



**HAL**  
open science

## Intégration d'un indicateur de proximité dans les mesures de contacts

Nadjet Belblidia, Marcelo Dias de Amorim, Jérémie Leguay, Vania Conan,  
Serge Fdida

► **To cite this version:**

Nadjet Belblidia, Marcelo Dias de Amorim, Jérémie Leguay, Vania Conan, Serge Fdida. Intégration d'un indicateur de proximité dans les mesures de contacts. CFIP'2009, Oct 2009, Strasbourg, France. inria-00419461

**HAL Id: inria-00419461**

**<https://inria.hal.science/inria-00419461v1>**

Submitted on 23 Sep 2009

**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.

---

## Intégration d'un indicateur de proximité dans les mesures de contacts

Nadjet Belblidia\* – Marcelo Dias de Amorim\* – Jérémie Leguay\*\* – Vania Conan\*\* – Serge Fdida\*

\* LIP6/CNRS – UPMC Univ Paris 06  
104, avenue du Président Kennedy, 75016 Paris, France  
{nadjat.belblidia, marcelo.amorim, serge.fdida}@lip6.fr

\*\* Thalès Communications  
160, Boulevard de Valmy, 92700 Colombes, France  
{jeremie.leguay, vania.conan}@fr.thalesgroup.com

---

*RÉSUMÉ.* Un nombre grandissant de travaux sur les réseaux tolérants aux perturbations (DTN) se base sur des traces issues d'expérimentations réelles. Dans ces traces, aucune information concernant l'environnement des contacts n'est précisée de manière explicite, les contacts n'étant exprimés qu'en termes de durée. Dans cet article, nous proposons d'enrichir les traces DTN avec un "indicateur de proximité". Cette nouvelle métrique permettrait entre autres de concevoir des algorithmes de routage appropriés, d'identifier les nœuds les plus populaires ou de mieux comprendre l'évolution du réseau. L'étude réalisée sur deux traces disponibles montre une très grande variabilité de la densité de l'environnement des contacts qui justifie de les exprimer autrement qu'en termes uniques de durée.

*ABSTRACT.* A growing number of works on disruption-tolerant networks (DTN) are based on datasets obtained through real-world experiments. Nevertheless, these datasets do not give any explicit information about the contact surrounding environments. Indeed, the contacts are only shown in terms of duration. In this paper, we propose to enrich the DTN datasets with a "surround indicator". This new metric can be useful, for instance, to design an efficient routing algorithms, to identify the most popular nodes, or to better understand the network evolution. Through the analysis of two datasets, we show that the contact surround conditions are too variable to be expressed only in terms of duration.

*MOTS-CLÉS :* DTN, capacité, représentation des données, interférences.

*KEY WORDS:* DTN, capacity, data representation, interferences.

---

## 1. Introduction

Plusieurs axes de recherche se sont développés autour de la thématique des réseaux tolérants aux perturbations (DTN) [FAL 03], notamment : la conception d'algorithmes de routage adaptés [YUA 09, LIN 04, SPY 05, LEG 06, BAL 07], la détection de relations sociales [SAR 06, DAL 07, BOL 08, HUI 08] et la conception d'applications dédiées [JUN 07, LEB 06, MCN 08]. Un nombre important de solutions proposées est basé sur des caractéristiques observées sur des traces issues d'expérimentations réelles.

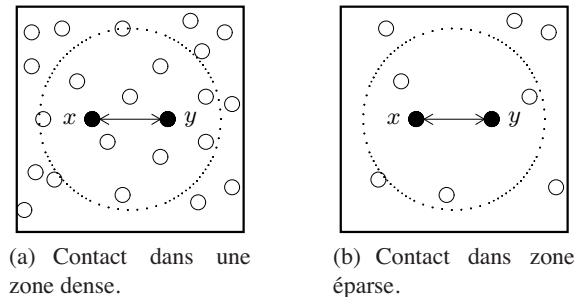
Ces traces ont été mises à la disposition de la communauté par des chercheurs qui ont conduits, lors d'évènements réels, des expérimentations avec différents scénarii [CRA]. Les traces collectées contiennent des informations concernant le voisinage des nœuds participants. Typiquement, chaque nœud observe périodiquement le médium sans fil et suppose un *contact* avec un nœud voisin pendant la période  $t$  si il échange des beacons successifs avec lui durant toute la période  $t$ .

