



**HAL**  
open science

## De la pertinence du RSSI pour la localisation dans les réseaux de capteurs

Karel Heurtefeux, Valois Fabrice

► **To cite this version:**

Karel Heurtefeux, Valois Fabrice. De la pertinence du RSSI pour la localisation dans les réseaux de capteurs. AlgoTel, May 2012, La Grande Motte, France. pp.1. hal-00690748

**HAL Id: hal-00690748**

**<https://hal.science/hal-00690748v1>**

Submitted on 24 Apr 2012

**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.

# De la pertinence du RSSI pour la localisation dans les réseaux de capteurs

Karel Heurtefeux<sup>1</sup> and Fabrice Valois<sup>2</sup>

<sup>1</sup> CNRS, Verimag UMR 5104, Grenoble, F-38041, France

<sup>2</sup> Université de Lyon, INRIA, INSA-Lyon, CITI, F-69621, France

---

De nombreux protocoles de localisation pour réseaux de capteurs sont basés sur la puissance du signal reçu ou RSSI (Received Signal Strength Indicator). Le RSSI est populaire pour plusieurs raisons : positionnement absolu non accessible, matériel dédié non disponible et possibilité, en théorie, de déterminer la distance entre un transmetteur et un récepteur. Cependant, utiliser le RSSI comme estimateur de distance induit des erreurs de précision à cause des fluctuations inhérentes au canal radio (interférences, multi-trajets, etc.). Dans cet article, nous présentons les résultats d'expérimentations provenant de 3 plateformes de plus de 250 capteurs chacune. Ces résultats montrent les relations complexes entre le RSSI et la distance en fonction des propriétés topologiques et de l'environnement radio. Nous soulignons les limitations intrinsèques du RSSI comme métrique de distance en terme de précision. Enfin, nous montrons l'incapacité d'un protocole de positionnement collaboratif basé sur des forces à dépasser les erreurs de mesures et à fournir une estimation acceptable de la position des capteurs.

**Keywords:** RSSI, localisation, positionnement, réseaux de capteurs

---

## 1 Introduction

Les réseaux de capteurs sans fil sont composés de centaines de nœuds contraints en ressources (énergie, calcul, portée radio, etc.). Les capteurs, déployés sur une zone géographique, collectent des données de leur environnement pour les transmettre à un ou plusieurs *puits*. En raison de ces contraintes, il n'est pas toujours possible d'avoir, pour chaque capteur, une information sur sa position. Pourtant la localisation des capteurs peut s'avérer utile dans de nombreuses applications.

**Problématique et contributions.** Notre analyse porte sur le RSSI et la pertinence de son utilisation dans le positionnement des capteurs. L'idée généralement admise est qu'un signal fort est synonyme de proximité, tandis qu'un signal faible est synonyme d'éloignement. Cette idée, intuitive, est corroborée par l'équation de Friis [2]. Nous mettons en évidence la difficulté à établir un rapport simple et général entre la distance et le RSSI. Nous montrons également que les erreurs de précision sur l'estimation de la distance ne sont pas surmontées par un algorithme de localisation collaboratif. L'importance des résultats empiriques, obtenus sur plus de 700 capteurs sans-fil répartis sur 3 plateformes différentes, et la prise en compte du positionnement en 3 dimensions constitue une des originalités de ce travail.

## 2 Limitations du RSSI comme métrique de distance

Le RSSI est une estimation par le composant radio du niveau de la puissance du signal reçu. À chaque paquet reçu, le capteur notifie le RSSI. Cette section présente les mesures expérimentales du **RSSI en fonction de la distance** entre le transmetteur et le récepteur, l'**asymétrie** des liens en terme de RSSI et les **propriétés isotropes** du signal. Ces résultats permettront de déterminer la pertinence du RSSI comme métrique de distance dans les réseaux de capteurs.

