



**HAL**  
open science

## Vers plus d'hétérogénéité et d'interopérabilité dans Internet

Mohamed Diallo, Prométhée Spathis

► **To cite this version:**

Mohamed Diallo, Prométhée Spathis. Vers plus d'hétérogénéité et d'interopérabilité dans Internet. ALGOTEL 2017 - 19èmes Rencontres Francophones sur les Aspects Algorithmiques des Télécommunications, May 2017, Quiberon, France. hal-01517942

**HAL Id: hal-01517942**

**<https://hal.science/hal-01517942>**

Submitted on 3 May 2017

**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.

# Vers plus d'hétérogénéité et d'interopérabilité dans Internet

Mohamed DIALLO <sup>1</sup> et Prométhée SPATHIS <sup>2</sup>

<sup>1</sup> UFHB, Cocody, Cote d'Ivoire

<sup>2</sup> UPMC Sorbonne Universites, Paris, France

---

Ce papier explore la question de l'interopérabilité de réseaux hétérogènes, en vue d'un Internet plus diversifié du point de vue des fonctions d'identification et de routage. En effet, les paradigmes de routage sont multiples et aucun d'eux ne peut se prévaloir d'être adapté à l'ensemble des scénarios de communication. Aussi, Internet doit permettre des scénarios de communication globale résultant de la composition de différents paradigmes d'identification et de routage à travers plusieurs îlots de connectivité. Nous proposons une abstraction permettant de modéliser une variété de réseaux et ensuite discutons les différentes dimensions de la question de l'interopérabilité. Ce travail pourra servir de base à la définition de protocoles de composition pour des réseaux hétérogènes dans un contexte ambiant et autonome.

**Mots-clefs :** Hétérogénéité, Interopérabilité

---

## 1 Introduction

Depuis l'annonce de l'effondrement d'Internet dans les années 80, des efforts de recherche considérables ont été consacrés à l'évolution de l'architecture de l'Internet. De ces efforts ont résulté plusieurs approches pour certaines incrémentales (*patch*), pour d'autres radicales (*clean slate*).

Parallèlement, plusieurs paradigmes et approches innovants sont apparues dans des environnements de communication plus spécifiques tels que les réseaux mobiles adhoc, ou les réseaux de capteurs.

En dépit de ces contributions importantes, les communications globales à l'échelle de l'Internet reposent sur une couche de fonctions uniformes souvent qualifiée de *waist of the hourglass*. Cette couche uniforme de communication n'étant pas assez expressive pour couvrir tous les besoins de communication, une réflexion s'impose pour plus d'expressivité dans Internet notamment en matière d'adressage, de nommage et de routage. Certaines initiatives comme GENI ([BCL<sup>+</sup>14]) ont essayé de répondre à ce besoin, en fournissant un substrat permettant le déploiement simultané d'architectures concurrentes de routage à travers la virtualisation des réseaux.

De plus, la gestion d'un espace d'adressage et de nommage global représente un coût important pour l'infrastructure de l'Internet actuel. Il faudra vraisemblablement dépasser cet état des choses, en accordant plus d'autonomie aux réseaux individuels. C'est la vision des réseaux ambiants et autonomes.

Plusieurs frameworks ont été conçues en vue de satisfaire ces exigences, notamment FARA [CBFP03], Turfnet [SEBQ04], ou Plutarch [CHM<sup>+</sup>03]. FARA et Plutarch par exemple, autorisent des communications de bout-en-bout sans recourir à un adressage ou nommage global. Cependant, il est difficile de trouver une base objective de comparaison pour ces frameworks. En effet, chaque approche est motivée par un ensemble particulier d'hypothèses et d'objectifs conceptuels.