L'utilité de ces traces est incontestable. Cependant, elles comportent toutes un manque non négligeable d'informations – aucune indication ou estimation de la qualité du contact n'est explicitement présentée. Il est vrai qu'une estimation précise de la qualité d'un contact dépendrait fortement de la couche physique. Néanmoins, nous croyons qu'il est possible d'enrichir les traces avec une indication simple mais utile décrivant les conditions sous lesquelles un contact se produit.

Nous définissons la notion d'*indicateur de proximité*. Une métrique qui utilise la représentation graphique du réseau pour ajouter, à chaque contact appartenant à la trace, une indication du nombre de sources *potentielles* d'interférences. La méthode utilisée pour calculer l'indicateur de proximité associé à chaque contact est basée sur une estimation moyenne du nombre de contacts coexistants à proximité du contact considéré. Cette métrique, même si purement indicative, constitue une information intéressante à exploiter dans de nombreux problèmes adressés par la recherche. Un protocole de routage pourrait par exemple ne pas considérer une route qui passe par un nœud ayant un nombre de sources potentielles d'interférences trop élevé. De la même manière, ce même nœud pourrait constituer un très bon relais pour un algorithme de dissémination.

L'indicateur de proximité permet aussi de comprendre la dynamique du réseau étudié. Tout d'abord, nous étudions les propriétés de l'indicateur sur deux traces présentant des caractéristiques de contact spécifiques. Ensuite, nous définissons la notion de *potentiel* d'un contact. Le potentiel d'un contact pondère la durée du contact par le nombre de contacts potentiels dans la zone concernée. Il permet de comparer les contacts entre eux sans connaissances particulières sur le médium utilisé. Nous utilisons les deux traces pour étudier la répartition des contacts par rapport à cette nouvelle métrique. Notre étude révèle que :

- Dans les réseaux opportunistes, l'environnement des contacts est très variable. Nous observons d'importantes différences de densité de voisinage entre les deux traces, mais aussi entre les contacts d'une même trace.
- La capacité d'un contact ne peut être considérée comme illimitée. Dans les traces analysées, un nombre assez important de contacts présente un assez faible potentiel.
- Même si les quelques longs contacts ont tendance à avoir un voisinage épars, il n'y a pas de corrélation directe entre la durée d'un contact et la densité de son environnement (plus particulièrement pour les plus courts contacts qui sont plus nombreux). Lors de la conception d'un pro-



**Figure 1.** Une même représentation pour deux situations distinctes. On suppose que les contacts dans Figs. 1(a) et 1(b) ont des durées égales.

toque, choisir le prochain saut en se basant uniquement sur la durée du contact peut ne pas conduire aux résultats espérés.

## 2. Problème

Considérons les deux situations illustrées par la figure 1. Supposons que la distance entre les nœuds  $x$  et  $y$  est la même dans les deux cas. Quel est le lien qui offre une meilleure capacité de transmission ? Donner une réponse précise à cette question n'est pas évident. De nombreux paramètres liés à la technologie utilisée, aux lois de propagation du signal et aux demandes de trafic entre les paires de nœuds doivent être pris en considération. Le but de cet article n'est pas de formuler "la solution absolue" à ce problème. Nous souhaitons, à travers cette question, mettre en évidence un manque d'informations explicites dans la représentation des contacts DTN.

Tout d'abord, rappelons brièvement le contexte actuel de la représentation des contacts DTN. Les traces DTN sont obtenues de la manière suivante : les nœuds scannent périodiquement leurs voisinages pour détecter les appareils qui appartiennent à leurs rayons de communication. Ce processus génère en sortie un simple fichier texte où chaque ligne a la forme suivante :

$$[x, y, t_1, t_2], \quad (1)$$

$x$  et  $y$  sont les nœuds impliqués dans le contact et  $t_1$  et  $t_2$  représentent, respectivement, les instants de début et de fin du contact. Cette représentation est généralement utilisée pour décrire des liens directionnels. L'expression de l'équation 1 indique donc un lien directionnel de  $x$  à  $y$ .