**Plateformes et méthodologie.** Les plateformes SensLab sont composées d'un ensemble de 1000 capteurs répartis sur 4 sites. Dans cette étude, nous utilisons 3 de ces plateformes chacune composée d'environ 250 nœuds : INRIA Grenoble et INRIA Lille où les nœuds sont déployés aléatoirement et la plateforme de l'Université de Strasbourg où les nœuds sont déployés sous forme d'une grille cubique régulière. Les trois plateformes sont situées dans un environnement intérieur, chaque capteur est monitoré via une passerelle et un réseau filaire mais communique avec son voisinage grâce à un composant radio (TI CC1101 pour les plateformes de Grenoble et Strasbourg, TI CC2420 pour celle de Lille). Les capteurs utilisent le

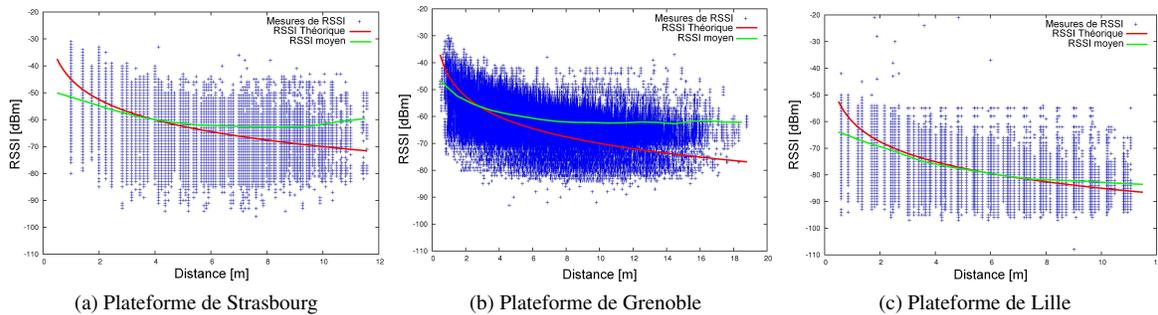


FIGURE 1: Mesures de RSSI, RSSI théorique et RSSI moyen en fonction de la distance sur 3 plateformes SensLAB

protocole XMAC pour accéder au canal radio. Chaque capteur envoie, toutes les 30s, un paquet contenant son identifiant et maintient une table de voisinage. Notez que nous n'étudions pas ici la couche MAC ou la couche routage. Chaque expérience dure 3 heures. Nous faisons varier la puissance de transmission et nous étudions le comportement du système. Pour l'étude du protocole de localisation, nous utilisons le protocole SRA [3] avec une estimation de la distance basée sur les mesures de RSSI.

**Rapport entre RSSI et distance.** Les figures 1a, 1b et 1c sont obtenues avec plus de deux millions de mesures. Chaque capteur envoie périodiquement des paquets ce qui permet ainsi de mesurer le RSSI pour chaque lien. Les figures représentent les mesures de RSSI, le RSSI moyen par distance et le RSSI théorique en fonction de la distance. Le RSSI théorique est obtenu grâce à l'équation de Friis[2]. Nous observons plusieurs phénomènes :

- le RSSI mesurés est compris entre  $-30$  et  $-100$  dBm quelle que soit la distance ;
- les RSSI moyens et théoriques sont comparables entre eux à la fois à Lille et à Strasbourg ;
- le rapport RSSI-distance moyen diffère en fonction de la plateforme considérée.

Les différences d'environnement entre les plateformes peuvent expliquer ces phénomènes : à Strasbourg, tous les nœuds sont déployés régulièrement et en vue directe (pas d'obstacle entre les capteurs). A Grenoble et à Lille, les capteurs sont placés aléatoirement dans des salles possédant des structures métalliques. En outre, les capteurs lillois possèdent un autre composant radio qui semble plus précis.

