

Rapport Final de l'AS 88

Métrologie des réseaux de l'Internet

Philippe Owezarski	LAAS, Toulouse	(Animateur)
Patrice Abry	ENS, Lyon	(Animateur)
Kavé Salamatian	LIP6, Paris	
Daniel Kofman	ENST, Paris	
Alexandre Aussem	ISIMA, Clermont-Ferrand	
Fabrice Guillemin	France Télécom R&D, Lannion	
Philippe Robert	INRIA, Rocquencourt	

<http://perso.ens-lyon.fr/patrice.abry/asmetro.html>

Bilan des activités scientifiques de l'action spécifique 88

« Métrologie des Réseaux de l'Internet »

1. Introduction – Motivations

Le réseau Internet subit depuis quelques années une explosion considérable en termes d'augmentation du nombre d'utilisateurs et de quantité de trafic à transporter, en même temps qu'une évolution des usages. De réseau de transmission de données, l'Internet est de plus en plus utilisé comme un réseau universel devant offrir, en plus des services de transmission de données informatiques traditionnels, des services de communication audio et vidéo, de téléphonie, etc. qui étaient jusqu'alors des services offerts par les réseaux hertziens de radiodiffusion ou par le réseau téléphonique. De fait, le réseau Internet doit opérer une mutation technologique afin de transporter avec des Qualités de Services (QoS) adéquates les différents types d'informations engendrées par toutes les applications multimédias émergentes.

Cette mutation technologique est encore aujourd'hui problématique, et il est très difficile de trouver de nouvelles architectures et protocoles capables d'offrir des mécanismes universels pour la gestion de la QoS dans l'Internet¹. Les premières tentatives se sont soldées par des échecs – par exemple DiffServ dont les définitions de services ou de mécanismes protocolaires se heurtent encore à des problèmes techniques² – notamment par un manque de connaissance globale de tous les protocoles et mécanismes de l'architecture TCP/IP, ainsi qu'un manque de connaissance des comportements des utilisateurs et des trafics qu'ils génèrent. Cet accroissement du nombre d'utilisateurs, d'équipements et de briques protocolaires afin d'offrir de nouveaux services dans l'Internet augmente considérablement la complexité du réseau et de son trafic. Les opérateurs sont d'ailleurs complètement démunis par rapport à l'Internet qui évolue en dehors de toute normalisation forte. L'IETF produit bien des RFC, mais ils sont trop nombreux et surtout ne sont pas ou mal implémentés par les constructeurs, chacun ayant au moins une part des solutions propriétaires. Le flou des RFC est ainsi pour beaucoup responsable du manque de lisibilité et de clarté de l'évolution de l'Internet. Par conséquent, il n'y a pas d'approche cohérente de l'architecture de l'Internet ou des solutions ad hoc doivent être trouvées pour chaque problème. Par exemple, pour les offres de VoD, chaque constructeur propose ses propres plates-formes qui mélangent services, transfert et contenu.

En fait, le seul moyen d'offrir de la QoS aujourd'hui est de sur-dimensionner les réseaux. Mais cela engendre des coûts d'infrastructure beaucoup trop importants pour lancer un service "universel". Aussi, comme il n'y a pas moyen de savoir ce qui se passe réellement sur l'Internet, le seul moyen de progresser est de mesurer le trafic réel pour estimer sa qualité de service, les usages et d'anticiper les évolutions. La complexité actuelle de l'Internet rend donc son évolution indissociable d'une bonne connaissance du trafic.

¹ De plus, il est assez difficile de savoir aujourd'hui si proposer aux utilisateurs des classes de services différenciées – approche qui a été au centre de nombreuses recherches en réseau cette dernière décennie – a un intérêt. Au niveau des utilisateurs résidentiels, il est clair que le seul moyen d'introduire un service est qu'il soit bas coût voire carrément gratuit, et le succès du peer-to-peer qui échappe à toute tarification en est la démonstration.

² En plus des difficultés techniques, il existe naturellement des difficultés politiques et administratives liées à la difficulté de trouver des accords entre opérateurs pour mettre en place DiffServ et des classes de services cohérentes, le marché de l'Internet étant très concurrentiel.