Dans ce papier, nous explorons le degré de flexibilité à intégrer dans Internet de façon à ce que ce dernier puisse continuer à être global tout en englobant les principaux paradigmes de communication (NDN [JST<sup>+</sup>09], IP, Directed diffusion [IGE00])

Pour ce faire, il est nécessaire dans un premier temps d'établir des abstractions (Section 2) permettant d'établir un langage commun pour raisonner sur ces différents paradigmes. Ensuite, nous discutons les différentes dimensions du problème d'interopérabilité (Section 3) à l'échelle globale. Ce qui ouvre la voie à la définition d'un substrat pour l'interopérabilité des fonctions de nommage et de routage à l'échelle globale.

## 2 Un ensemble d'abstractions pour caractériser les systèmes de communication

Une *architecture de communication* définit une collection d'entités, la façon d'identifier ces entités et les relations qui existent entre elles. Elle traite également de la question de la gestion de trafic.

Nous définissons pour la suite les abstractions suivantes :

- Une *entité* fait référence à des utilisateurs, des services, des contenus, des hôtes, ou des interfaces.
- Les *entités* constituant une architecture de routage sont reliées par des relations de *liaisons (binding)*. L'ensemble des relations qui existent entre des types d'entité, peut être représenté par une hiérarchie. Chaque entité correspond à un niveau de la hiérarchie. La hiérarchie inclut des fonctions d'*identification*, et d'*acheminement*. Une *entité* peut avoir un *identifiant* ou être *anonyme*. L'identifiant peut être un *nom* ou une *adresse*.
- Une *route* correspond à une séquence d'entités actives adjacentes dans une couche. Une route est généralement identifiée par la séquence stricte ou lâche des entités qui la constituent.
- Un *canal de communication* représente l'ensemble des entités et des liens au niveau d'une couche d'acheminement, traversés par le trafic issu d'une entité donnée et à destination d'un ensemble d'entités de cette couche. Les canaux de communication sont unidirectionnels et identifiés dans les en-têtes et tables de routage par des *directives d'acheminement* (forwarding directives ou FD). Par conséquent, une route peut servir à identifier un canal de communication et peut être vue dans certains cas comme une FD (*routage à la source*). Une directive d'acheminement peut avoir une portée locale (par exemple, la commutation de labels) ou globale.
- Le résultat d'une liaison, entre entités de couches adjacentes dans la hiérarchie, est la création des états nécessaires pour la correspondance entre identifiants. On parle alors de *liaison verticale*. La liaison s'applique également aux canaux de communication : il s'agit d'un exemple de *liaison horizontale*. En effet, l'établissement d'un canal de communication de bout en bout est le résultat d'opérations de liaisons horizontales élémentaires. Cette opération crée les états nécessaires pour déterminer la portion située en aval d'un canal de communication lors de la réception d'une directive d'acheminement. C'est ce qui correspond usuellement au routage. Il est à noter qu'implicitement, un canal de communication est lié par défaut (*horizontalement*) aux extrémités qui la constituent.

Notre abstraction est suffisamment expressive pour capturer les propriétés de la plupart des architectures de réseau récemment proposées. Elle est conçue pour mettre en relief les concepts fondamentaux des architectures de routage, plus particulièrement dans le contexte de l'interconnexion de réseaux hétérogènes.

Cet ensemble d'abstractions s'applique à différents paradigmes : communications basées sur les adresses (IP), communications basées sur le contenu [JST<sup>+</sup>09] et communications basées sur la spécification explicite des entités intermédiaires.

D'autres modèles ont été précédemment proposés [Hau86] [Sal93] [Sho78] mais ont l'inconvénient d'être pertinents principalement pour l'architecture Internet classique basé sur le modèle TCP/IP.

## 3 De l'intégration de réseaux hétérogènes

La question fondamentale que les mécanismes d'interopérabilité essaient de résoudre est comment *lier* des entités de domaines hétérogènes à partir de liaisons hétérogènes et locales.

Ce problème a été abondamment abordé par de nombreux travaux, notamment dans le cadre de réseaux opérationnels : Internet avec ses sphères d'adressage privées et sa sphère d'adressage public, l'interopérabilité entre univers IPv4 et IPv6, l'intégration IP et ATM, etc.