**Asymétrie.** Nous étudions ici les propriétés de symétrie des liens radio. En d'autres termes, la puissance du signal du nœud A vers le nœud B est-il comparable à celle du nœud B vers le nœud A ? Il faut noter qu'un lien bidirectionnel peut-être asymétrique en terme de RSSI. La figure 2 montre le RSSI mesuré par les deux extrémités d'un lien bidirectionnel pour tous les liens bidirectionnels de la plateforme de Strasbourg. Pour une puissance d'émission égale à  $-15$  dBm, seuls 10% des liens bidirectionnels ont une asymétrie supérieure à 3 dBm. Ce comportement est similaire sur l'ensemble des plateformes. Cependant, pour la même puissance de transmission, plus de 40% des liens du réseau sont unidirectionnels. Cela signifie que pour un nombre important de cas, la communication entre deux capteurs ne se fait que dans un sens. De plus, parmi les liens bidirectionnels, une part significative est déséquilibrée en terme de taux de réception : pour un lien entre A et B, le nombre de paquets reçus par B venant de A est bien plus important que le nombre de paquets de B vers A. Cela signifie que la qualité d'un lien n'est pas symétrique même si le RSSI est similaire dans les deux sens. Le même comportement est observable à Grenoble. En revanche, à Lille, une large proportion des liens est à la fois bidirectionnels (plus de 95%) et équilibrés en terme de réception. Cela peut être expliqué par la différence de technologie employée (TI CC2420, fréquence 2.4 GHz).

**Propriétés isotropes.** Pour utiliser le RSSI comme métrique de distance, il est nécessaire d'avoir un rayonnement isotrope (propriétés du signal radio équivalentes quelle que soit la direction). Sans cette hypothèse, il serait nécessaire de connaître l'angle entre la source et la destination pour estimer la distance. Les propriétés isotropes du signal émis sont étudiées sur les 3 plateformes en 2D. L'article [1] montre que l'antenne du capteur WSN430 a été conçue pour avoir de bonnes propriétés de rayonnement. Cependant, sur un déploiement réel, nous observons des différences de propagation du signal selon la direction. La figure 3 montre la distribution géographique du RSSI moyen d'un nœud central sur la plateforme de Strasbourg. Nous faisons varier la puissance de transmission et nous observons le RSSI de paquets reçus d'un nœud central. Sur chaque plateforme, le même phénomène est observé : il y a décorrélation entre le RSSI et la

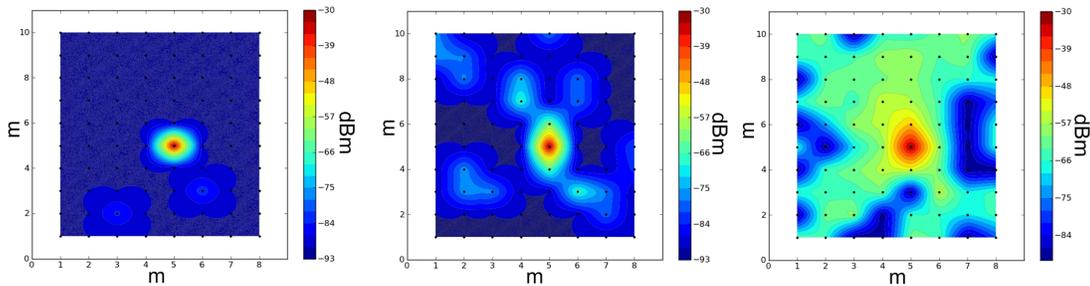


FIGURE 3: Propagation du signal sur la plateforme de Strasbourg (-30, -15 and 0 dBm)

distance. De plus, dans certain cas, la proximité d'un nœud n'est pas synonyme de lien. Cela suggère une anisotropie importante. Une défaillance de nœuds ne peut expliquer ce comportement : tous les capteurs utilisés reçoivent et envoient des données régulièrement. L'impact des collisions peut également être écarté à la fois par l'utilisation d'une couche MAC performante (XMAC), la faible fréquence d'envoi des paquets de faible taille et la durée importante des expérimentations. Cette anisotropie peut s'expliquer par la faible qualité des antennes PCB ou les obstacles métalliques de la zone de déploiement.

### 3 Algorithme de localisation collaboratif

Malgré les erreurs d'estimation de la distance, est-il possible, avec une certaine précision d'estimer la position des capteurs grâce à un algorithme de localisation ? Dans cette section, nous implémentons l'algorithme SRA et nous étudions ses performances sur un positionnement en 3D pour répondre à cette question.