Pour répondre à la question posée en début de section, il est nécessaire de prendre en compte deux sortes de métriques, les métriques globales du réseau (p.ex. la puissance de propagation du signal, la périodicité de la mobilité des nœuds) mais aussi les métriques spécifiques à chaque contact (c'est-à-dire, sa durée et le nombre de contacts interférents). Or, la représentation présentée dans l'équation 1 n'apporte aucune information explicite sur les conditions sous lesquelles les contacts se produisent. Il n'y a aucune indication sur le nombre de contacts interférents. Si les contacts représentés par la figure 1 ont une durée égale, ils auront la même représentation dans les traces traditionnelles. Il est

clair que le contact représenté dans la figure 1(a) a plus de risque de subir des interférences parce qu'il appartient à une zone plus dense. Nous insistons sur le fait qu'une telle information ne doit pas restée implicite. Il serait utile de disposer d'une métrique décrivant le voisinage des contacts afin de permettre de distinguer clairement les deux situations présentées dans la figure 1.

La problématique adressée dans cet article est de trouver un moyen d'enrichir la *représentabilité* des traces DTN avec une métrique qui permettrait de distinguer clairement des situations de voisinages différents.

### 3. Intégration de l'indicateur de proximité dans les traces

Soit  $N$  le nombre de nœuds dans le réseau et  $\vec{xy}$  le contact directionnel entre  $x$  et  $y$ , avec  $x, y \in N$ . Nous le considérerons comme étant le *contact cible*.  $\pi_{xy}(t)$  est une variable Bernoulli qui indique l'existence d'un lien à un certain instant  $t$ , i.e.  $\pi_{xy}(t) = 1$  s'il y a un lien de  $x$  à  $y$  à l'instant  $t$  et  $\pi_{xy}(t) = 0$  dans le cas contraire. Nous prenons comme hypothèse que les liens sans fil sont omnidirectionnels.

Nous définissons l'*indicateur de proximité*  $\mathcal{S}_{xy}(t)$  du lien cible  $\vec{xy}$  à l'instant  $t$  comme le nombre de liens sortants de tous les voisins entrants de  $y$  excepté  $x$ , formellement :

$$\mathcal{S}_{xy}(t) = \sum_{\substack{\forall i \in N \setminus \{x, y\} \\ \forall j \in N}} \pi_{ij}(t) \times \pi_{iy}(t). \quad (2)$$

D'après la définition précédente, l'indicateur de proximité désigne le nombre de contacts voisins pouvant altérer la qualité du contact cible en générant des interférences à proximité. Les contacts considérés comme de possibles sources d'interférences sont tous les liens sortant des voisins de la destination.  $\mathcal{S}_{xy}(t)$  atteint la valeur maximale lorsque le nœud destination est voisin de tous les nœuds du réseau et que ces derniers ont des liens sortants vers tous les autres nœuds (lorsque le graphe est complet par exemple). Dans ce cas, nous avons  $\mathcal{S}_{xy}(t) = (N-1)(N-2)$ . La question qui se pose maintenant est comment *intégrer* l'indicateur de proximité à la représentation des contacts décrite par 1.

L'apparition et la disparition des nœuds voisins ou l'évolution de leurs voisinages pendant la durée du contact cible peuvent provoquer la modification de la valeur de l'indicateur associé à ce contact. Nous proposons de calculer une moyenne de l'indicateur de proximité sur l'ensemble de la durée du contact. La valeur moyenne associée au contact cible  $[x, y, \tau_1, \tau_2]$  s'écrit :

$$\mathcal{S}_{x,y}^m(t) = \frac{\sum_{\forall t' \in [t_1, t_2]} \mathcal{S}_{x,y}(t')}{t_2 - t_1}. \quad \forall t \in [t_1, t_2]. \quad (3)$$

Le contact cible est alors remplacé dans la trace réécrite par :

$$[x, y, \tau_1, \tau_2, \mathcal{S}], \quad (4)$$

avec  $S = \mathcal{S}_{xy}^m(t)$ . Prenons l'exemple décrit dans la figure 2 pour illustrer notre approche. Le contact cible est  $xy$  et la représentation correspondante après calcul de l'indicateur de proximité est  $\vec{xy}$ . La durée du contact se décompose en sous intervalles associés à chaque valeur stable de l'indicateur de proximité. Ainsi, pour l'exemple de la figure 2, l'évolution du voisinage du contact  $xy$  entraîne la division de la durée  $[0, 150]$  en six sous intervalles :

$$[x, y, 0, 150] \rightarrow \begin{cases} [x, y, 0, 10] ; [0] \\ [x, y, 10, 30] ; [2] \\ [x, y, 30, 50] ; [3] \\ [x, y, 50, 80] ; [4] \\ [x, y, 80, 100] ; [3] \\ [x, y, 100, 140] ; [2] \\ [x, y, 140, 150] ; [1] \end{cases}$$

