



HAL
open science

Déploiement de réseau de collecte de données dans les zones blanches étendues

Djibrilla Incha Adamou, Alexandre Mouradian, Véronique Vèque

► **To cite this version:**

Djibrilla Incha Adamou, Alexandre Mouradian, Véronique Vèque. Déploiement de réseau de collecte de données dans les zones blanches étendues. Rencontres Francophones sur la Conception de Protocoles, l'Évaluation de Performance et l'Expérimentation des Réseaux de Communication, Jun 2019, Narbonne, France. hal-02121727

HAL Id: hal-02121727

<https://hal.science/hal-02121727>

Submitted on 6 May 2019

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.

Déploiement de réseau de collecte de données dans les zones blanches étendues

Djibrilla I. Adamou, Alexandre Mouradian et Véronique Vèque

Laboratoire des Signaux et Systèmes (L2S, UMR8506), Université Paris Sud-CNRS-CentraleSupélec, Université Paris-Saclay F-91192 Gif-sur-Yvette, France

Les zones blanches, comme les déserts ou les forêts, couvrent des territoires immenses, peu ou pas habités. Néanmoins, on y trouve de nombreux points d'intérêts économiques et stratégiques tels que des gisements de pétrole ou d'uranium. Les activités dans ces points d'intérêt nécessitent de la collecte de données à des fins d'analyse. L'enjeu est de déployer un réseau de collecte sans fil reliant ces sites éloignés (sources de données) à un centre d'exploitation (puits de données) de manière indirecte en utilisant des relais. Nous avons développé une méthode heuristique pour le déploiement de ce réseau de collecte avec comme objectif : un compromis entre le coût de déploiement et la redondance des liens qui assure de la robustesse en cas de panne. Nous nous sommes inspirés de l'évolution d'un champignon appelé *physarum*. Nous avons modélisé le problème réseau pour traduire les paramètres de croissance de ce champignon en paramètres réseau. Cette heuristique sélectionne les relais parmi les N relais candidats dans la zone d'intérêt et construit ainsi le réseau qui relie les sources au puits. Notre algorithme a une complexité polynomiale. Par simulation de l'heuristique Physarum, nous avons évalué les métriques de performance suivantes : le nombre de nœuds relais nécessaires, la longueur totale du réseau et la tolérance aux fautes suite à une défaillance.

Mots-clefs : Réseau de Capteurs sans Fil, Zones Blanches, Déploiement.

1 Introduction

Les zones blanches, comme les déserts ou les forêts, couvrent des territoires immenses peu ou pas habités. Néanmoins, nombre d'entre elles présentent un intérêt économique et stratégique tels que des gisements de pétrole ou de minerais, des exploitations forestières ou un intérêt environnemental à cause des risques d'incendie ou de tremblements de terre. Ces différentes activités produisent des données qu'il faut collecter et analyser. Du fait que ces informations hétérogènes sont produites de façon intermittente avec des faibles débits, les réseaux de capteurs sans fil sont le meilleur candidat pour déployer un réseau de collecte de données dans ces zones. Le problème principal est de déployer les capteurs de façon optimale, c'est-à-dire de minimiser leur nombre en assurant que tous les points d'intérêt soient reliés au centre de collecte. Ce problème peut se définir comme celui de la construction de l'Arbre Minimal de Steiner (AMS) défini comme l'arbre minimal qui couvrent un sous-ensemble des sommets d'un graphe. Ce problème est NP-difficile et sa solution n'offre pas de liens redondants qui sont pourtant nécessaires dans les réseaux de capteurs sans fil, sujets à des défaillances. De manière pragmatique, de nombreuses applications en zones blanches réalisent un déploiement déterministe [3]. Cependant, des travaux antérieurs [4] ont prouvé que la géographie complexe des zones blanches et le nombre élevé de capteurs rendent coûteuses en temps de calcul les méthodes déterministes de déploiement. Dans cet article, nous proposons une méthode d'optimisation bio-inspirée pour le déploiement de capteurs dans les zones blanches étendues. Cette méthode offre un compromis entre le nombre de capteurs à déployer et la tolérance aux fautes dans le réseau. La tolérance aux fautes est la probabilité que le réseau reste connecté même lorsqu'un lien est coupé. Pour développer notre solution, nous nous sommes inspirés de la croissance d'un champignon, le *physarum*. Le *physarum* est formé d'un corps compact et de structures en tubes (liens), par lesquelles il se nourrit. Il crée un réseau dense de liens pour découvrir les sources de nourriture. Ensuite, il élague certains liens pour optimiser le

