

# Optimisation du Routage par la détection des Violations d'Inégalités Triangulaires dans les Systèmes de Coordonnées Internet

Papa Ousmane Sangharé, Bamba Gueye, Ibrahima Niang

Département Mathématiques Informatiques  
Faculté des Sciences et Techniques  
Université Cheikh Anta Diop de Dakar (UCAD)  
SENEGAL

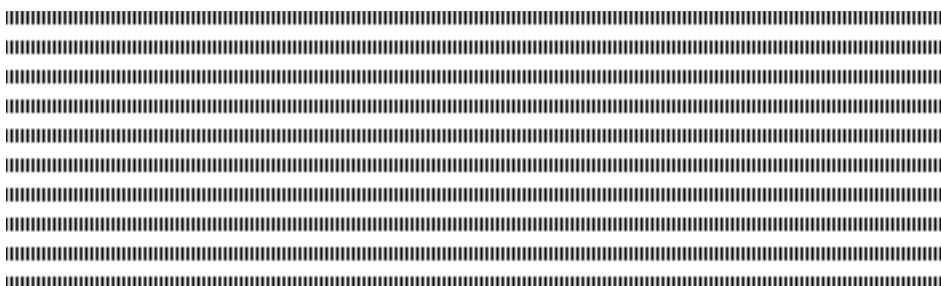
{papa.sanghare, bamba.gueye}@ucad.edu.sn, iniang@ucad.sn

**RÉSUMÉ.** Les systèmes de coordonnées constituent une solution de réduction de surcharge du réseau en optimisant ces mesures directes. Ils reposent sur une prédiction de distances réseau. Cependant, les systèmes de coordonnées deviennent imprécises, dans la prédiction de distance, lorsque les distances mesurées violent le principe de l'inégalité triangulaire (TIV-Triangle Inequality Violation). Dans cet article, nous montrons les limites des solutions proposées pour détecter les TIVs afin de diminuer leur impact sur les systèmes de coordonnées, et proposons une nouvelle métrique. Ensuite, nous proposons d'exploiter les raccourcis offerts par les TIVs, pour améliorer le routage dans les réseaux de recouvrement.

**ABSTRACT.** Coordinate systems are a solution to reduce network congestion by optimizing these direct measurements. They are based on a prediction distance network. However, the coordinate systems are facing problems of inaccuracies in the prediction of distance, when measured distances violate the principle of triangle inequality (TIV-Triangle Inequality Violation). Firstly, we show the limitations of previous approaches that try to detect TIVs in order to reduce their impact on coordinate systems, and then propose a new metric. Secondly, we propose to use the shortcuts provided by the TIVs, to improve routing in overlay networks.

**MOTS-CLÉS:** Systèmes de coordonnées, Violation d'inégalités triangulaire, Mesures, Routage.

**KEYWORDS:** Network Coordinate Systems, Triangular Inequality Violation, Measurement, Routing.



---

## 1. Introduction

De nos jours, les systèmes de coordonnées Internet sont largement utilisés dans les services et applications réseaux à large échelle et globalement distribués, telles que les applications de partage de fichiers pair à pair [1], les applications de sélection de serveur le plus proche [2], de jeux en ligne [8] etc. En effet, les systèmes de coordonnées Internet permettent aux hôtes du réseau d'estimer les délais entre eux sans pour autant effectuer des mesures, et ainsi réduire la consommation de ressources et particulièrement le nombre de mesures à la demande. L'idée principale des systèmes de coordonnées Internet est de modéliser l'internet dans un espace géométrique, et de caractériser la position de chaque nœud dans le réseau, par un ensemble de coordonnées. La distance réseau entre deux nœuds est ainsi estimée comme étant la distance géométrique entre leurs coordonnées dans l'espace géométrique. Par conséquent, les mesures explicites ne sont plus nécessaires.