**Algorithme de positionnement dirigé par des forces SRA.** Les algorithmes de positionnement dirigé par des forces positionnent les nœuds en assignant des forces à chaque arête du réseau. Les forces sont appliquées aux nœuds, soit attractives soit répulsives, et contribuent à rapprocher ou écarter les deux extrémités d'un lien. Ce processus est répété de manière itérative jusqu'à l'équilibre du système. Nous avons choisi le SRA en raison de ses avantages :

- intuitivité : basé sur une analogie avec les systèmes physiques constitués de ressorts et de mobiles ;
- flexibilité : peut facilement s'adapter pour fonctionner sur des graphes directionnels et dynamiques ;
- localisé : un capteur a uniquement besoin d'une connaissance de son voisinage à 1 saut ;
- efficacité : permet une bonne qualité des résultats malgré l'approximation de la mesure des distances.

Cependant, deux inconvénients peuvent impacter cette efficacité : un important temps de calcul (complexité en temps en  $O(n^3)$  avec  $n$  le nombre de capteurs) et les minimum locaux. Le SRA tente de minimiser l'« énergie » totale du graphe (i.e. minimiser la compression ou l'étirement des ressorts). En conséquence, un minimum local peut être trouvé et être une moins bonne approximation que le minimum global.

[4] décrit en détail l'algorithme SRA. Nous prenons comme hypothèse, la présence d'un sous-ensemble de nœuds, les ancres, connaissant leur position absolue. Le SRA est configuré avec les paramètres optimaux trouvés dans [5].

**Performances.** La précision d'un algorithme de localisation est définie comme la distance euclidienne, en mètre, entre la position réelle et la position estimée d'un capteur. Le RSSI utilisé pour calculer la distance est obtenu en moyennant les mesures sur des expériences de 3 heures. Nous considérons que chaque nœud a connaissance des limites de la zone de déploiement et choisi donc initialement ses coordonnées à l'intérieur de cette zone. Les ancres sont choisies aléatoirement et les performances du positionnement sont étudiées avec différentes puissances

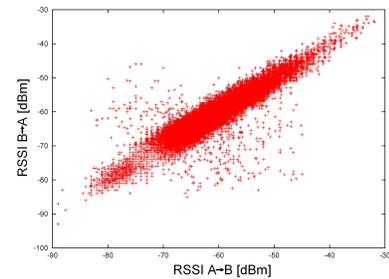


FIGURE 2: Symétrie du RSSI de la plateforme de Strasbourg (0 dBm)

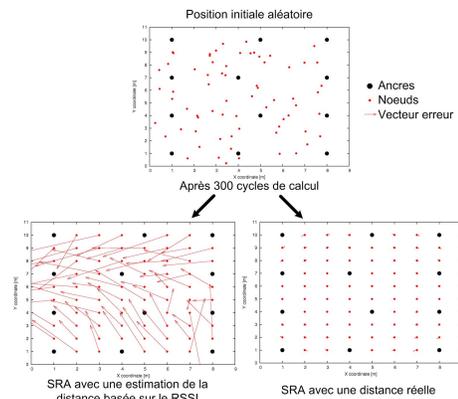
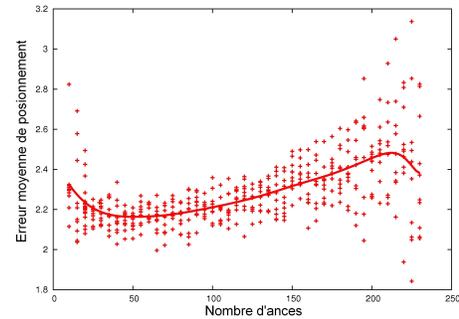