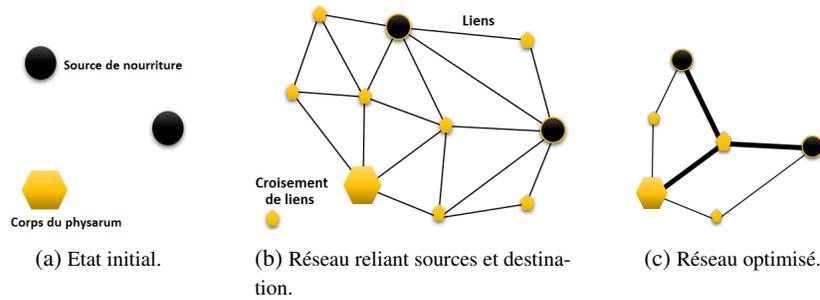


FIGURE 1: Structure réseau et optimisation du physarum

transport des nutriments entre les sources de nourriture et son corps central. Nous proposons, ici, une heuristique similaire pour optimiser le déploiement de réseaux de collecte pour les zones blanches étendues. La version plus détaillée, en anglais, de ce travail peut être consultée ici [1].

2 Déploiement bio-inspiré de capteurs

Dans ce paragraphe, nous présentons le mécanisme biologique de la croissance du physarum, son modèle mathématique ainsi que les analogies avec le réseau de capteurs sans fil.

2.1 Création de réseau biologique

La Figure (1a) présente la taille initiale du réseau du physarum : 2 sources de nourriture et le corps dense du physarum. Pour vivre, il explore l'espace à la recherche des sources de nourriture. Il finit par les trouver en développant un réseau complexe de tubes par lesquels transiteront les nutriments comme le montre la Figure (1b). Les tubes se rencontrent en des points de croisement. Enfin, une fois les sources de nourriture trouvées, le réseau de transport est optimisé en ne gardant qu'un sous-ensemble de chemins qui sont une approximation de l'AMS (Figure (1c)). Certains liens peuvent, cependant, être maintenus pour assurer des chemins de secours. Deux règles régissent le processus d'optimisation. D'abord tous les tubes qui n'aboutissent pas à une source disparaissent. Ensuite, les liens doubles et plus longs sont supprimés [5]. Dans notre cas, nous ne considérons que ces règles d'optimisation puisque nous disposons déjà des positions potentielles des relais qui sont placés, aléatoirement et de façon uniforme, dans la zone d'intérêt. Nous convenons de modéliser le corps central du physarum comme le puits, les sources de nourriture étant des sources d'information, les points de croisement et les tubes respectivement comme des relais et des liens de communication.

2.2 Modèle mathématique

Le réseau du physarum peut être modélisé comme un graphe. Soit $G = (V, E)$ le graphe de flux orienté et fini associé à ce réseau. V est l'ensemble des nœuds (sources, relais, puits) et E celui des arêtes qui représentent les liens de communication. A chaque sommet $v \in V$ est associé un potentiel P_v et 2 sommets (v, w) sont reliés par une arête de capacité $C(v, w)$ et de longueur de $L(v, w)$. Le flux $\Phi(v, w)$ dans une arête circule dans le sens des potentiels décroissant. Il est donné par :

$$\Phi(v, w) = \frac{C(v, w)}{L(v, w)} (P_v - P_w) \quad (1)$$

L'algorithme est itératif. A chaque itération, il y a 2 étapes : (1) on calcule les potentiels P_v ; (2) on réadapte la capacité des liens.