L'analyse d'architectures opérationnelles et conceptuelles nous révèle que les mécanismes d'interconnexion peuvent être classés en deux catégories : mécanismes basés sur la traduction (*translation*) et mécanismes en surcouche (*overlay*).

**Mécanismes basés sur la traduction** La traduction est un mécanisme intéressant lorsque les identifiants ou les directives d'acheminement ne disposent pas d'une portée globale. Cette portée peut être restreinte à un domaine particulier, et la liaison de canaux de communication réalisé au niveau des éléments réseaux de bordure.

**Mécanismes en surcouche** Dans le cas des mécanismes en surcouche, l'association des entités de domaine hétérogènes est réalisée dans les couches supérieures de la hiérarchie de liaison ; et non au niveau de la couche physique, comme c'est le cas dans l'Internet par exemple.

Les autres paramètres clés pour deux réseaux hétérogènes souhaitant interopérer sont :

- Le **degré de coopération (ou d'intégration)** entre ces réseaux.
- Le **pattern ou type d'interaction** entre ces réseaux.
- L'**architecture d'identification**

### 3.1 Le degré de coopération

Nous distinguons les scénarios d'interaction suivants :

**Quasi-inexistante** Pas de coopération entre réseaux hétérogènes.

**Partielle** De l'information de signalisation est échangée entre domaines hétérogènes.

**Totale** Les réseaux hétérogènes ont le même plan de contrôle.

### 3.2 Patterns d'interaction

Nous identifions les patterns d'interaction suivants :

**Transit à travers une aire de backbone** : Ce genre d'interaction requiert la construction d'un overlay entre noeuds de périphérie et utilisant des techniques de tunneling et d'encapsulation. Les architectures diffèrent principalement de la façon dont elles initient et maintiennent l'overlay.

**Interconnexion d'aires adjacentes (configurations non virtuelles)** : Dans ce cas aussi les techniques de traduction et d'overlay sont applicables. L'approche la plus appropriée dépend généralement du degré de coopération entre réseaux hétérogènes.

### 3.3 Architecture d'identification

On définit différents patterns d'interopérabilité en fonction du type d'architecture d'identification (*nommage* et *adressage*). On propose la classification d'architecture d'identification suivante :

**Pas d'infrastructure sous-jacente (*underlay*)**. Ce genre de configuration est illustrée par des efforts comme ROFL [CCK<sup>+</sup>06].

**Existence d'une infrastructure sous-jacente avec des références globales dans l'*underlay***, à l'instar de l'Internet publique où l'on dispose de noms de ressources globaux et d'adresse globale.

**Existence d'une infrastructure sous-jacente avec des références locales dans l'*underlay***, c'est le cas des communications par translation d'adresse par exemple.

## 4 Patterns d'interopérabilité

Sur la base des éléments introduits précédemment dans la section 3, il est possible de définir plusieurs patterns d'interopérabilité. Nous faisons une présentation plus détaillée dans [Moh07].

Par exemple, si deux réseaux adjacents souhaitent interopérer et que l'identification ne repose pas sur une infrastructure sous-jacente. On pourra définir un mécanisme d'interopérabilité suivant le degré de coopération envisagé. Dans le cas d'une coopération quasi-inexistante, seule une translation à la frontière pourra être envisagée.

## 5 Conclusion

Dans ce papier, nous nous sommes intéressés à la problématique de l'interopérabilité dans un réseau global interconnectant des réseaux hétérogènes du point de vue de l'architecture de nommage et de routage. Cette problématique est fondamentale tant il est important, vu les enjeux sécuritaires et les velléités suprémacistes de certains *stakeholders*, de permettre aux entités de déployer des technologies souveraines au niveau local.