Par conséquent, la métrologie³ des réseaux de l'Internet est une activité en plein essor. Toutefois, les techniques de métrologie – souvent passives et en ligne – qui ont pu être développées sur de nombreux réseaux comme les réseaux téléphoniques, X25, etc., et qui fonctionnaient bien sur des questions de supervision, dimensionnement, mesure de la QoS, etc. ne fonctionnent pas dans l'Internet⁴. En effet, les réseaux de l'Internet sont très opaques à cause de l'absence de normes strictes, des fonctionnalités aléatoires des routeurs (souvent propriétaires), du manque d'approche cohérente de l'architecture du réseau, du manque d'accord inter-opérateurs sur la qualité de service offerte, du mode non-connecté rendant toute exploitation difficile, etc. La métrologie est aujourd'hui le seul outil qui puisse permettre de savoir ce qui se passe dans un réseau, et la métrologie devient la pierre angulaire de nombreuses activités autant au niveau de la recherche en réseau que de la conception, la mise en place, la gestion et l'opération des réseaux. Ainsi, la métrologie recouvre maintenant des domaines d'étude comme :

- La collecte et l'enregistrement d'informations sur le trafic ;
- La caractérisation et la modélisation du trafic ;
- L'analyse du trafic et du réseau (notamment au niveau des comportements, que ce soit au niveau des mécanismes protocolaires du réseau ou au niveau des utilisateurs) ;
- L'ingénierie des trafics ;
- L'optimisation de la QoS et des performances ;
- La tarification et la mesure du respect des SLA ;
- La sécurité ;
- L'administration des réseaux ;
- ...

2. Analyse prospective stratégique

Si on observe aujourd'hui le paysage de la métrologie en France, il apparaît qu'il existe assez peu d'efforts fédérés. En fait, il existe seulement :

- NetMet, qui est une initiative d'administrateurs réseaux académiques (à Nancy) et qui développent un outil de base permettant de réaliser des statistiques simples sur le trafic qui traverse les routeurs (CISCO presque uniquement car il repose sur le système de comptage NetFlow de CISCO, et n'a pas encore été porté sur tous les matériels existant). NetMet est ainsi utilisé aujourd'hui sur de très nombreux réseaux de collecte connectés à Renater ;
- METROPOLIS qui est une initiative d'un petit nombre d'équipes de recherche en réseau en France (LIP6, LAAS, France Télécom R&D, INRIA, EURECOM, GET et Renater), soutenue par le RNRT, et dont l'objectif est d'explorer le domaine de la

³ La métrologie, ou science des mesures, telle qu'elle est utilisée aujourd'hui, comporte plusieurs aspects. Le premier, qui est aussi le plus traditionnel, concerne les techniques et méthodes permettant de réaliser des mesures. Dans le cadre des réseaux, deux grandes familles de mesures sont apparues : les mesures actives et les mesures passives dont un état de l'art est proposé dans [OWE03]. Il est à noter qu'un des aspects les plus complexes pour la réalisation de ces mesures a trait à l'échantillonnage spatial et temporel qui doit permettre de limiter le nombre de mesures à réaliser sans pour autant réduire de façon conséquente la connaissance de l'état du réseau et de son trafic. Le second aspect de la métrologie concerne l'exploitation des mesures faites sur les réseaux. De nombreuses thématiques existent dans ce domaine, et ce rapport en cite quelques unes, notamment celles qui mériteraient un effort supplémentaire de la part de la communauté française et/ou internationale.

⁴ Ces techniques traditionnelles de métrologie transposées dans l'Internet à des fins de gestion du réseau reposent aujourd'hui en général sur SNMP et ses MIB.

métrologie et de l'analyse des traces en quelques points du réseau Renater et sur quelques plaques ADSL de France Télécom.

