images en niveaux de gris avec un seuillage multi-niveaux en appliquant une variante floue de l'algorithme BBO (*DBBO-Fuzzy*).

Les travaux de [12] s'intéressent à l'étude de la couverture dans les réseaux de capteurs qui est l'un des paramètres de qualité de service. En effet, la couverture doit être assurée de façon à ce que l'énergie consommée des capteurs soit la plus limitée pour augmenter la durée de vie du réseau. Les auteurs proposent un algorithme d'optimisation par essais particuliers hybridé avec un algorithme d'évolution différentielle. Un algorithme d'optimisation par essais particuliers OEP est mis en œuvre pour comparer l'efficacité du modèle hybride dans la même situation. Les résultats de leurs expériences montrent que l'algorithme hybride permet une durée de vie du réseau plus longue et une utilisation plus optimisée de l'énergie des capteurs. Les auteurs de [13] proposent un algorithme basé sur l'optimisation par essais particuliers (OEP) et sur le diagramme de *Voronoi*. L'OEP est utilisé pour déterminer le schéma de déploiement des capteurs assurant la couverture optimale alors que le diagramme de *Voronoi* est utilisé pour évaluer la fonction objective de la solution.

On trouve aussi les travaux de [14] qui visent la maximisation de la zone de couverture dans un RCSF en se servant d'un modèle probabiliste. Un algorithme nommé CSAPO (*Clonal Selection Artificial Physics Optimisation Algorithm*) est proposé. Cet algorithme est la combinaison de deux algorithmes : l'algorithme d'optimisation physique artificielle (APO : *Artificial Physics Optimisation Algorithm*) et l'algorithme de sélection par clonage (CSA : *Clonal Selection Algorithm*). L'APO est utilisé pour mettre à jour l'objectif global alors que la CSA est utilisé pour permettre à l'algorithme précédent de s'échapper des optimaux locaux.

Le tableau 1 résume les travaux mentionnés et leurs spécificités.

3. PROBLEMATIQUES ANALOGUES ET APPLICATIONS

Plusieurs problématiques analogues sont envisagées et différentes applications ont été déployées en utilisant les approches mentionnées. Dans ce contexte, les auteurs de [15] étudient la problématique d'optimisation d'énergie pour le problème de couverture dans les réseaux de capteurs. Ils détaillent les facteurs de conception des RCSF et présentent les problématiques de couverture analogues à celles de couverture dans les RCSF. Ils s'intéressent en particulier aux problèmes de galerie d'art (*Art Gallery Problem*), de couverture dans les océans (*Ocean Coverage*) et aux systèmes de couverture robotiques (*Robotic Systems Coverage*). Les problématiques d'optimisation d'énergie traitées sont soit fonction des

zones de couverture (*energy efficient area coverage*), soit selon des points de couverture (*energy efficient point coverage*).

Une autre problématique, en relation avec le déploiement, est celle des trous de couverture dans le champ de détection. En effet, ces trous sont généralement provoqués par des défaillances des nœuds capteurs et des environnements hostiles (régions de batailles ou régions volcaniques) ou bien par le déploiement aléatoire des nœuds stationnaires dans les réseaux de capteurs hybrides composés de nœuds statiques et mobiles. Pour cela, les nœuds capteurs mobiles sont souvent ajoutés après le déploiement initial pour surmonter le problème des trous de couverture. Cependant, en raison de la faible puissance des nœuds mobiles, la gestion efficace de leurs mouvements pour maintenir la couverture et la connectivité du réseau avec minimisation de la consommation d'énergie devient un défi. Parmi les travaux s'intéressant à satisfaire la problématique de la couverture, ceux proposés dans [16] s'intéressent à la résolution du problème de couverture dans les réseaux de capteurs directionnels (*Directional Networks Sensors*). En effet, les nœuds directionnels sont souvent équipés par de capteurs ultrason, de capteurs vidéo ou de capteurs infrarouge. Ils diffèrent des nœuds traditionnels omnidirectionnels pour différents paramètres tel que l'angle de vue, la direction de fonctionnement et le champ de vision. Ils classifient les algorithmes et les approches existantes résolvant la problématique de couverture réseau et déterminent leurs complexités, spécificités et performances. En effet, ils classifient les méthodes d'optimisation de la couverture en quatre classes principales : l'optimisation de la couverture basée sur les cibles, l'optimisation de la couverture basée sur les zones de couvertures, l'optimisation de la couverture avec garantie de la connectivité, et la prolongation de la durée de vie du réseau. Ils définissent les modèles de détection, les défis envisagés pour les réseaux de capteurs directionnels (DNS) et leurs (dis)similarités par rapport aux RCSF. Les auteurs de [16] spécifient les avantages et les inconvénients de la mobilité et la motilité des DNS en termes de couverture et durée de vie du réseau.