La valeur à part représente l'indicateur de proximité spécifique à chaque intervalle. Par exemple, pendant l'intervalle  $[50, 80]$ , l'indicateur de proximité associé au contact  $\vec{xy}$  est égale à 4. En effet, du fait de l'omnidirectionnalité des liens, les contacts susceptibles d'altérer la communication entre  $x$  et  $y$  sont tous les contacts entrant vers la destination ( $\vec{cy}$  et  $\vec{ay}$ ) mais aussi tous les contacts sortant des voisins entrant de la destination ( $\vec{ad}$  et  $\vec{ab}$ ). En appliquant l'équation 3 sur l'ensemble de valeurs, on obtient une moyenne de l'indicateur de proximité sur tout l'intervalle. On a alors  $\mathcal{S}_{xy}^m(t) = 2.46$ .

Le contact est réécrit dans la trace en ajoutant l'indicateur de proximité :

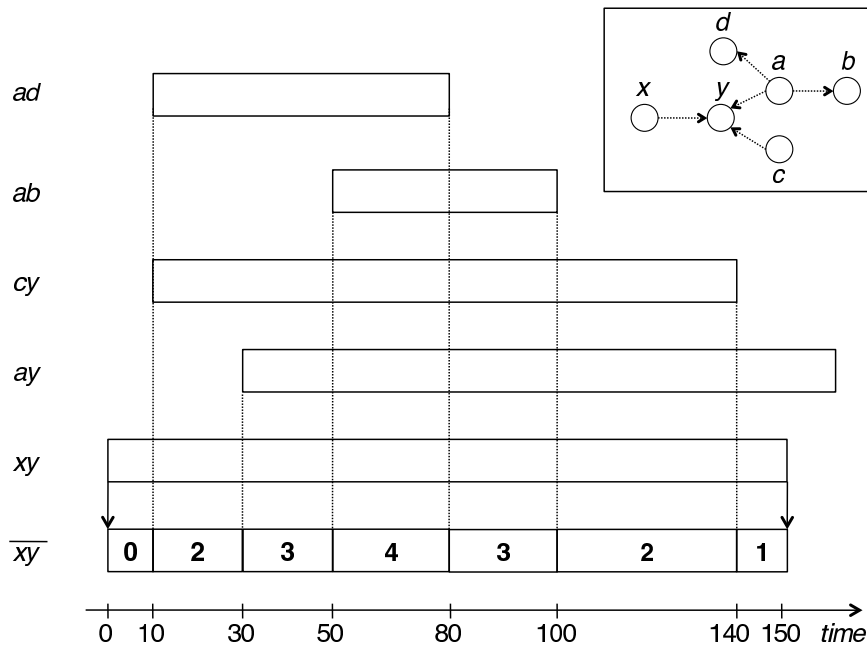
$$\begin{array}{ccc} \vdots & & \vdots \\ [x, y, 0, 150] & \Rightarrow & [x, y, 0, 150, 2.46] \\ \vdots & & \vdots \end{array}$$

#### 4. Analyses

Nous étudions les propriétés inférées par l'indicateur de proximité sur les traces d'Infocom et de RollerNet. Ces deux traces sont disponibles à travers le site de Crowdad [CRA]. D'abord, nous analysons la distribution des valeurs prises par l'indicateur pour estimer l'évolution de la densité des contacts (voir section 4.2). Ensuite, nous définissons la notion de "potentiel" d'un contact et étudions la répartition des contacts et de leurs durées par rapport à cette nouvelle métrique (voir section 4.3).

##### 4.1. Préalables

Les deux traces utilisées ont été générées à partir des logs de contacts entre des iMotes Intel (des appareils Bluetooth). Chaque iMote effectue des scans périodiques et enregistre les adresses MAC des appareils détectés. Chaque contact est représenté par le tuple (adresse-MAC1, adresse-MAC2,

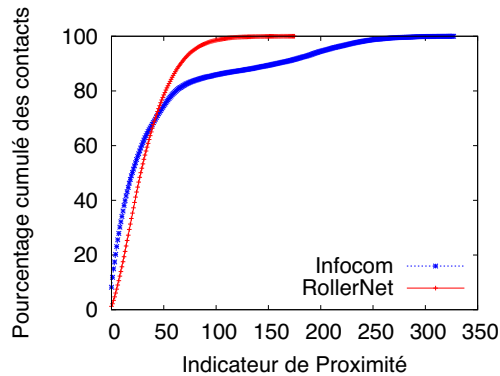


**Figure 2.** Décomposition de la durée d'un contact en fonction de l'indicateur de proximité. Dans cet exemple, la durée de  $xy$  est divisée en six sous intervalles.

temps-début, temps-fin). La trace Infocom a été collectée pendant les quatre jours de la conférence Infocom 2006, où 41 iMotes ont été distribués à des étudiants participants au séminaire [CHA 07]. La trace RollerNet comporte les contacts enregistrés entre 61 participants à une balade en roller dans les rues Paris. La balade a duré trois heures environ [TOU 09].