Cet effort apparaît comme très limité, notamment par rapport aux Etats-Unis, où tous les grands opérateurs ont lancé de grands projets, incluant des partenaires académiques, autour de la thématique de la mesure depuis 5 à 6 ans. Or même si aujourd'hui la métrologie au Etats-Unis se limite souvent à lire les MIB des routeurs et pour les matrices de trafic à activer NetFlow, ce qui fait que son apport d'un point opérationnel reste faible, il est clair chez eux que la métrologie sera la clé de voûte de toute la gestion et l'administration du réseau. De fait, même si l'objectif ultime est encore loin d'être atteint, les américains possèdent plusieurs longueurs d'avance sur la connaissance du trafic Internet et en ce sens sont les leaders du domaine. Or il y a beaucoup de compétences en France et beaucoup d'équipes « isolées » qui travaillent dans le domaine de la métrologie, ou du moins qui exploitent des résultats de mesures effectuées sur le réseau Internet ou sur son trafic. A noter toutefois que grâce à l'initiative METROPOLIS, la France possède un des plus importants – si ce n'est le plus important – projet de métrologie en Europe, et les partenaires de ce projet ont ainsi pu se placer idéalement dans les propositions de projets faites dans le cadre du 6^{ème} PCRD, et ce grâce aux 2 années d'expérience acquises au sein de METROPOLIS.

Toutefois, même si METROPOLIS est apparu au cours du travail de cette AS comme un élément positif important, il est apparu aussi que les partenaires de ce projet n'apportent pas toutes les compétences qui sont requises à la métrologie. En effet, presque tous les partenaires de ce projet sont des spécialistes des réseaux informatiques, et n'ont pas des compétences en traitement du signal, en statistiques ou en théorie des graphes qui sont pourtant très importantes dans le domaine de la métrologie des réseaux de l'Internet. C'est d'ailleurs cette constatation qui a motivé le lancement de cette AS « Métrologie des réseaux de l'Internet » co-animée par un spécialiste des réseaux informatiques (membre du GDR ARP) et un spécialiste du traitement du signal (membre du GDR ISIS). Traitement du signal et réseaux informatiques présentent une complémentarité évidente vis à vis de la métrologie.

C'est un des signaux forts qui ressort du projet METROPOLIS de souligner le caractère fortement pluridisciplinaire de la métrologie qui nécessite des compétences dans de nombreux domaines : réseaux informatiques, traitement du signal, statistiques, théorie des graphes et évaluation de performances. L'effort réalisé dans le cadre de METROPOLIS doit donc être continué et étendu à d'autres communautés que celle des réseaux informatiques.

Face à cette constatation, les membres de cette AS ont donc œuvré pour lister et classer les différents domaines de la métrologie des réseaux pour lesquels un effort de recherche doit être consenti. Les études qui doivent être lancées ou renforcées ont donc trait aux thèmes suivants :

1) Le transfert des données (plan de transfert du réseau)

A noter que du point de vue des mesures, les résultats sont bons sur un lien, mais qu'ils sont certainement beaucoup plus biaisés dans un élément du réseau comme un routeur par exemple. Les Thèmes d'étude liés au transfert de données concernent donc :

- a. La *granularité*, et ce à différents niveaux :
 - i. Au niveau des différentes granularités des différents objets traités par le réseau, à savoir aux niveaux octets/paquets/flots/sessions

- ii. Au niveau des applications, et notamment des grandes familles que sont le P2P / le Streaming / le web
- b. La **classification des flux** de l'Internet, et notamment en utilisant le « bestiaire » proposé dans [SOU03] : souris/éléphants, tortues/dragons, P2P/streaming, ...
- c. La **caractérisation** du trafic
 - i. Globale
 - ii. Par classe
 - iii. Selon des lois d'échelles (fractales, Auto-Similaires, LRD, ...)
- d. La **modélisation**
 - i. Globale
 - ii. Par classe
- e. La **simulation / émulation** (reproduction de trafic) qui a toute son importance dans le cadre de l'émulation de réseaux, afin de rendre les scénarios d'évaluation très réalistes. Egalement, émulation de mécanismes clés du fonctionnement des réseaux et des protocoles pour reproduire certaines propriétés statistiques du trafic, et permettre des analyses en profondeur des causes des propriétés du trafic.
- f. L'**analyse**
 - i. Causes des lois d'échelle ;
 - ii. Mécanismes des attaques, ...
 - iii. Observation sur un lien vs. Observation de composants réseaux (par exemple à partir des observations sur un lien, dimensionner les tampons)

2) Performance de réseaux

- a. Mesure des taux de perte
 - i. avec par exemple une estimation des taux de perte sur les liens plus ou moins voisins
- b. Mesures de délais / gigue / RTT / ...
- c. Débits disponibles
- d. Analyse
 - i. QoS, ...