Dans le même contexte, les auteurs de [17] développent un algorithme adaptatif nommé AHCH (*Adaptive Hole Connected Healing*), pour résoudre les problèmes des trous avec la garantie de connectivité réseau et sans avoir besoin de trouver un nouveau schéma de déploiement à partir de zéro. En effet, cet algorithme adapte le schéma de déploiement existant pour éviter les trous de couverture. Pour prouver l'efficacité de cet algorithme, les auteurs comparent, pour différents intervalles de temps, la

solution optimale avec l'estimation du rapport d'approximation adaptative de cet algorithme, avec une complexité en $O(\log|M|)$, M étant le nombre de capteurs mobiles utilisé pour des cas spécifiques. Ils étendent ensuite cet algorithme dans le cas général en établissant deux autres versions pour résoudre les mêmes problématiques avec la preuve de leurs ratios d'approximation adaptatives théoriques correspondants. La première version est InAHCH (*Insufficient AHCH*) qui est utilisé pour résoudre la problématique des trous dans le cas où le nombre de capteurs mobiles est insuffisant pour garantir la k -couverture pour tous les trous. La deuxième version est GenAHCH (*General AHCH*) qui est une généralisation des cas spécifiques traités par l'algorithme AHCH.

Pour les applications militaires, le déploiement sous-marin est une des applications les plus intéressantes. A cause de la complexité de l'environnement de déploiement dans les espaces en trois dimensions (3D) et aux caractéristiques spécifiques du canal acoustique sous-marin, de nombreux facteurs doivent être pris en considération. Ainsi, les problèmes de déploiement dans les milieux sous-marin sont assez différents de ceux des RCSF. A ce propos, les travaux de [18] présentent un aperçu des plus récents progrès au niveau des algorithmes de déploiement dans les milieux sous-marin. Les auteurs classifient les algorithmes de déploiement en trois catégories, en fonction de la mobilité des nœuds de capteurs, à savoir : le déploiement statique, le déploiement avec auto-ajustement, et le déploiement avec mouvements assistés.

4. CONCLUSION

Dans ce papier, nous avons présenté le problème de déploiement des nœuds capteurs dans un réseau de capteurs sans fil. Nous avons également présenté les travaux de recherche les plus récents et les différentes stratégies et approches utilisées par la communauté scientifique, pour résoudre cette problématique. Finalement nous avons présenté différents problématiques analogues et différentes applications du déploiement.

5. REFERENCES

- [1] X. Cheng, DZ Du, L. Wang, and B. Xu, "Relay sensor placement in wireless sensor networks," *ACM/Springer Journal of Wireless Networks*, 14: pp. 347-355, 242, 2008.
- [2] M. Younis, and K. Akkaya, "Strategies and techniques for node placement in wireless sensor networks A survey," *Ad Hoc Networks* 6 pp. 621-655, 2008.
- [3] X. Yu, N. Liu, W. Huang, X. Qian, and T. Zhang, "A Node Deployment Algorithm Based on Van Der Waals Force in Wireless Sensor Networks," *Hindawi Publishing Corporation; International Journal of Distributed Sensor Networks*; Volume 2013, Article ID 505710; <http://dx.doi.org/10.1155/2013/>

