

## Description détaillée :

Ce sujet de thèse part du constat que les réseaux actuels, supports d'applications réparties, ont des caractéristiques qui les différencient des réseaux filaires classiques. Les réseaux filaires sont généralement de taille raisonnable (quelques centaines de nœuds), ont des infrastructures stables et une faible dynamique (pour les déconnexions et les reconnexions de nœuds), et les nœuds disposent de ressources convenables (en termes de puissance de calcul, de capacités de stockage). De tels réseaux ne sont pas adaptés à certaines applications importantes. Ils nécessitent des infrastructures coûteuses en termes de mise en place mais aussi d'entretien et de gestion. Par exemple, le déploiement de réseaux traditionnels (avec ou sans fil), pour donner accès à Internet dans des zones rurales éloignées ou dans des pays en voie de développement, n'est souvent pas possible pour des raisons de coût.

A l'opposé, ont été déployés plus récemment des réseaux qui demandent une infrastructure beaucoup plus légère et abordable. Ces réseaux sont appelés réseaux opportunistes, parmi lesquels on trouve les réseaux tolérants les interruptions et les délais (DTN – Delay/disruption tolerant networks) (e.g., DakNet [1], SNC [2], S2S [3], ZebraNet [4] et SWIM [5]). Dans un réseau opportuniste, deux nœuds mobiles ont la possibilité de communiquer, même si aucun chemin entre eux n'existe jamais. Par exemple, voici un scénario de routage opportuniste : de son domicile, une mère écrit sur un ordinateur un message pour sa fille étudiante ; ce message est transmis par WiFi à un bus qui passe près de la maison ; le bus avance dans le trafic et utilise sa radio Bluetooth pour transmettre le message sur le téléphone portable d'un écolier qui descend à une station ; l'écolier traverse un parc et longe l'université ; le message est transmis à un cycliste et, à la suite d'un certain nombre de sauts, le message arrive à son destinataire.

Un contexte important dans lequel apparaissent des réseaux avec de telles capacités est celui des réseaux de capteurs. Le champ d'application des réseaux de capteurs est extrêmement large. Il va d'applications de surveillance militaire à la prévention de désastres environnementaux, du diagnostic automatique sur patient à la surveillance agro-alimentaire, et les réseaux de capteurs ont ainsi investi de nombreux domaines d'activité. Les applications de réseaux de capteurs qui sont intrinsèquement opportunistes sont par exemple celles qui observent le comportement animal (e.g. ZebraNet [4] et SWIM [5]), sans intervention de l'homme.

Les solutions développées pour les réseaux filaires ne conviennent pas pour de tels réseaux. Les réseaux de capteurs sont constitués d'un ensemble de petits périphériques autonomes capables de surveiller un paramètre environnemental et de communiquer.

Les capteurs présentent un certain nombre de caractéristiques nécessitant de les étudier en particulier, notamment sur les points suivants :

- leur capacité limitée en énergie, en puissance de calcul et en espace mémoire ;
- leur mobilité ;
- leur faible fiabilité (crash, corruption de mémoire) ;
- un mode de communication non fiable (collisions) et sans fil.

De plus, les réseaux de capteurs sont sans infrastructure et dynamiques et peuvent donc être déployés à très grande échelle. Tous ces points ont un dénominateur commun, crucial : l'économie d'énergie. Un capteur qui a épuisé ses batteries est un capteur mort, et il est très souvent impossible d'y accéder pour le remplacer. Or une batterie qui est mise pleinement à contribution dure parfois moins d'une journée (cf. les dysfonctionnements relatés dans le réseau de capteurs installé à Redwood, dans les séquoias [20]).

C'est l'aspect "économies d'énergie" que nous voulons aborder dans le sujet proposé. Il existe déjà de très nombreuses études expérimentales, à base de simulations, ou encore analytiques, mais dans la plupart des cas, probabilistes. Dans ces dernières études, les solutions réalisent des spécifications whp (whp = with high probability). Il nous semble qu'une étude analytique exacte doit également être menée, d'une part pour une meilleure compréhension des phénomènes induits par les réseaux de capteurs en terme d'énergie, et d'autre part pour couvrir des situations plus critiques, dans lesquelles des propriétés whp ne suffisent pas (monitoring de centrales nucléaires, navettes spatiales, aviation civile, ...) D'autre part, la plupart des études existantes présupposent l'existence d'identificateurs. C'est cette hypothèse qui permet, par exemple, de construire des systèmes hiérarchiques de clusters et ainsi d'avoir des communications moins gourmandes en énergie [6]. Nous voulons traiter une situation plus basique, dans

lesquels les capteurs ne disposent que de quelques bits de mémoire.

Nous voulons, en même temps, progresser sur la modélisation de la mobilité des agents. L'hypothèse suivant laquelle ils se déplacent suivant des lois de mouvement brownien n'est absolument pas corroborée par les études expérimentales et les traces qui sont disponibles (par exemple celles de Dartmouth college [7]). Au contraire, il apparaît que le bon modèle est celui des promenades aléatoires de Lévy (1886-1971), un modèle introduit pour l'analyse du mouvement de particules, mais qui modélise aussi très bien la mobilité animale ou humaine [8, 9].