3) Gestion / planification de réseaux

- a. **Matrices de trafic**
- b. **Prédictions de trafic**
 - i. A différentes échelles courtes : 1 seconde, 10 minutes, ...
 - ii. A long terme : prévoir 1 mois à l'avance les augmentations de capacité et les modifications topologiques pour prendre en compte le trafic du futur
- c. **Routage** (tables de routage)
- d. **Inférer les matrices de routage**

4) Topologie

Ce thème se compose de tous les sous-thèmes relatifs au placement des composants du réseau, et ce en fonction des propriétés du graphe représentant la topologie de l'Internet, et en fonction des modèles qui peuvent être utilisés pour l'Internet. Les sous-thèmes concernent :

- a. Le positionnement des **cache**s / la définition de méthodes de **prefetching**

- b. Evaluation de la *complexité entropique* du graphe de l'Internet / modélisation par le modèle *petit mondes* (small worlds) qui peut donner de nombreuses informations, notamment pour la mise en place d'un service DNS
- c. *Localisation des outils de mesure* (échantillonnage spatial)
- d. *Mobilité*, notamment par rapport au déplacement des utilisateurs

5) Sécurité / fiabilité du réseau

- a. *Disponibilité* du réseau
 - i. Pannes des liens / équipements
- b. *Détection de ruptures*
 - i. Exemple : les attaques

6) Méthodes et outils de mesure

Ce thème concerne la définition et la conception de nouvelles techniques et de nouvelles sondes pour la mesure. Pour atteindre ce but, les sous-thèmes suivants sont d'importance :

- a. Définition de techniques et méthodes d'*échantillonnage* (spatial / temporel)
- b. Conception de nouvelles techniques de *mesures actives / passives*
- c. Conception et développement de *sondes*

3. Actions menées dans le cadre de l'AS

Comme cela a déjà été évoqué plus haut, l'AS « métrologie des réseaux de l'Internet » a permis (1) de lister les thèmes d'études relatifs à la métrologie et (2) de cartographier les différentes équipes travaillant dans le domaine de la métrologie et de l'analyse du trafic Internet. En particulier, il est apparu que ce sujet est étudié par d'autres communautés que celles du « réseau » et notamment par les communautés « traitement du signal », « graphes », « statistiques » ou « performances ».

Une des tâches de cette AS, dans ces conditions, a été de mettre en synergie les savoirs de ces différentes communautés, et a initié la définition d'un vocabulaire commun, travail qui est encore loin d'être achevé. Toutefois les contacts sont établis entre des membres de ces différentes communautés, et quelques propositions de projets ont déjà été proposées lors de différents appels à projets. Cette AS a ainsi été pendant une année un élément fédérateur pour les chercheurs et ingénieurs qui travaillent dans le domaine de la métrologie et des mesures dans les réseaux informatiques.

D'autre part, cette AS a aussi permis d'initier des collaborations entre des équipes de communautés différentes, notamment entre les « réseaux informatiques », la « théorie des graphes » et « le traitement du signal ». A côté de ça, des projets contenant des activités de mesure ont été proposés dans le cadre d'appels d'offre nationaux (dans le cadre de l'ACI « Masses des données » et du projet « Grid Explorer » où des techniques de re-simulations seront utilisées pour permettre à cet émulateur de permettre la mise en place de scénarios de tests réalistes) et européens, notamment au sein du réseau d'excellence E-NEXT (sur des études pour la prochaine génération de l'Internet), ou du projet intégré – toujours en phase d'évaluation – EuQoS (dont l'objectif est de proposer des architectures et mécanismes de gestions de la QoS basés sur des mesures).