Afin d'évaluer les propriétés des traces dans des conditions similaires, nous avons appliqué les mêmes hypothèses sur les deux traces. La première hypothèse concerne la durée des contacts. Pendant une période de scan, chaque iMote effectue une requête et enregistre les adresses MAC des appareils ayant répondu. Pour préserver la capacité de la mémoire RAM, les auteurs des deux traces ont choisi d'enregistrer les "périodes de contact" au lieu de stocker toutes les réponses obtenues à chaque scan. Soit  $s$  l'intervalle entre deux scans successifs d'un même iMote (c'est-à-dire, la granularité de la mesure). Dans les deux traces, lorsqu'un nœud  $x$  reçoit  $T$  réponses successives depuis  $y$  à partir de  $t_0$ , on assume que le contact entre les deux nœuds a duré de  $t_0$  à  $t_0 + T \times s$ . En réalité, si  $x$  n'a pas reçu de réponse de  $y$  à  $t_0 - s$  et à  $t_0 + (T + 1) \times s$  et qu'on suppose que le temps d'intercontact est supérieur à  $s$ , le cas choisi est le pire cas. Afin d'avoir une estimation moyenne, nous prenons l'hypothèse que le contact dure de  $t_0 - s/2$  à  $t_0 + (T + 1/2) \times s$ .

La deuxième hypothèse est relative à la bidirectionnalité des contacts. Comme expliqué précédemment, chaque iMote effectue périodiquement des scans et crée des contacts directionnels avec les iMotes détectés. Cependant, un scan implique un échange de messages dans les deux sens (envoi de



**Figure 3.** Répartition des contacts en fonction de l'indicateur de proximité.

la requête dans un sens et de la réponse dans l'autre); considérer les contacts comme bidirectionnels est donc une hypothèse raisonnable. Cette hypothèse étant déjà appliquée à la trace RollerNet, nous l'avons donc prise comme convention.

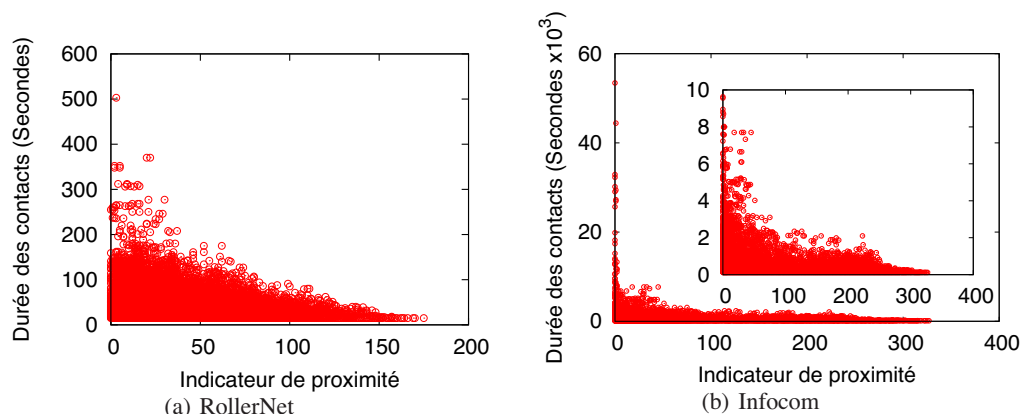
#### 4.2. Propriétés de l'indicateur de proximité

