

Haut Conseil de l'Évaluation de la Recherche et  
de l'Enseignement Supérieur



**DOCUMENT D'AUTOÉVALUATION**  
**Équipe NPA**



Campagne d'évaluation 2023-2024 — Vague D

## Table des matières

<b>1</b>	<b>INFORMATIONS GÉNÉRALES SUR L'ÉQUIPE NPA</b>	<b>3</b>
1.1	Les thématiques scientifiques et leurs enjeux . . . . .	3
	Modélisation des réseaux . . . . .	4
	Algorithmes distribués et tolérance aux fautes et aux attaques . . . . .	5
	Mobilité et communications sans-fil . . . . .	7
	Cartographie de l'Internet . . . . .	9
	SLICES : un grand instrument scientifique européen . . . . .	10
	Gouvernance de l'internet . . . . .	10
	Aspects pluridisciplinaires . . . . .	11
	Animation scientifique . . . . .	11
<b>2</b>	<b>INTRODUCTION DU PORTFOLIO</b>	<b>12</b>
<b>3</b>	<b>AUTOÉVALUATION DU BILAN</b>	<b>13</b>
3.1	Autoévaluation de l'équipe . . . . .	13
	Domaine 2. Attractivité . . . . .	13
	Domaine 3. Production scientifique . . . . .	16
	Domaine 4. Inscription des activités de recherche dans la société . . . . .	17
<b>4</b>	<b>RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES SIGNIFICATIVES DE NPA</b>	<b>20</b>
<b>A</b>	<b>ANNEXE — MEMBRES PERMANENTS AU 31/12/2022</b>	<b>25</b>

# 1 INFORMATIONS GÉNÉRALES SUR L'ÉQUIPE NPA

**Nom de l'équipe :** Networks and Performance Analysis (NPA)

**Responsable de l'équipe :** Maria Potop-Butucaru

	2017	2018	2019	2020	2021	2022
PR	4	4	4	3	3	4
MCF HDR	4	4	4	4	4	4
MCF	5	5	5	5	5	4
DR	1	1	1	1	1	0
CR HDR	1	1	1	1	2	2
CR	1	1	1	1	0	0
<b>Total permanents</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>15</b>	<b>15</b>	<b>14</b>
Émérites	0	0	0	0	0	0
Doctorants	17	12	14	13	15	14
Ingénieurs CDD ou hors tutelles	5	8	8	4	6	4
Post-doc, ATER, etc.	2	2	2	1	0	1
Stagiaires	4	5	8	3	10	6
<b>Total non permanents</b>	<b>28</b>	<b>27</b>	<b>32</b>	<b>21</b>	<b>31</b>	<b>25</b>
<b>Total avec émérites</b>	<b>44</b>	<b>43</b>	<b>48</b>	<b>36</b>	<b>46</b>	<b>39</b>
<b>Equivalent temps plein recherche</b>	<b>9.5</b>	<b>9.5</b>	<b>9.5</b>	<b>9.0</b>	<b>9.0</b>	<b>8.0</b>

TABLE 1 – Personnels NPA sur la période 2017-2022 (au 1er juillet de chaque année)

## 1.1 Les thématiques scientifiques et leurs enjeux

L'équipe Réseaux et Analyse de Performance (NPA) du LIP6 perpétue une tradition de recherche de pointe en réseau depuis la création du laboratoire en janvier 1997. Le cœur de métier de l'équipe a fortement évolué depuis lors - incluant pas exemple des paradigmes de communication sans fils hautement novateurs, la gouvernance des réseaux, les algorithmes distribués sécurisés et les plate-formes d'expérimentation à très grande échelle pour l'internet du futur. L'équipe NPA est située sur le campus de Jussieu, allée 26-00, premier étage.

L'objectif de l'équipe NPA est de proposer des solutions disruptives et des briques de construction susceptibles de composer l'Internet de demain. Dans notre vision, les futurs systèmes de communication seront caractérisés par l'hyper-connectivité et nécessiteront des approches innovantes, hautement adaptatives et sécurisées. Nous explorons des modèles de communication alternatifs et proposons de nous appuyer sur une compréhension approfondie des modèles d'interaction hétérogènes qui sont des caractéristiques inhérentes aux futurs systèmes en réseau, par le biais d'activités de recherche fondamentale et de transfert, en étroite coopération avec des universités partenaires du monde entier et des leaders industriels.

Le cœur de notre travail aborde les problèmes liés aux systèmes mobiles en réseau, à la modélisation et à la gestion des ressources, à l'évolutivité, à l'auto-stabilisation, à la métrologie et à la mise en réseau de contenu. L'équipe développe également des recherches pluridisciplinaires dans le domaine des sciences sociales, de la gouvernance et des usages.