Cependant, les politiques de routage, principalement, peuvent entraîner des violations du principe de l'inégalité triangulaire (Triangle Inequality Violation - TIV) par les délais [4]. Ces violations sont la cause de distorsions et d'erreurs de prédiction pour les systèmes de coordonnées [5]. Prenons l'exemple de trois nœuds A, B et C tels que  $d(A;B)$  est de 36 ms,  $d(B;C)$  est de 16 ms et  $d(A;C)$  est de 9 ms où  $d(X; Y)$  dénote le délai existant entre le nœud X et le nœud Y. Dans ce cas, le principe d'inégalité triangulaire est violé car  $d(A;B) > d(A;C) + d(C;B)$ . Nous dirons que le triangle ABC est une TIV (Triangle Inequality Violation) et que AB (le plus grand côté) est une base de TIV. Face à des situations de TIV, les nœuds d'un système de coordonnées auront tendance à alterner entre des sous-estimations et des sur-estimations de la distance réelle, sans jamais parvenir à se positionner dans l'espace métrique de façon parfaite.

Suivant les causes d'imprécision que les TIVs engendrent dans les systèmes de coordonnées Internet, certains chercheurs dans ce domaine, ont proposé des métriques de détection de TIVs [6] [7], pour permettre aux systèmes de coordonnées Internet d'éviter les liens bases de TIV lors des mesures de délais. Ce qui préservera leur précision dans les estimations de distance. Toute fois ces métriques présentent des inconvénients.

Cependant, la présence de TIVs dans l'Internet offre une opportunité qui peut être exploitée, pour améliorer le routage des applications de distribution de jeux en ligne, de partage de fichier, ou de VOIP [8]. Ces applications peuvent potentiellement améliorer leur performance de routage, en exploitant les raccourcis offerts par les TIVs [9].

Dans cet article, nous présentons dans un premier temps notre métrique de détection de TIVs **RPMO (Ratio de Prédiction sur la Moyenne des Oscillations)**, qui permet de détecter les TIVs avec précision, tout en surmontant les inconvénients des métriques

proposées précédemment [6] [7]. Dans un deuxième temps, comme les TIVs sont inhérents à Internet, nous nous proposons d'optimiser le routage dans les réseaux de recouvrement avec l'utilisation des meilleurs raccourcis offerts par les TIVs. Nous proposons une nouvelle métrique de détection de meilleurs raccourcis appelée **MDGD (Metric for Detecting Good Detours)**.

Dans la section 2, nous dressons un état de l'art sur les systèmes de coordonnées Internet et présenterons les métriques de détection de TIVs, à savoir le ratio de prédiction [6] et OREE [7]. Dans la section 3, nous présentons notre métrique RPMO, ainsi que les résultats de son évaluation. Dans la section 4, nous montrons les travaux que nous avons effectués sur l'optimisation du routage dans les réseaux de recouvrement avec l'utilisation des raccourcis offerts par les TIVs. Nous terminons cet article sur une conclusion.

---

## 2. Etat de l'art

### 2.1. Les systèmes de coordonnées Internet

L'idée principale de tels systèmes est de modéliser l'internet comme un espace géométrique. La distance réseau entre deux nœuds est ainsi prédite comme la distance entre leurs coordonnées, sans faire de mesures explicites. Il existe deux classes principales de systèmes de coordonnées Internet :

- Les *systèmes de coordonnées centralisés* : ces derniers impliquent un composant centralisé (un ensemble de nœuds balises aussi appelés « Landmarks » ou Hôtes références), à partir duquel les autres nœuds calculent leurs propres coordonnées, suivant des mesures vers cette infrastructure fixe déjà déployée. Nous pouvons donner comme exemple GNP [13], NPS [14].
- Les *systèmes de coordonnées décentralisés* : ces systèmes généralisent le rôle des landmarks à tout nœud présent dans le système, ou en éliminent l'infrastructure de landmark. Les systèmes de coordonnées décentralisés d'internet peuvent être vus comme des systèmes de positionnement réseau pair-à-pair. Exemple BBS [15], Vivaldi [16].