La figure 3 montre la distribution des contacts en fonction de l'indicateur de proximité. Les deux courbes exhibent un comportement différent autour des valeurs minimales de l'indicateur. Dans RollerNet, la distribution des contacts est assez homogène. Le nombre de contact avec un indicateur de proximité nul est d'environ 1% alors qu'il est de plus de 8% dans Infocom. Il est donc plus rare qu'un contact arrive dans un environnement isolé dans RollerNet. L'effet accordéon qui caractérise la trace RollerNet explique en partie ce résultat [TOU 09]. En effet, ce phénomène indique une périodicité de l'évolution du voisinage des nœuds. Les nœuds passent périodiquement d'un environnement très épars à un environnement très dense. Puisque les contacts se forment plus souvent pendant la phase dense, on observe rarement des contacts isolés. Dans les deux traces, le voisinage d'un contact peut s'avérer très dense. Dans le cas le plus extrême, l'indicateur de proximité atteint la valeur 175 dans RollerNet et 327 dans Infocom. Même si l'indicateur de proximité ne représente qu'une indication des communications parallèles potentielles, des valeurs aussi importantes de l'indicateur de proximité montrent clairement que certaines zones sont susceptibles d'avoir une très faible probabilité de réussite de transmission, si ce n'est qu'en considérant les interférences mutuelles causées par l'échange de messages de contrôle.

Nous nous intéressons maintenant à la répartition de la durée des contacts en fonction de l'indicateur de proximité. La figure 4 montre que, pour les deux traces, la durée des contacts diminue avec l'augmentation de l'indicateur.

Ce résultat est très intéressant. En effet, il permet de comparer les contacts sans aucune information particulière sur les caractéristiques physiques du médium. Un protocole de routage pourrait, par exemple, utiliser une politique simple qui consisterait à ignorer les petits contacts avec un indicateur de proximité élevé lorsque des routes alternatives existent. Il est aussi important de noter, dans la





**Figure 4.** *Durée des contacts en fonction de l'indicateur de proximité.*

trace Infocom, les quelques contacts isolés (avec un indicateur de proximité égale à 0) qui durent plus de cinq heures.<sup>1</sup>

Enfin, nous étudions la distribution de la durée cumulée des contacts en fonction de l'indicateur de proximité (Figure 5). Même si les deux courbes montrent une similitude avec un indicateur de proximité autour de la valeur 50, elles ont néanmoins des comportements différents. La durée des contacts isolés (avec un indicateur de proximité égale à 0) représente 15% du temps total dans la trace Infocom alors qu'elle ne constitue que 1% du temps dans RollerNet. Cette différence est due entre autre aux longs contacts isolés appartenant à la trace Infocom. Reprenons l'exemple de l'algorithme de routage simple qui ignore les contacts qui ont un indicateur de proximité supérieur à une certaine valeur, par exemple 25. Dans ce cas, les liens resteraient inactifs 55% du temps dans le cas de RollerNet alors qu'ils ne le seraient que 35% du temps dans Infocom. Là aussi, cette observation suggère de considérer les spécificités de l'environnement lors de la conception de stratégies de routage.

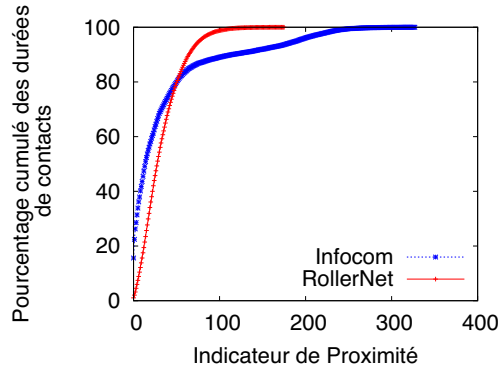
### 4.3. Analyse du potentiel des contacts

Pour illustrer l'utilisation de l'indicateur de proximité en pratique, nous définissons la notion de "potentiel". Le potentiel d'un contact est le ratio de la durée du contact sur la densité du voisinage. Formellement, le potentiel d'un contact  $[x, y, t_1, t_2, S]$  s'écrit :