En termes concrets, l'action de l'AS a consisté en la participation et l'organisation de plusieurs événements. Plus précisément, les membres de l'AS ont au cours de l'année passée :

- assisté à toutes les conférences en rapport avec la métrologie des réseaux de l'Internet ;
- organisé des réunions pluridisciplinaires, notamment au travers de réunions inter-GDR ;
- invité des spécialistes de la métrologie à exposer leurs derniers travaux et réflexions ;
- organisé des journées de travail publiques et privées autour d'une problématique méconnue de la métrologie ;
- organisé des réunions plénières ainsi que des réunions simples de réflexions entre les 7 experts composant cette AS.

Le calendrier des différents événements marquants pour cette AS est le suivant :

- 17 octobre 2002 : Journée inter-GDR ARP / ISIS, Paris
- 6-9 novembre 2002 : Participation à « International Measurement Workshop » (IMW'2002), Marseille
- 15 Novembre 2002 : tutoriel pour le groupe français des opérateurs réseaux (FRnOG), Paris
- 26-29 novembre 2003 : tutoriel lors de la conférence « Interactive Distributed Multimedia Systems – Protocols for Multimedia Systems » (IDMS-PROMS'2002), Coimbra
- 2-6 décembre 2002 : tutoriel lors de l'école d'été ECOTEL, Juan-les-Pins
- Exposé de Nick Duffield à Paris
- 15 janvier 2003 : réunion de réflexions entre les 7 experts membres de l'AS, Toulouse
- 5-7 janvier 2003 : présentation intermédiaire des résultats de l'AS au RTP « réseaux » (Saint-Jean-de-Luz)
- 26-30 avril : retraite du groupe IP (en charge de la métrologie) de Sprint ATL, Miami
- 5 mai 2003 : Réunion plénière (Paris)
- 12-14 mai 2003 : Participation et interventions lors du colloque sur les « mesures Internet », Nice
- 25-30 mai 2003 : Participation et interventions lors de l'école d'été « Internet Nouvelle Génération », Porquerolles
- 16-17 juin 2003 : organisation et participation au colloque sur l'inférence des matrices de trafic « Intimate », Paris
- 9-12 septembre : exposé lors de l'école d'été Temps-réel (ETR'2003), Toulouse
- 30septembre - 3 octobre 2003 : Participation et intervention lors de la conférence « Quality of Future Internet Services » (QoFIS), Stockholm
- 13-15 Octobre 2003 : Samsi Workshop : Internet Tomography & Sensor Networks Workshop. Exposé invité
- 24 octobre 2003 : exposé de Mark Crovella, Paris
- 27-29 octobre 2003 : Participation à « International Measurement Conference » (IMC'2003), Miami

A noter que l'interface entre les communautés de chercheurs intéressés par la métrologie et l'AS prenait la forme d'une page web :

<http://perso.ens-lyon.fr/patrice.abry/asmetro.html>

An final, les retours que nous avons eues de la perception de l'AS « Métrologie des réseaux de l'Internet » sont excellents. Cette AS avait une bonne visibilité et une bonne image. Le niveau de participation aux réunions et présentations organisées par l'AS était bon.

Les actions de l'AS étaient perçues comme étant de bon niveau et étaient appréciées chez les chercheurs et industriels. A noter que nous avons également été sollicités par des administrateurs réseaux français que les solutions Netflow, NetMet ou Netramet ne satisfaisaient plus et qui nous ont demandé conseil quant à de nouveaux outils plus performants par rapports à leurs besoins.

4. Recommandations

Plusieurs verrous sont apparus lors du travail de cette AS. Aussi, pour les lever, nous dressons la liste de recommandations suivantes pour développer la métrologie en France, et ce dans l'intérêt de tous et de façon cohérente par rapport à la stratégie du département STIC.