### 2.2. Paramètres de détection de TIVs

Les travaux antérieurs ont proposé deux paramètres de détection de TIVs : le Ratio de Prédiction [6] et la métrique OREE (Oscillation and Relative Estimation Error) [7].

Le ratio de prédiction est la relation qui existe entre la distance estimée et la distance mesurée. Dans [6] les auteurs ont montré que les cotés qui ont de petit ratio de prédiction, c'est-à-dire les cotés qui ont subi un rétrécissement dans l'espace euclidien, ont tendance à causer de sévères TIV. Toutefois, cette métrique présente un inconvénient sur la mise à jour des voisins d'un nœud. En effet, chaque nœud du réseau choisit périodiquement 32 autres voisins au hasard, qu'il ajoute sur ses 32 voisins déjà disponibles. Les 64 voisins sont ainsi triés suivant la valeur de leur ratio de prédiction. Si le ratio de prédiction d'un lien est très petit, ceci implique que le lien est sous estimé et cause probablement de sévères TIVs. Par la suite, le nœud élimine de sa liste de voisins, les 32 nœuds ayant les prédictions de ratio les plus petits qui sont en générale les voisins éloignés, et utilise les 32 nœuds restant comme voisins dans la prochaine itération.

La métrique OREE met en jeu la variance des distances estimées, la distance mesurée et la moyenne des distances estimées. La valeur de la métrique OREE est obtenue par la différence entre la variance des distances estimées et la distance réelle divisée par la moyenne des distances estimées. Les auteurs de [7] ont montré que quand la valeur de OREE est petite le lien sera considéré comme base TIV, et vice versa. Ce qui veut dire que la probabilité qu'un lien soit une base de TIV croît quand la valeur de OREE décroît. L'inconvénient du paramètre OREE est qu'il utilise un nombre important d'informations pour la détection de TIVs. L'utilisation de cette technique de détection de TIVs dans de très larges réseaux tel que l'internet, entraîne un temps de calcul considérable, causant ainsi une contre performance des applications pair-à-pair telles que les applications de jeu en ligne ou de VOIP [8], qui visent à déterminer le meilleur chemin le plus rapidement possible.

---

### 3. RPMO (Ratio de Prédiction sur la Moyenne des Oscillations)

Suivant les inconvénients notés sur les paramètres de détection de TIVs (REE et OREE), notre objectif est de trouver une métrique qui permettrait de détecter les violations d'inégalités triangulaire avec précision, sans altérer l'hétérogénéité des voisins dans Vivaldi et utilisant moins de données.

Notre paramètre proposé met en relation l'oscillation, la distance estimée et la distance réelle d'un lien en vu de mieux détecter les TIVs. Ce dernier est nommé RPMO (Ratio de Prédiction sur la Moyenne des Oscillation).

$$\text{RPMO} = (\text{Distance estimée} / \text{RTT}) / \text{Moyenne des oscillations} \quad (1)$$

Pour le calcul de la moyenne des oscillations nous avons pris en considération les variations des distances estimées d'un lien que l'on divise par le nombre de ticks (pas

de simulation). Soit  $d_1$  la distance estimée de AB au tick 1,  $d_2$  la distance estimée de AB au tick 2 et  $d_3$  la distance estimée de AB au tick 3

Moyenne des oscillations de AB =  $(|d_1-d_2| + |d_2-d_3|)/2$ .

$$RPMO = (dn / RTT) / ((\sum_{i=1}^n |d_i - d_{i+1}|) / (n - 1)). \quad (2)$$

### 3.1 Evaluation de la métrique RPMO

Pour les simulations dont les résultats sont présentés dans la suite de cet article, nous avons utilisé le simulateur P2PSim [10] qui fournit une implémentation de Vivaldi que nous avons fait tourner dans des matrices de délais. Lors de ces simulations, chaque nœud utilise 32 voisins [16] et les différentes simulations pour une même matrice mesurée ont été réalisées avec le même choix de voisins. Nous avons utilisé trois matrices de délais. Les deux premières sont les matrices King (1740 nœuds) [10] et Meridian (2500 nœuds) [11]. La troisième matrice de délai, PlanetLab, est une matrice construite en réalisant des pings entre 180 nœuds dans le réseau Planetlab [12]. Pour étudier les caractéristiques des TIV, deux critères ont été définis pour indiquer la sévérité des TIVs : la sévérité absolue :  $G_a = d(A,C) - (d(A,B) + d(B,C))$  et la sévérité relative  $G_r = d(AC) - (d(A,B) + d(B,C)) / d(AB)$ .