FIGURE 4: Positionnement avec SRA

d'émission (de  $-30$  dBm à  $0$  dBm). Le choix aléatoire de la position initiale des capteurs donne une erreur moyenne comprise entre  $5$  et  $10$  m sur chaque plateforme. Le degré moyen a un impact important sur la précision et les meilleurs résultats sont obtenus avec la puissance de transmission maximale. Avec une puissance d'émission minimale, l'erreur de positionnement moyenne la moins importante est de  $4$  m, quelle que soit la plateforme. Nous présentons ici uniquement les résultats obtenus dans les meilleures conditions de performances. Contrairement à l'intuition, l'augmentation du nombre d'ancres n'entraîne pas nécessairement un meilleur positionnement (Fig. 5). Les expérimentations montrent que plus de  $50$  ancres détériore la précision moyenne. La détérioration peut être expliquée par une estimation de la distance médiocre qui, couplée avec un nombre d'ancres important, limite la possibilité de correction. Les observations indiquent le même comportement général sur les 3 plateformes. Cependant, il existe quelques différences mineures. Les moins bonnes performances sont obtenues à Grenoble (plus grande surface de déploiement) alors que des performances comparables sont obtenues à Lille et à Strasbourg. Lille possède une plus grande surface de déploiement que Strasbourg mais aussi une meilleure estimation de la distance (Fig. 1c).

En définitive, en dépit de très bonnes conditions (rapport RSSI-distance défini en fonction de la plateforme, estimation de la distance basée uniquement sur des valeurs moyennées, degré moyen important, nombre d'ancres important, information sur la zone de déploiement), la précision du positionnement reste médiocre (supérieure à  $2.1$  m dans le meilleur des cas) au regard de la surface de déploiement ( $80m^2$ ). La figure 4 illustre sur la plateforme de Strasbourg, en deux dimensions, les différences entre un positionnement avec une estimation de la distance proche de la distance réelle et un positionnement utilisant le RSSI comme estimation de la distance : l'erreur de positionnement pour le premier cas est inférieur de quelques centimètres tandis qu'elle est proche de  $2$  m pour le second cas utilisant le RSSI. Nous voyons ici la limite du RSSI utilisé pour le positionnement.



**FIGURE 5:** Erreur moyenne de positionnement en fonction du nombre d'ancres (Strasbourg)

## 4 Conclusion et perspectives

Dans cet article, nous présentons d'important résultats empiriques soulignant les limites intrinsèques du RSSI en termes de fiabilité. A notre connaissance, c'est le premier travail qui étudie le RSSI sur plus de  $700$  capteurs déployés sur 3 différents sites et utilisant 2 composants radio différents. Nous étudions également la possibilité d'obtenir un positionnement fiable malgré les erreurs d'estimation de la distance dues au RSSI. La prise en compte du positionnement 3D constitue également l'originalité de cette étude. Les expérimentations que nous avons conduit dans des environnements réels et dynamiques montrent que ces contraintes ne sont pas compatibles avec la plupart des réseaux de capteurs : le saut de fréquence n'est pas disponible sur une majorité de capteurs ; le temps nécessaire à lisser les variations du RSSI dépend de la dynamique du réseau et les scénarios généralement considérés (bâtiments intelligents, surveillance d'environnement, etc.) sont souvent hautement dynamiques. En conclusion, au vu des résultats de cette étude, le RSSI n'est pas un bon candidat pour estimer la distance dans les réseaux de capteurs. De plus, il existe des algorithmes de positionnement sans estimation directe de la distance qui peuvent être utilisés. Une perspective intéressante de ce travail sera d'étudier les performances de ces algorithmes.

## Références

- [1] G. Chelius. Capnet : réseaux de capteurs et graphes d'interactions. *La lettre des réseaux sans fil*, 7, 2007.
- [2] H. T. Friis. A note on a simple transmission formula. *Proceedings of the IRE*, 34(5) :254 – 256, May 1946.
- [3] T. M. J. Fruchterman and E. M. Reingold. Graph drawing by force-directed placement. *Softw. Pract. Exper.*, 21 :1129–1164, November 1991.
- [4] N. Priyantha, H. Balakrishnan, E. Demaine, and S. Teller. Anchor-free distributed localization in sensor networks. Technical Report 892, MIT Laboratory for Computer Science, Cambridge, MA, USA, 2003.
- [5] Q. Zhang, C. H. Foh, B.-C. Seet, and A. C. M. Fong. Location estimation in wireless sensor networks using spring-relaxation technique. *Sensors*, 10(5) :5171–5192, 2010.