Soit V' l'ensemble des nœuds sources et puits. Dans l'étape (1), on choisit d'abord aléatoirement comme puits $j \in V'$ et comme source $i \in V'$ tels que $i \neq j$. Le choix de i suit la probabilité $d_{i,j}^\gamma / \sum_{k \neq j} d_{k,j}^\gamma$ où $d_{i,j}$ est la distance euclidienne entre les nœuds (i, j) , k un indice sur V' et γ est un entier positif. Ensuite, on résoud

Déploiement de réseau de collecte de données dans les zones blanches étendues

l'équation de conservation suivante pour obtenir les P_v avec $v \in V$:

$$\sum_{v \in V} \frac{C(v, w)}{L(v, w)} (P_v - P_w) = \begin{cases} -i(t) & \text{si } w = \text{source} \\ +i(t) & \text{si } w = \text{puits} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad (2)$$

où $i(t)$ est le flux d'information qui entre dans le réseau. Après résolution de l'Equation (2), les flux peuvent être déduits en utilisant l'Equation (1). L'étape (2) consiste à réadapter la capacité des liens pour l'adapter aux flux nouvellement calculés. Ceci est réalisé par la fonction discrète suivante :

$$\frac{C(v, w)^{n+1} - C(v, w)^n}{\delta t} = g(|\Phi(v, w)^n|) - \rho C(v, w)^{n+1} \quad (3)$$

ρ est le taux de suppression des liens dépourvus de flux. δt et n sont respectivement le pas et l'indice d'itération. Les liens à flux proches de zéro ou nuls sont supprimés tandis que ceux à flux croissants sont renforcés en capacité par la fonction sigmoïde g croissante de paramètres μ et α . Elle est monotone et est telle que $g(0) = 0$ [5]. Dans notre travail, elle est définie par :

$$g(\Phi(v, w)) = \frac{\alpha \Phi(v, w)^\mu}{1 + \alpha \Phi(v, w)^\mu} \quad (4)$$

Ces 2 étapes sont exécutées jusqu'à ce que les capacités des liens convergent, c'est-à-dire que $C(v, w)^{n+1} - C(v, w)^n$ soit inférieure à un seuil (ou nulle dans notre cas). L'algorithme prend en entrée initiale un graphe de tous les liens et donne en sortie un sous-ensemble de liens qui ont survécu. La topologie des liens en sortie fait une approximation d'un arbre minimal de Steiner sur V' , pour certains paramètres.

3 Simulations et résultats

Les résultats de simulations Matlab sont donnés pour différents scénarios où la taille du réseau varie de 500 à 3000 positions potentielles de relais dans une zone de 180x180 km². Nous disposons également de 16 sources et d'une destination. La portée des capteurs est de 15 km. Notre heuristique détermine les relais à utiliser pour connecter toutes les sources à la destination. Les résultats sont comparés à ceux obtenus

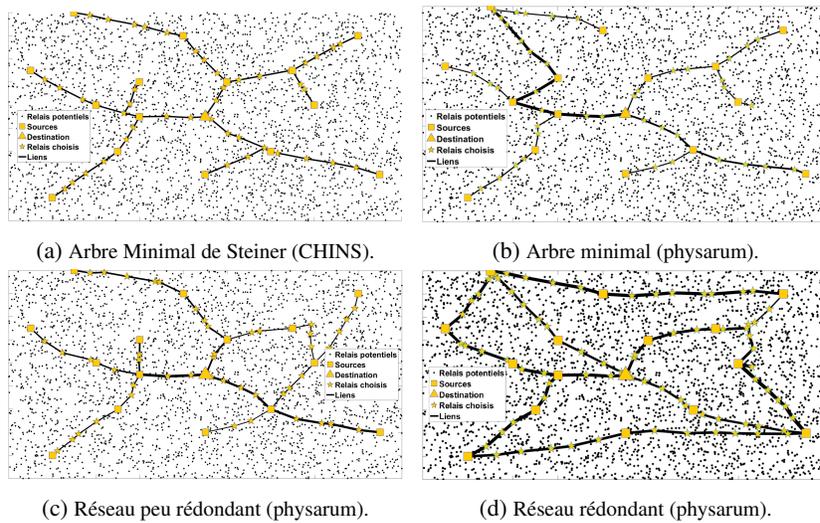


FIGURE 2: Comparaison du réseau de physarum avec l'arbre minimal de Steiner

par l'heuristique *CHINS* qui est un algorithme d'approximation de l'arbre minimal de Steiner (AMS) [6] illustré par la Figure (2a). Les critères de performances sont d'abord le nombre de nœuds relais nécessaires