- 1) La première recommandation concerne la nécessité de renforcer les interactions et travaux conjoints et coordonnés entre les différentes communautés intéressées par l'analyse du trafic, à savoir « réseaux informatiques », « traitement du signal », « théorie des graphes », « statistiques » et « performances ». Les relations entre la métrologie des réseaux et le traitement du signal s'articulent autour de l'analyse de données et signaux significativement caractérisés par leurs non-propriétés. Ils sont, en effet, le plus souvent non stationnaires, non gaussiens, à mémoire longue (donc non markoviens) et produits par des mécanismes ou des systèmes non linéaires. Le traitement du signal moderne développe des outils, algorithmes et méthodes prenant explicitement en compte ces non-propriétés pour revisiter les tâches classiques (détection, estimation, classification,...). Les signaux de télétrafic, qui présentent souvent une ou plusieurs de ces non-propriétés, semblent constituer un domaine de choix pour l'utilisation, l'application, la mise en œuvre et l'enrichissement de ces nouveaux développements. Plus précisément, parmi les points convergents – problèmes posés par la métrologie des réseaux – solution en développement en traitement du signal, on peut citer :
 - a. Extrême diversité des individus (en taille, distribution,...) et distributions sous exponentielles (ou à queues lourdes),
 - b. Phénomènes d'invariance d'échelle, mémoire longue et description multiéchelle et analyses multirésolution,
 - c. Connectivité des réseaux et théorie des graphes et mesures (entropiques) de complexité de réseaux,
 - d. Détection d'attaques, détection de changements de régimes et détection de transitoires et détection d'attaques,
 - e. Inférence des matrices de trafic pour le routage et problèmes inverses et problèmes mal posés,
 - f. Prévisions de la charge ou pour une gestion optimale des ressources des réseaux et outils de prédiction : la difficulté ici réside spécifiquement dans les multiples échelles de temps et horizons de prévisions pour les réseaux, la différence de nature entre les données à partir desquelles effectuées les prévisions et les quantités à prédire, par l'imbrication entre nature des quantités à prédire et nature des moyens dont on dispose pour réagir sur le réseau et/ou le trafic.
- 2) Un second verrou vient aussi du manque traces de trafic disponibles pour les équipes qui n'ont pas les équipements pour en capturer, et en particulier sur les liens du coeur du réseau (à très haut débit donc). En effet, le trafic contient des informations

stratégiques pour les opérateurs privés et publics, et ils refusent généralement de rendre public leurs traces. Il faudrait donc permettre ce rapprochement entre la communauté des « métrologues » français et les opérateurs réseaux, pour le bénéfice des 2 parties. Ceci passe inévitablement soit par des accords de confidentialités entre les diverses parties (à des stades restant à définir, mais qui ne doivent pas porter préjudice à l'opérateur, tout en permettant aux chercheurs académiques de publier et d'exploiter leurs résultats), soit par les procédés d'anonymisation des traces (lorsque cela n'entraîne pas de pertes d'informations sur l'écoulement du trafic), et sans doute une position claire de la CNIL sur les questions d'enregistrements de traces de trafic. Le rapprochement entre opérateurs et chercheurs académiques est encore bien trop limité en France. Pourtant, ce rapprochement entre « métrologues » académiques et opérateurs doit être encouragé. En effet, la domination des travaux de métrologie menés aux Etats-Unis par rapport à ceux réalisés en Europe et en France vient essentiellement du fait que les grands opérateurs américains capturent du trafic réel (c'est-à-dire capturé sur ces réseaux commerciaux, et pas sur des réseaux académiques à l'intérêt économique moindre) qu'ils mettent à disposition des équipes de recherches universitaires, moyennant des procédures d'anonymisation des adresses et des clauses de non divulgation acceptables par les deux parties.

- 3) Il apparaît également aujourd'hui un besoin fort de métrologie des réseaux sans fil. Or les composants matériels pour ce faire ne sont pas encore disponibles. Des efforts pour produire de tels outils sont à encourager.
- 4) Enfin, jusqu'à présent, la recherche française et fédérée en métrologie a eu lieu principalement dans le cadre du projet METROPOLIS. Même si le travail d'initiation mené dans ce projet est remarquable, il reste embryonnaire par rapport à toutes les thématiques qui ont pu être mises en évidence dans le cadre de l'AS. Le support pour de nouveaux projets de métrologie, notamment pluridisciplinaires, doit ainsi être renforcé.