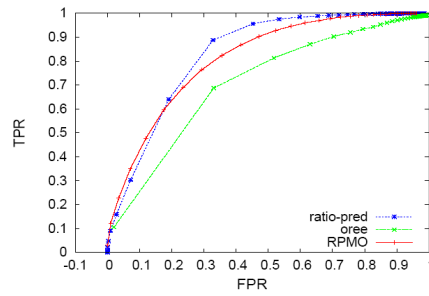
Ces critères reflètent les gains possibles qu'on peut atteindre en détectant les TIVs. Pour  $G_a = 10ms$  montre que, au lieu de passer par le chemin direct de A à B, passer par le chemin via le nœud C nous fait gagner 10ms de rapidité. Cependant un grand  $G_a$  et  $G_r$  ne montrent pas seulement de sévère violation mais aussi un gain possible. Dans notre travail on s'intéresse aux TIVs qui satisfont les deux critères, à savoir  $G_a > 10ms$  et  $G_r > 0,1$  et considère les autres comme des non-TIVs.

### 3.2 Résultats

Pour bien étudier les performances de ces différents paramètres de détection de TIVs (RPMO, Ratio de prédiction et OREE) et pour en déterminer le meilleur, nous avons fait la comparaison de leurs courbes ROC : le rapport TPR (True Positive Rate) sur FPR (False Positive Rate) au niveau des réseaux (King, Meridian et PlanetLab),

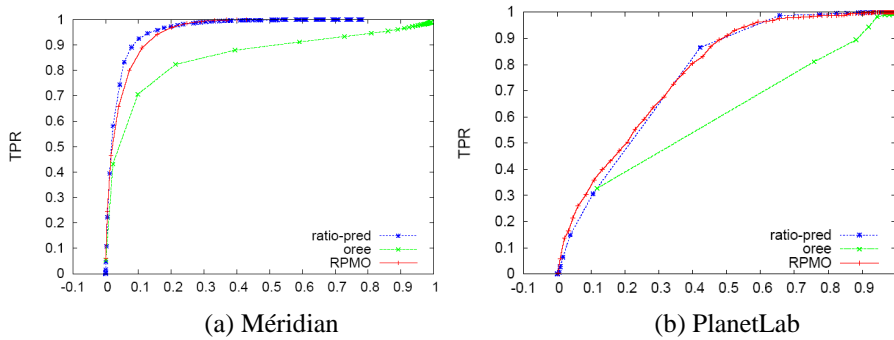
La courbe ROC nous permet de déterminer le pourcentage de lien base de TIV, et le pourcentage de lien non base de TIV détectés suivant une valeur du paramètre de détection de TIV. Le TPR « pourcentage de vrai positif » concerne les liens bases de TIV détectés et le FPR « pourcentage faux positif » concerne les liens non base de TIV détectés comme bases de TIV. Les résultats peuvent être visualisés sur les figures suivantes. La figure 1 montre les courbes ROC des paramètres de détection de TIVs Ratio de Prédiction, OREE et RPMO dans le réseau King. Chaque point de chaque

courbe représente une valeur seuil du paramètre de détection correspondant avec un pourcentage de faux positif en abscisse et un pourcentage de vrai positif en ordonnée.