à la couverture de l'ensemble des sources, ensuite la longueur totale du réseau et enfin une métrique de tolérance aux fautes. La tolérance aux fautes est la probabilité de survie du réseau lorsqu'un lien est coupé. Notre heuristique s'approche de l'AMS comme le montre la Figure (2b) avec les paramètres $(i(t), \mu, \gamma)=(1, 2, 1)$. Cette solution comprend 62 relais et une longueur totale de 611.26 km contre 60 et 573.4 km pour l'arbre de Steiner (Figure (2a)), dans un scénario de 3000 relais candidats. Pour cet exemple, l'algorithme converge après 1755 itérations et environ 4 minutes sur un ordinateur standard. L'algorithme nous permet également d'avoir peu ou beaucoup de redondance dans le réseau comme respectivement sur la Figure (2c) et la Figure (2d) avec $(i(t), \mu, \gamma)=(5, 1.8, 1)$.

La Figure (3) illustre le compromis entre la tolérance aux fautes et le coût de l'infrastructure utilisée (relais) pour un μ donné en fonction du flux initial. La tolérance aux fautes augmente avec le flux initial qui entre dans le réseau. L'apparition d'un nombre élevé de liens redondants est gouvernée par les paramètres de la fonction d'adaptation de flux de l'Equation (4) et le flux initial $i(t)$ qui entre dans le réseau. Ainsi, dans nos scénarios, nous observons que pour $\mu > 2$ et $i(t) \geq 1$ l'algorithme converge toujours et le résultat s'approche de l'AMS. Par ailleurs, si $i(t) = 1$, pour obtenir des liens redondants, les valeurs appropriées de μ sont $\{2, 3, 4, 5\}$. Par contre, il y a des valeurs pour lesquelles l'algorithme converge mais résulte en une topologie non connexe. Ces valeurs sont par exemple $(i(t), \mu) = \{(1.9, 0.7), (1.8, 0.6)\}$.

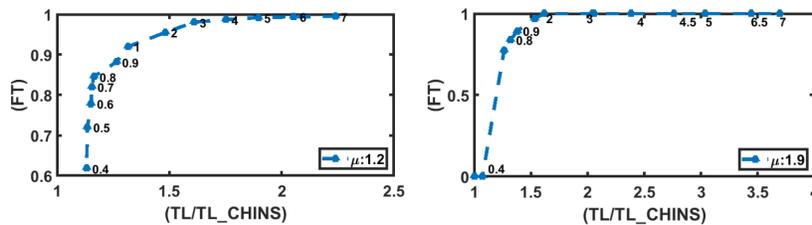


FIGURE 3: Tolérance aux fautes en fonction du coût et des paramètres $i(t)$ (valeurs inscrites) et $\mu = 1.2, 1.6$.

4 Conclusion

Nous avons développé une méthode bio-inspirée de déploiement réseau pour les zones blanches étendues. L'objectif est de résoudre un problème d'optimisation de ressources. Il consiste à calculer une topologie qui permet de trouver un compromis entre coût et fiabilité pour relier toutes les sources d'information à un centre de collecte. Ce problème ressemble au problème de l'arbre minimal de Steiner qui est NP-difficile. Notre heuristique permet de calculer non seulement une approximation du problème de Steiner mais aussi de trouver un compromis entre le nombre de relais à déployer et la tolérance aux fautes. Elle présente l'avantage d'avoir une complexité polynomiale.

Références

- [1] D. I. Adamou et al. A bio-inspired deployment method for data collection networks in wide white areas. In *IEEE PIMRC, International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, Bologna, 2018.
- [2] Xiaoge Zhang et al. *Advances in Physarum Machines : Sensing and Computing with Slime Mould*. Springer Nature, 2016.
- [3] Damuut Luhutyit and Gu Dongbing. A survey of deterministic vs. non-deterministic node placement schemes in wsns. In *SENSORCOMM*, aug 2012.
- [4] Jukka Suomela. Computational complexity of relay placement in sensor networks. *International Conference on Current Trends in Theory and Practice of Computer Science*, 2006.
- [5] Atsushi Tero, Ryo Kobayashia, and Toshiyuki Nakagaki. A mathematical model for adaptive transport network in path finding by true slime mold. *Journal of Theoretical Biology*, 2007.
- [6] Stefan VoB. Steiner's problem in graphs : heuristic methods. *Discrete Applied Mathematics* 40, 1992.