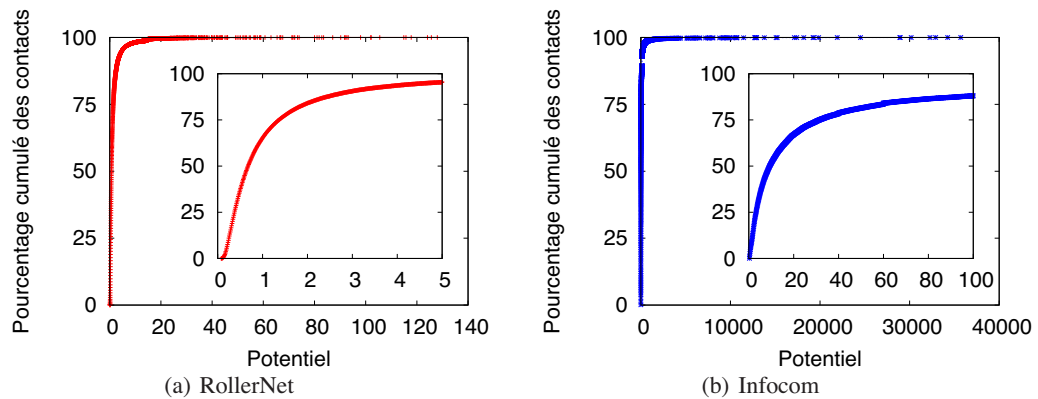
$$\mathcal{P}_{xy}(t_1, t_2) = \frac{t_2 - t_1}{S + 1}. \quad (5)$$

Le potentiel d'un contact pondère la durée du contact par le nombre de contacts potentiels dans la zone concernée. Il permet de comparer les contacts entre eux sans connaissance particulière sur le medium utilisé.

1. Ces contacts représentent vraisemblablement des camarades de chambre durant la nuit.

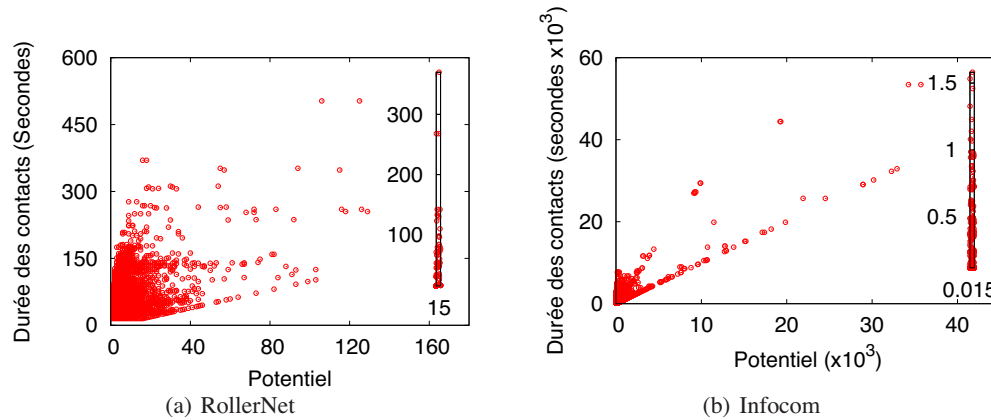


**Figure 5.** Pourcentage cumulé des Durées de contacts en fonction de l'indicateur de proximité.



**Figure 6.** Répartition des contacts en fonction du potentiel.

Nous étudions donc la distribution du pourcentage cumulé des contacts en fonction du potentiel sur les deux traces précédentes. Le résultat est montré dans la figure 6. Dans les deux traces, un nombre élevé de contacts a un potentiel assez faible comparé au potentiel maximal. En effet, dans RollerNet, plus de 65% des contacts ont un potentiel inférieur à 1 alors que le potentiel maximal atteint est de 128. De manière similaire, dans Infocom, plus de 50% des contacts ont un potentiel inférieur 9 alors que le potentiel maximal est de 35715. Il est important de souligner que ces cas maximaux ne représentent que des cas particuliers. Néanmoins, de ce constat découlent deux résultats importants relatifs à ces deux traces. Le premier est qu'il n'est pas réaliste de considérer le potentiel des contacts comme étant illimité. Il apparaît au contraire que le potentiel observé soit assez faible globalement. Le deuxième résultat concerne la variation extrême des valeurs du potentiel. Il est vrai que la majorité des contacts a un potentiel faible, mais on observe en même temps quelques contacts avec des potentiels très importants. Il est donc important de distinguer clairement ces deux classes de contacts et de ne pas assumer que les contacts ont tous une même capacité.



**Figure 7.** Répartition de la Durée des contacts en fonction du potentiel.

Pour finir, nous étudions le degré de corrélation entre le potentiel estimé d'un contact et sa durée. La figure 7 représente la répartition de la durée des contacts en fonction du potentiel. En accord avec l'observation précédente, les contacts sont fortement condensés sur les valeurs minimales. Il est cependant intéressant de voir que les contacts ayant un même potentiel peuvent avoir en réalité des durées radicalement différentes. En effet, si on prend par exemple l'ensemble des contacts de la trace Infocom ayant un potentiel entre 15 et 16 (figure 7(b)), la durée minimale observée (120 secondes) est plus de 10 fois inférieure à la durée maximale (1581 secondes). Sur le même intervalle (figure 7(a)), la durée minimale observée sur RollerNet (15 secondes) est 25 fois inférieure à la durée maximale (370 secondes). Cette dernière remarque confirme l'insuffisance de la durée comme seul élément de comparaison entre deux contacts.