**Figure 1 :** Les courbes ROC des paramètres Ratio de Prédiction, OREE et RPMO suivant le jeu de données King

La figure 2 montre les courbes ROC des paramètres de détection de TIVs Ratio de Prédiction, OREE et RPMO en utilisant le jeu de données Meridian (Figure 2(a)) et le jeu de données PlanetLab (Figure 2(b)). Suivant les figures 1 et 2 nous pouvons en déduire que parmi les paramètres étudiés, au niveau de King, jusqu'à 60% de TPR sur 16% de FPR, RPMO est meilleur comparé à OREE et au ratio de prédiction, par contre au delà des 60% de TPR, le ratio de prédiction devient un tout petit peu meilleur que le RPMO. Dans Meridian (Figure 2(a)), nous constatons que le ratio de prédiction et le RPMO sont au coude à coude jusqu'à environ 50% TPR et environ 0,01% de FPR, et à partir de là, le ratio de prédiction se détache légèrement du RPMO. Par contre pour PlanetLab (Figure 2(b)), les courbes montrent que le RPMO est plus performant que les deux autres métriques.



**Figure 2 :** Les courbes ROC des paramètres Ratio de Prédiction, OREE et RPMO

Les figures (1) et (2) montrent clairement que notre paramètre de détection de TIV, RPMO, est plus performant que les paramètres OREE et REE jusqu'à un certain pourcentage, ou bien à coude à coude en terme de détection de TIV. Mais du fait que le Ratio de Prédiction présente des inconvénients sur le mécanisme de sélection de voisin dans Vivaldi, comme dit précédemment, nous concluons que le paramètre RPMO est le plus efficace en matière de détection.

---

## 4. Optimisation du routage dans l'internet grâce aux TIVs.

Comme les TIVs sont inhérents à l'internet, elles représentent une opportunité qui peut être exploitée pour le routage, au niveau des réseaux de recouvrement des applications de distribution de jeux en ligne, de partage de fichier, ou de VOIP [8]. Ces applications peuvent potentiellement améliorer leur performance de routage en exploitant les TIVs. En effet, si le coté AB d'un mauvais triangle ABC (un triangle où l'inégalité triangulaire n'est pas respectée) est le lien base de TIV, il existe un raccourci pour aller de A à B en passant par le point C au lieu d'utiliser le chemin direct allant de A à B. Les applications pourront ainsi utiliser le raccourci pour gagner plus de temps.

Notre objectif dans ce travail est alors, pour chaque lien AB base de TIVs, de détecter les meilleurs points C, nous permettant de gagner plus de temps pour aller de A à B en passant par le point C

### 4.1 La métrique MDGD (Metric for Detecting Good Detours)

Notre but est de trouver un seuil nous permettant de dire si un quelconque potentiel point C fait parti des meilleurs points C (offrant un raccourci avec un gain de temps supérieur à 10ms) oui ou non. Pour la mise en place de notre métrique, nous avons étudié le lien qui peut exister entre la distance  $D$  qui est égale à  $d(AB) - (d(AC) + d(CB))$ , et le pseudo gain. Le pseudo gain pour un triangle ABC représente la différence entre la distance RTT (AB) et la somme des distances estimées (AC) et (CB), à savoir :  $d(AB) - (Estim(AC) + Estim(CB))$ .

Nous avons mis des triangles dans des bins (groupes) de 10ms en nous basant sur leurs pseudos gains. Dans chaque bin, nous calculons la médiane de la distance  $D$  des triangles présents dans le bin, la distance  $D$  la plus grande et la distance  $D$  la plus petite. Nous illustrons ces trois derniers suivant les bins (suivant les pseudos gain) sur la figure 3. L'axe des x représente la sévérité des TIVs et l'axe des y les pseudos gain en millisecondes. La courbe de la médiane de la distance  $D$  des triangles montre que plus le pseudo gain augmente, plus nous rencontrons des triangles bases de TIVs qui deviennent de plus en plus sévères (offrant des gains de temps de plus en plus grand). Ainsi on aura une diminution de l'erreur d'estimation relative ( $Er = d(AB)/Estim(AB)$ ),

ainsi que l'erreur d'estimation absolue ( $E_a$ ) =  $d(AB) - \text{Estim}(AB)$ . Le Pseudo gain (PG) est égal à  $d(AB) - (\text{Estim}(AC) + \text{Estim}(CB))$