5. Références

- [OWE03] P. Owezarski, "Métrologie des réseaux de l'Internet : principales actions et impact sur les évolution technologiques", Colloque International "Mesures de l'Internet", Nice, France, 12-14 mai 2003
- [SOU03] A. Soule, R. Souidi, K. Salamatian, R. Emilion, N. Taft, "Classification des flots par histogrammes. Ou le petit guide zoologique de l'Internet", Colloque Francophone d'Ingénierie des Protocoles (CIP'2003), Paris, France, 7 - 10 Octobre 2003

Annexe Technique de l'Action Spécifique 88 « Métrologie des réseaux de l'Internet »

Cette annexe technique est disponible en ligne à partir de l'adresse :

<http://perso.ens-lyon.fr/patrice.abry/asmetro.html>

Exposés et tutoriaux

Philippe Owezarski, « IP network monitoring and measurements: Techniques and experiences », Tutoriel pour le groupe français des opérateurs réseaux (FRnOG), Paris, 15 Novembre 2002

http://www.laas.fr/~owe/PUBLIS/FRnOG_15.11.2002.pdf

Philippe Owezarski, « IP network monitoring and measurements: Techniques and experiences » (version longue)

□ Tutoriel lors de la conférence « Interactive Distributed Multimedia Systems – Protocols for Multimedia Systems » (IDMS-PROMS'2002), Coimbra, 26-29 novembre 2003

□ Tutoriel lors de l'école d'été ECOTEL, Juan-les-Pins, 2-6 décembre 2002

http://www.laas.fr/~owe/PUBLIS/owe_tutorial_IDMS-PROMS_2002.pdf

Philippe Owezarski, L'Action Spécifique « Métrologie des réseaux de l'Internet » Présentation intermédiaire des résultats de l'AS au RTP « réseaux » (Saint-Jean-de-Luz), 5-7 janvier 2003

http://perso.ens-lyon.fr/patrice.abry/MYWEB/AS-metro_St-Jean-de-Luz.ppt

Philippe Owezarski, Nicolas Larrieu, « De l'utilisation de traces de métrologie pour des simulations réalistes », Ecole d'été « Internet Nouvelle Génération », Porquerolles, 25-30 mai 2003

http://www.laas.fr/~owe/PUBLIS/owe_ING'2003.pdf

Philippe Owezarski, « Métrologie de la qualité de service », Ecole d'été Temps-réel (ETR'2003), Toulouse, 9-12 septembre 2003

http://www.laas.fr/~owe/PUBLIS/owe_ETR'2003.pdf

http://www.laas.fr/~owe/PUBLIS/owe_ETR'2003_papier.pdf

Patrice Abry, B. Lahermes, Nicolas Hohn, Darryl Veitch, « Multifractal in Internet Traffic ? », Samsi Workshop: Internet Tomography & Sensor Networks Workshop. 13-15 Octobre 2003.

Conférences et colloques

Patrice Abry, Patrick Flandrin, Nicolas Hohn, Darryl Veitch, 2003, « Invariance d'échelle dans l'Internet, » Colloque sur les « mesures Internet », Nice, 12-14 mai 2003

Philippe Owezarski, « Métrologie des réseaux de l'Internet : Principales actions et impacts sur les évolutions technologiques », Colloque sur les « mesures Internet », Nice, 12-14 mai 2003
http://www.laas.fr/~owe/PUBLIS/owe_intro_metro_et_AS.pdf

Nicolas Hohn, Darryl Veitch, Patrice Abry, « The Impact of the Flow Arrival process in Internet Traffic, », IEEE Int. Conf. on Acoust. Speech and Sig. Proc., 2003.

A. Mahul and A. Aussem, “Neural-based quality of service estimation in MPLS routers”, International Conference on Artificial Neural Networks (ICANN'03), June 2003, Istanbul, Turkey, Supplementary Proceedings, 2003

Nicolas Larrieu, Philippe Owezarski, « TFRC contribution to Internet QoS improvement », Quality of Future Internet Services (QoFIS), Stockholm, 30septembre - 3 octobre 2003
http://www.laas.fr/~owe/PUBLIS/qofis_version_revisee.pdf

Articles de Revues internationales

Nicolas Hohn, Darryl Veitch, Patrice Abry, « Cluster Processes, a Natural Language for Network Traffic, » *IEEE Trans. on Sig. Proc.*, Special Issue on Signal Processing in Networking, Vol. 51, No 6, pp. 2229-2244, 2003