## 5. Conclusion

La principale contribution de cet article est l'introduction de l'indicateur de proximité dans les traces DTN. L'indicateur de proximité fournit une information explicite sur l'environnement d'un contact. Nous avons utilisé l'indicateur de proximité pour définir la notion de potentiel de contact qui pondère la durée du contact par le nombre de contacts potentiels dans la zone avoisinante. Nous avons utilisé deux traces différentes avec des environnements de contacts spécifiques pour étudier les propriétés de l'indicateur de proximité et du potentiel. Notre analyse montre que la densité du voisinage d'un contact est très variable et que cette variabilité n'a pas de corrélation directe avec la durée du contact. Cette observation met en évidence l'indicateur de proximité comme métrique simple mais utile pour estimer la densité du voisinage d'un contact.

## Remerciements

Ce travail a été soutenu par le projet ANR CROWD sous le contrat ANR-08-VERS-006.

## 6. Bibliographie

- [BAL 07] BALASUBRAMANIAN A., LEVINE B., VENKATARAMANI A., DTN routing as a resource allocation problem , *ACM Sigcomm*, 2007.
- [BOL 08] BOLDRINI C., CONTI M., PASSARELLA A., ContentPlace : social-aware data dissemination in opportunistic networks , *ACM International Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems*, 2008.
- [CHA 07] CHAINTREAU A., HUI P., DIOT C., GASS R., SCOTT J., Impact of Human Mobility on Opportunistic Forwarding Algorithms , *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 6, 2007, p. 606–620.
- [CRA] CRAWDAD Website, <http://crawdad.cs.dartmouth.edu>.
- [DAL 07] DALY E. M., HAAHR M., Social network analysis for routing in disconnected delay-tolerant MANETs , *ACM Mobihoc*, 2007.
- [FAL 03] FALL K., A delay-tolerant network architecture for challenged internets , *ACM Sigcomm*, 2003.
- [HUI 08] HUI P., CROWCROFT J., YONEKI E., Bubble rap : social-based forwarding in delay tolerant networks , *ACM Mobihoc*, 2008.
- [JUN 07] JUNG S., LEE U., CHANG A., CHO D.-K., GERLA M., BlueTorrent : Cooperative Content Sharing for Bluetooth Users , *IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications*, 2007.
- [LEB 06] LEBRUN J., CHUAH C.-N., Bluetooth content distribution stations on public transit , *International workshop on Decentralized resource sharing in mobile computing and networking*, 2006.
- [LEG 06] LEGUAY J., FRIEDMAN T., CONAN V., Evaluating Mobility Pattern Space Routing for DTNs , *IEEE Infocom*, 2006.
- [LIN 04] LINDGREN A., DORIA A., SCHELÉN O., Probabilistic Routing in Intermittently Connected Networks , *International Workshop on Service Assurance with Partial and Intermittent Resources*, 2004.
- [MCN 08] MCNAMARA L., MASCOLO C., CAPRA L., Media sharing based on colocation prediction in urban transport , *ACM Mobicom*, 2008.
- [SAR 06] SARAFIJANOVIC-DJUKIC N., PIORKOWSKI M., GROSSGLAUSER M., Island Hopping : Efficient Mobility-Assisted Forwarding in Partitioned Networks , *IEEE SECON*, 2006.
- [SPY 05] SPYROPOULOS T., PSOUNIS K., RAGHAVENDRA C. S., Spray and wait : an efficient routing scheme for intermittently connected mobile networks , *ACM SIGCOMM workshop on Delay-tolerant networking*, 2005.
- [TOU 09] TOURNOUX P. U., LEGUAY J., BENBADIS F., CONAN V., DE AMORIM M. D., WHITBECK J., The Accordion Phenomenon : Analysis, Characterization, and Impact on DTN Routing , *IEEE Infocom*, 2009.
- [YUA 09] YUAN Q., CARDEI I., WU J., Predict and relay : an efficient routing in disruption-tolerant networks , *ACM Mobihoc*, 2009.