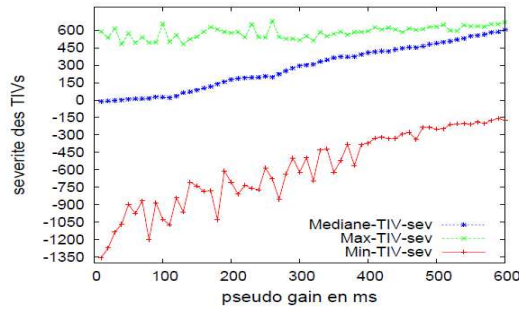


Figure 3 : Relation entre pseudo gain et sévérité des TIVs

Après avoir vu que le pseudo gain peut nous permettre de retrouver un certain nombre liens bases de TIVs sévères, nous nous sommes basés sur les trois paramètres précédents, pour mettre en place une métrique permettant de détecter les meilleurs points C, c'est-à-dire les points C nous offrant des raccourcis où le gain de temps est supérieur à 10 ms par rapport au chemin direct. La métrique proposée est la suivante :

$$\text{MDGD} = (E_r \times E_a) / \text{PG} \quad (10)$$

#### 4.2.1 Evaluation et résultats de la métrique MDGD

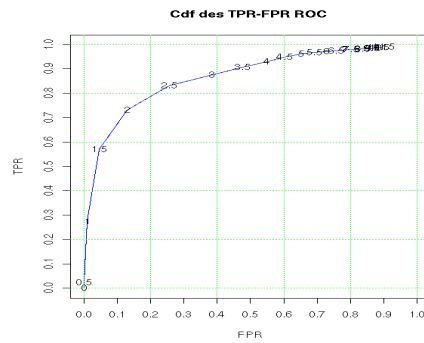
Pour étudier l'efficacité de cette métrique, nous avons essayé de voir, à partir de quelle valeur seuil de cette dernière la détection de bons points C est meilleure. Pour cela nous nous basons sur le TPR (True Positif Rate) et le FPR (False Positif Rate) de chaque valeur seuil. Ici le TPR représente le pourcentage de point C détecté offrant un raccourcis avec un gain de temps supérieur à 10ms, et le FPR représente le pourcentage de point C détecté offrant un raccourcis avec un gain de temps inférieur à 10ms. Le résultat est illustré sur la figure 4.

Pour déterminer le meilleur seuil de notre métrique pour la détection des meilleurs points C avec une bonne précision, nous avons calculé l'exactitude des quatre seuils suivant : A = 1,5; B = 2; C = 2,5; D = 3.

Seuils	TPR	FPR	ACC
A = 1,5	0,57	0,04	0,68
B = 2	0,73	0,13	0,77
<b>C = 2,5</b>	0,83	0,26	<b>0,81</b>
D = 3	0,88	0,38	0,80

Tableau 1 : comparaison de quatre valeurs seuils de la métrique MDGD





**Figure 4 :** Courbe ROC de la métrique MDGD pour la détection de bons points C

Les résultats obtenus dans le tableau 1 montrent qu'avec le seuil  $C = 2,5$  nous avons 83% de vrai positif et 26% de faux positif, avec une précision de 81%, donc il reste le plus précis des seuils pour la détection de meilleurs points C.

En conclusion, nous pouvons dire, qu'avec l'utilisation de la métrique MDGD, nous avons parvenu à détecter les bons points C offrant des raccourcis ayant des gains de temps supérieurs à 10ms, avec une précision de 81%. Ce qui reste un résultat satisfaisant.

---

## 5. Conclusion

Dans cet article, nous avons proposé un nouveau paramètre de détection de TIV appelé RPMO permettant aux systèmes de coordonnées d'éviter ces TIV. Comparé aux paramètres ratio de prédiction et OREE présentés dans d'autres travaux, nous avons montré que le paramètre RPMO reste le plus performant en matière de détection de TIV, sauvegarde les performances de Vivaldi contrairement au ratio de prédiction, et aussi utilise moins de données par rapport au paramètre OREE. Notons qu'il reste difficile de trouver une même valeur de RPMO qui pourra être appliquée dans les ensembles de données considérés dans ce travail.