- [4] Z. Zhang, K. Long, J. Wang, F. Dressler, "On Swarm Intelligence Inspired Self-Organized Networking: Its Bionic Mechanisms, Designing Principles and Optimization Approaches," *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 16(1):513-537, March 2014.
- [5] A. Konstantinidis, K. Yang, Q. Zhang, and D. Zeinalipour-Yazti, "A multi-objective evolutionary algorithm for the deployment and power assignment problem in wireless sensor networks," *Computer Networks* 54(6): 960-976, 2010.
- [6] X. Yu, J. Zhang, J. Fan, and T. Zhang, "A Faster Convergence Artificial Bee Colony Algorithm in Sensor Deployment for Wireless Sensor Networks," Hindawi Publishing Corporation; *International Journal of Distributed Sensor Networks*; Volume 2013, Article ID 497264, <http://dx.doi.org/10.1155/2013/497264>
- [7] O. Banimelhem, M. Mowafi, and W. Aljoby, "Genetic Algorithm Based Node Deployment in Hybrid Wireless Sensor Networks," *Communications and Network*, 5, 273-279. Published Online November 2013 (<http://www.scirp.org/journal/cn>) <http://dx.doi.org/10.4236/cn.2013.54034>
- [8] K. J. Aval and S. Abd Razak, "A Review on the Implementation of Multiobjective Algorithms in Wireless Sensor Network," *World Applied Sciences Journal* 19 (6): pp. 772-779, ISSN 1818-4952, 2012; DOI: 10.5829/idosi.wasj.2012.19.06.1398
- [9] Y. Qu, "thesis: Wireless Sensor Network Deployment," Florida International University, Miami, Florida, USA, defense: march, 26th @2013.
- [10] N. Ait Saadi, "thesis: Multi-Objective Wireless Sensor Network Deployment," PIERRE & MARIE CURIE UNIVERSITY, Ecole Doctorale Informatique, Télécommunication et Electronique (EDITE de Paris), defense: March, 11th 2010.
- [11] I. BOUSSAÏD, "thesis: Perfectionnement de metaheuristiques pour l'otimisation continue," Université des sciences et de la technologie Houari Boumediene, defense: June, 29th 2013.
- [12] I. Maleki, S. R. Khaze, M. Mahmoodi Tabrizi, and A. Bagherinia, "A new approach for area coverage problem in Wireless Sensor Networks with hybrid particle swarm optimization and differential evolution algorithms," *International Journal of Mobile Network Communications & Telematics (IJMNCT)* Vol. 3, No.6, December 2013.
- [13] N. Azlina Bt. A. Aziz, A. W. Mohemmed, and M. Yusoff Alias, "A Wireless Sensor Network Coverage Optimization Algorithm Based on Particle Swarm Optimization and Voronoi Diagram," *Proceedings of the 2009 IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control*, Okayama, Japan, March 26-29, 2009.
- [14] L. Hui, Z. Xiaoguang, and L. Lijun, "A hybrid deployment algorithm based on clonal selection and artificial physics optimisation for wireless sensor networks," *Information Technology Journal* 12(5): pp. 917-925, 2013.