Pour y parvenir, il faudra faire évoluer l'Internet vers un certain nombre de fonctions minimales qui permettront à différents réseaux de coopérer dynamiquement en un réseau global.

Cette problématique a été partiellement abordée par plusieurs projets tels que ANA [BJT<sup>+</sup>10] et Ambient Networks [AEOS05]. Cependant, il semblerait que l'Internet soit une infrastructure trop complexe, pour que le changement soit pour demain. D'ailleurs à quand la transition vers IPv6 ?

## Références

- [AEOS05] Bengt Ahlgren, Lars Eggert, Börje Ohlman, and Andreas Schieder. Ambient networks : bridging heterogeneous network domains. In *Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2005. PIMRC 2005. IEEE 16th International Symposium on*, volume 2, pages 937–941. IEEE, 2005.
- [ASSC02] Ian F Akyildiz, Weilian Su, Yogesh Sankarasubramaniam, and Erdal Cayirci. A survey on sensor networks. *IEEE Communications magazine*, 40(8) :102–114, 2002.
- [BCL<sup>+</sup>14] Mark Berman, Jeffrey S Chase, Lawrence Landweber, Akihiro Nakao, Max Ott, Dipankar Raychaudhuri, Robert Ricci, and Ivan Seskar. Geni : A federated testbed for innovative network experiments. *Computer Networks*, 61 :5–23, 2014.
- [BJT<sup>+</sup>10] Ghazi Bouabene, Christophe Jelger, Christian Tschudin, Stefan Schmid, Ariane Keller, and Martin May. The autonomic network architecture (ana). *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 28(1), 2010.
- [CBFP03] David Clark, Robert Braden, Aaron Falk, and Venkata Pingali. Fara : Reorganizing the addressing architecture. In *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, volume 33, pages 313–321. ACM, 2003.
- [CCK<sup>+</sup>06] Matthew Caesar, Tyson Condie, Jayanthkumar Kannan, Karthik Lakshminarayanan, Ion Stoica, and Scott Shenker. Rofl : routing on flat labels. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 36(4) :363–374, 2006.
- [CHM<sup>+</sup>03] Jon Crowcroft, Steven Hand, Richard Mortier, Timothy Roscoe, and Andrew Warfield. Plutarch : an argument for network pluralism. In *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, volume 33, pages 258–266. ACM, 2003.
- [Hau86] Bernard M Hauzeur. A model for naming, addressing and routing. *ACM Transactions on Information Systems (TOIS)*, 4(4) :293–311, 1986.
- [IGE00] Chalermek Intanagonwiwat, Ramesh Govindan, and Deborah Estrin. Directed diffusion : A scalable and robust communication paradigm for sensor networks. In *Proceedings of the 6th annual international conference on Mobile computing and networking*, pages 56–67, 2000.
- [JST<sup>+</sup>09] Van Jacobson, Diana K Smetters, James D Thornton, Michael F Plass, Nicholas H Briggs, and Rebecca L Braynard. Networking named content. In *Proceedings of the 5th international conference on Emerging networking experiments and technologies*, pages 1–12. ACM, 2009.
- [KRN10] G Vijaya Kumar, Y Vasudeva Reddy, and Dr M Nagendra. Current research work on routing protocols for manet : a literature survey. *international Journal on computer Science and Engineering*, 2(03) :706–713, 2010.
- [Moh07] Mohamed DIALLO. Interopérabilité des fonctions de routage dans les réseaux autonomes. Master's thesis, 2007.
- [Sal93] Jerome Saltzer. On the naming and binding of network destinations. 1993.
- [SEBQ04] Stefan Schmid, Lars Eggert, Marcus Brunner, and Jürgen Quittek. Turfnet : An architecture for dynamically composable networks. In *Workshop on Autonomic Communication*, pages 94–114. Springer, 2004.
- [Sho78] John Shoch. Inter-network naming, addressing, and routing. In *COMPCON, IEEE Computer Society, Fall*, volume 5, page 128, 1978.