Dans ce contexte, notre but de modélisation est double. D'une part, nous souhaitons développer un modèle exact adapté à l'anonymat, prenant en compte les communications et l'énergie, avec le modèle probabiliste des promenades de Lévy pour la mobilité. D'autre part, nous voulons extraire de ce modèle probabiliste certaines propriétés, qui, présentées comme hypothèses, donneraient un modèle exact complet. A cet égard, le travail préliminaire que nous avons fait dans [10], ainsi que les travaux menés concernant les marches aléatoires dans des graphes dynamiques markoviens [11], constituent un point de départ solide.

De tels modèles ne constituent pas des buts en soi, mais seraient destinés à développer analytiquement des études de complexité (en particulier en terme d'énergie consommée) pour des protocoles conçus dans ces modèles (cf. dans [12] un exemple analytique de calcul de complexité dans le modèle de [10]).

### **Bibliographie :**

- [1] A. Pentland, R. Fletcher, A. Hasson. DakNet: rethinking connectivity in developing nations. *Computer*, 37(1):78-83, 2004
- [2] A. Doria, M. Uden and D. P. Pandey. Providing connectivity to the saami nomadic community. *Proceedings of the 2nd International Conference on Open Collaborative Design for Sustainable Innovation*, Bangalore, India, December, 2002
- [3] Anders Lindgren, Cecilia Mascolo, Mike Lonergan, Bernie McConnell. Seal-2-Seal: A delay-tolerant protocol for contact logging in wildlife monitoring sensor networks. *MASS*, p. 321-327, 2008
- [4] P. Juang, H. Oki, Y. Wang, M. Martonosi, L.-S. Peh, D. Rubenstein. Energy-efficient computing for wildlife tracking: design tradeoffs and early experiences with zebanet. *ASPLOS*, pp. 96-107, 2002
- [5] T. Small, Z. J. Haas. The Shared Wireless Infostation Model - A New Ad Hoc Networking Paradigm (or Where there is a Whale, there is a Way). *MobiHoc '03 Proceedings of the 4th ACM international symposium on Mobile ad hoc networking & computing*, p. 233-244, 2003
- [6] B. Baranidharan, B. Shanti. A survey on energy efficient protocols for wireless sensor networks. *International Journal of Computer Applications*, 11(10):35-40, 2010
- [7] The Dartmouth wireless trace archive - <http://crawdad.cs.dartmouth.edu>, Dartmouth College, 2007.
- [8] S. Hong, I. Rhee, S. J. Kim, K. Lee, S. Chong. Routing performance analysis of human-driven delay tolerant networks using the truncated levy walk model. In *MobilityModels*, p. 25-32, 2008
- [9] T. Karagiannis, J. L. Boudec, M. Vojnovic. Power law and exponential decay of inter contact times between mobile devices. In *MOBICOM*, p. 183-194, 2007
- [10] Joffroy Beauquier, Janna Burman, Julien Clément, Shay Kutten. On utilizing speed in networks of mobile agents. *PODC*, p.305-314, 2010
- [11] T. Bernard, A. Bui, D. Sohier. Universal adaptive self-stabilizing traversal scheme: random walk and reloading wave. *International Journal of Parallel and Distributed Computing*, Elsevier eds, 73(2):137-149, 2013.
- [12] J. Beauquier, P. Blanchard, J. Burman, Sylvie Delaët. Tight complexity analysis of population protocols with cover times - The ZebraNet example. *Theor. Comput. Sci.* 512: 15-27, 2013
- [13] Arnaud Casteigts, Paola Flocchini, Walter Quattrociocchi, Nicola Santoro. Time-varying graphs and dynamic networks. *IJPEDS* 27(5): 387-408, 2012

- [14] D. Angluin, J. Aspnes, Z. Diamadi, M. J. Fischer, R. Peralta. Computation in networks of passively mobile finite-state sensors. PODC, p. 290-299, 2004
- [15] J. Ben-Othman, K. Bessaoud, A. Bui and L. Pilard. Self-stabilizing algorithm for efficient topology control in Wireless Sensor Networks. Journal of Computational Science, 4(4) :199-208, 2013.
- [16] K. Bessaoud, A. Bui, T. Masuzawa, Laurence Pilard. Transitive approach for topology control in Wireless Sensor Networks. 9th IEEE International Wireless Communications and Mobile Computing Conference, p. 579-584, 2013.
- [17] T. Bernard, H. Fouchal, Slot Scheduling for Wireless Sensor Networks, International Journal of Computational Methods in Science and Engineering (JCMSE), IOS Press eds, 12(3): 1-12, 2012.
- [18] Ted Herman, S. Pemmaraju, L. Pilard, M. Mjeld. Temporal Partition in Sensor Networks. 9th International Symposium on Stabilization, Safety, and Security of Distributed Systems (SSS), LNCS, vol. 4838, p. 325-339, 2007.
- [19] K. Bessaoud, A. Bui, L. Pilard. Self-stabilizing algorithm for Low Weight Connected Dominating Set. 17th IEEE/ACM International Symposium on Distributed Simulation and Real Time Applications (DS-RT), p. 231-238, 2013.
- [20] J. Pasquale, [J. Dozier](#), [R. H. Katz](#): The Redwood Project. [COMPCON 1995](#): 478-481