- [15] M. Cardei and J. Wu, “Energy-efficient coverage problems in wireless ad-hoc sensor networks,” Florida Atlantic University, Boca Raton, FL 33431, USA, *Computer Communications* 29, 413–42, 2006.
- [16] M. Amac Guvensan, and A. Gokhan Yavuz, “On coverage issues in directional sensor networks: A survey,” Department of Computer Engineering, Yildiz Technical University, Istanbul, Turkey, *Ad Hoc Networks* 9 , pp. 1238–1255, 2011.
- [17] Y. Shen, D. T. Nguyen, and M. T. Thai, “Adaptive Approximation Algorithms for Hole Healing in Hybrid Wireless Sensor Networks,” in *Proceedings of the 32nd Int Conference on Computer Communications (INFOCOM)*, 2013.
- [18] G. Han, C. Zhang, L. Shu, N. Sun, and Q. Li, “A Survey on Deployment Algorithms in Underwater Acoustic Sensor Networks,” Hindawi Publishing Corporation, *International Journal of Distributed Sensor Networks*; Volume 2013, Article ID 314049, <http://dx.doi.org/10.1155/2013/314049>

réf	auteurs, année	Application	Espace	Déploiement	Approches	Objectifs	Contraintes
[12]	[Maleki et al., 2014]	-	2D	Déterministe	Hybride (Optimisation par essaim particulière + algo d'évolution différentielle)	max zone couverture	Couverture durée de vie
[14]	[Hui et al., 2013]	-	2D	Probabiliste	Algorithme de sélection par clonage & algo d'optimisation phy. artificielle	max zone couverture	-
[09]	[Qu et al., 2013]	-	2D	Déterministe	Décentralisée: AG+OEP	max la portée de détection min conso d'énergie	Couverture durée de vie
[09]	[Qu et al., 2013]	-	2D	Déterministe	Centralisée : Optimisation par position relative moyenne + Optimisation par distance pondéré relative	max portée de détection, min conso. d'énergie	Couverture durée de vie
[11]	[Boussaid, 2013]	détection de signaux+ segmentat° images en niv. de gris	2D	Déterministe	Hybride: optimisation basée sur la biogeographie + algorithme d'évolution différentielle	min la puissance totale allouée aux capteurs	-
[07]	[Banimehmet et al., 2013]	-	2D	Binaire	Algorithmes génétiques	min le nombre de nœuds Couverture	Couverture des cibles mobiles
[05]	[Konstantinidis et al., 2009]	Pb d'attribution de puissance (power assignment)	2D	Déterministe	algorithme évolutionnaire multiobjective + décomposition (MOEA/D)	max couverture max durée de vie	-
[13]	[Azlina et al., 2009]	-	2D		Optimisation par Essaims Particulaires; Diagramme de Voronoi	Couverture	-
[10]	[Saadi, 2010]	traitement d'image modélisation 3D	2D	Déterministe	algorithme de déploiement différencié	coût (nombre de nœuds) qualité de surveillance	-
[10]	[Saadi, 2010]	traitement d'image modélisation 3D	2D	Probabiliste Déterministe	algorithme de Bernoulli algorithme potentiel+ forces virtuelles	coût (nbr de nds) qualité de surveillance connectivité	-
[10]	[Saadi, 2010]	traitement d'image modélisation 3D	2D	Déterministe	algorithme de forces virtuelles et de recherche tabou multiobjectif	coût (nbr de nds) qualité de surveillance connectivité durée de vie	-
[16]	[Guvensan et al., 2011]	RCSF directionnel	2D	Déterministe		couverture + connectivité	mobilité + motilité
[08]	[Aval et al., 2012]	-	2D	-	Algorithmes génétiques Optimisation par Essaims Particulaires	Couverture, connectivité, durée de vie	environnement de simulation
[06]	[Yu et al., 2013a]	-	2D	-	Algorithmes de colonie d'abeilles (ABC)	max taux de couverture	-
[03]	[Yu et al., 2013b]	-	2D	-	forces virtuelles forces de van der Waals)	Couverture	Rx de capteurs mobiles
[18]	[Han et al., 2013]	RC Acoustiques Sous-marins	3D	-		Couverture	Déploiement en 3D
[17]	[Shen et al., 2013]	-	2D	-	algorithmes adaptatifs : AHCH, InAHCH et GenAHCH	Couverture Connectivité	Couverture des trous capteurs mobiles

Tableau 1 : Comparaison entre les différents travaux récents de déploiement des nœuds