Bien que les TIVs soient nuisibles aux systèmes de coordonnées, ils présentent des opportunités d'améliorer le routage dans les réseaux de recouvrement, en offrant des chemins de détournement entre les nœuds avec de petits délais.

Ainsi, nous avons proposé la métrique MDGD qui permet de détecter les meilleurs points C, offrant les meilleurs raccourcis d'un triangle ABC base de TIV. Les résultats obtenus, montrent qu'avec une valeur seuil de 2,5 de notre métrique MDGD, nous avons une précision de détection de 81%.

## Bibliographie

- [1] Gnutella, "A distributed peer-to-peer data-sharing system," <http://www9.limewire.com/developer/gnutella/protocol/0.4.pdf>.
- [2] Ratnasamy, S., Handley, M., Karp, R., Shenker, S.: Topologically-aware overlay construction and server selection. In: Proc. IEEE INFOCOM, New York, NY, USA (June 2002).
- [3] L. J. Heyer, S. Kruglyak, and S. Yoosheph, "Exploring expression data: Identification and analysis of coexpressed genes," *Genome Research*, vol. 9, no. 11, pp. 1106–1115, nov 1999.
- [4] ZHENG H., LUA E. K., PIAS M., GRIFFIN T. G., « Internet Routing Policies and Round-Trip-Times », Proc. of the PAM Workshop, LNCS 3431, Boston, MA, USA, March 2005.
- [5] KAAFAR M., GUEYE B., CANTIN F., LEDUC G., MATHY L., « Towards a Two-Tier Internet coordinate system to mitigate the impact of Triangle Inequality Violations », Proc. of IFIP Networking 2008, LNCS 4982, Singapore, May 2008.
- [6] Wang, G., Zhang, B., Ng, T.S.E.: Towards network triangle inequality violation aware distributed systems. In: Proc. the ACM/IMC Conference, San Diego, CA, USA (oct 2007) 175–188
- [7] Yongjun Liao<sup>1</sup>, Mohamed Ali Kaafar, Bamba Gueye, Francois Cantin, Pierre Geurts, Guy Leduc : Work in Progress: Detecting Triangle Inequality Violations in Internet Coordinate Systems by Supervised Learning *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 2009
- [8] Kho, W., Baset, S.A., Schulzrinne, H.: Skype relay calls: Measurements and experiments. In: IEEE Global Internet Symposium. (2008)
- [9] Lumezanu, C., Baden, R., Levin, D., Spring, N., Bhattacharjee, B.: Symbiotic relationships in Internet routing overlays. In: NSDI. (2009)
- [10] « A simulator for peer-to-peer protocols », <http://www.pdos.lcs.mit.edu/p2psim/index.html>.
- [11] WONG B., SLIVKINS A., SIRER E., « Meridian : A Lightweight Network Location Service without Virtual Coordinates », Proc. of the ACM SIGCOMM, August 2005.
- [12] « PlanetLab : An open platform for developing, deploying, and accessing planetary-scale services », <http://www.planet-lab.org>.
- [13] T. E. Ng, and H. Zhang, *Predicting internet network distance with coordinates-based approaches*, In Proceedings of the IEEE INFOCOM, New York, June 2002.
- [14] T. S. E. Ng and H. Zhang, "A network positioning system for the Internet," in *Proc. USENIX Annual Technical Conference*, June 2004.
- [15] Y. Shavitt and T. Tankel, "Big-bang simulation for embedding network distances in euclidean space," in *Proc. IEEE INFOCOM*, March 2003.
- [16] F. Dabek, R. Cox, K. Kaashoek, and R. Morris, "Vivaldi, a decentralized network coordinated system," in *Proc. ACM SIGCOMM*, August 2004.