NPA rassemble des chercheurs aux compétences et spécificités différentes dans le but ultime de concevoir, modéliser, analyser et expérimenter les éléments constitutifs de l'internet du futur. Au cours de la période considérée, l'équipe a produit des connaissances dans plusieurs domaines des systèmes en réseau, à la fois théoriques et pratiques. Des exemples illustratifs de réalisations en recherche sont :

- ▶ **Modélisation des réseaux.** L'équipe NPA a une longue tradition dans la modélisation des réseaux. Cette thématique a été renforcée suite au recrutement d'un CR qui a rejoint l'équipe début 2017 en tant que chercheur CNRS, après un transfert de Télécom ParisTech - LTCI.
- ▶ **Algorithmes distribués tolérants aux fautes et aux attaques.** NPA est très actif dans la conception d'algorithmes distribués pour les réseaux adverses, où des changements de topologie inattendus, des pannes et des attaques de nature arbitraire frappent le réseau. Pour gérer cela, nous avons proposé des algorithmes auto-stabilisants et/ou tolérants aux fautes, parfois malveillantes. L'auto-stabilisation concerne la conception et l'analyse d'algorithmes distribués dans lesquels les processus sont soumis à des défaillances transitoires modifiant le contenu de leurs variables. La tolérance aux fautes malveillantes (ou Byzantines) consiste à considérer des attaques portées par les participants à l'algorithme distribué. Nous avons considéré les métriques classiques de consommation de ressources (mémoire, messages, calculs), mais aussi des métriques qualitatives (quelles propriétés sont préservées lors des attaques, cas des attaquants rationnels, etc.)

- ▶ **Fondement algorithmiques des essaims de robots mobiles autonomes.** Nous explorons des solutions pour fournir une cartographie d'une zone endommagée dans une situation de sinistre avec mise en place de services de géolocalisation par crowdsourcing. Dans ce contexte, nous nous concentrons sur deux principales directions de recherche : les modèles utilisés et les problèmes proposés par les industriels et les militaires. Il existe une grande variété de robots, chaque variété implique des capacités différentes. Par capacités, nous entendons la vision, le sens de l'orientation, la capacité de mouvement et la mémoire spatiale, entre autres. Chaque capacité implique des modèles différents, nous avons étudié différents modèles, le but est de comprendre quel type de problème nous pouvons résoudre avec des modèles faibles, comme des robots oublieux, des robots sans chiralité ou avec une visibilité limitée. Nous avons proposé des solutions pour des problèmes classiques comme le rassemblement, la collecte, l'exploration, la capture d'intrus, la formation de différents types de motifs géométriques, etc.
- ▶ **Mobilité et communications sans-fil.** L'équipe NPA est investie dans la définition de solutions pour les réseaux mobiles et sans fil. L'utilisation de connexions sans fil est devenue depuis plusieurs années l'accès prédominant à Internet (90,9% en 2021 selon DataReportal). La recrudescence de connexions à l'Internet au travers de liaisons sans-fil pour des usages aussi bien grand public que spécifiques comme pour les domaines de l'industrie, de la surveillance et du contrôle à distance, repose sur une combinaison de plusieurs facteurs. Parmi ces éléments, on peut citer la possibilité de se connecter de n'importe quel endroit tout permettant aux utilisateurs d'être mobiles, ou bien les déploiements massifs d'applications gourmandes en termes de débits et de latence rendus possibles grâce aux évolutions technologiques, ou encore la facilité et l'évolubilité de mise en place des réseaux sans-fil avec des coûts d'installation réduits et une facilité de maintenance.
- ▶ **Cartographie de l'Internet.** L'activité cartographie de l'Internet est réalisée par le groupe Dioptra (<https://dioptra.io/>) de l'équipe NPA. Ce groupe a pour objectif de découvrir la cartographie la plus précise et la plus complète des routes empruntées par les paquets de données traversant l'Internet. A cette fin, nous développons et opérons des plateformes avec des points de mesure distribués à travers l'Internet, nous développons également des outils de mesure et produisons des jeux de données réguliers. Nous visons à servir les communautés scientifiques et pédagogiques à travers la mise à disposition de nos plateformes et à servir la communauté scientifique à travers la fourniture du code en open source de nos plateformes et de nos outils et la fourniture de nos données.
- ▶ **Gouvernance de l'Internet.** La thématique "Gouvernance d'internet" développée au sein de l'équipe NPA se caractérise par un fort aspect pluridisciplinaire. Ancrée dans un laboratoire d'informatique, et plus précisément une équipe consacrée à la recherche en réseaux, elle est menée suivant des approches de droit et de sciences politiques.
- ▶ **Plateformes de test.** L'équipe NPA a conçu, développé et opéré plusieurs plates-formes de test dans le domaine des réseaux et systèmes distribués : PlanetLab Europe<sup>1</sup>, OneLab<sup>2</sup>, FIT<sup>3</sup>, EdgeNet<sup>4</sup>. Nous sommes fiers d'annoncer la création de la plateforme mondiale SLICES<sup>5</sup> détaillée dans la suite.

Nous allons développer dans la suite les réalisations de l'équipe au cours de la période 2017-2022.

## Modélisation des réseaux

Un des projets phare de l'équipe, le projet ANR REFLEXION "RESilient and FLEXible Infrastructure for Open Networking" est un projet qui a été financé sur une durée de deux ans, entre 2015 et 2017. En plus de l'équipe NPA du LIP6, il a impliqué THALES, ORANGE, 6WIND, l'ENS Lyon et l'INRIA. Dans le cadre de ce projet, les membres concernés de l'équipe NPA se sont plus particulièrement intéressés à la modélisation et à l'évaluation des performances d'un switch logiciel (virtuel) dans une architecture SDN/NFV utilisant la librairie DPDK. La finalisation de ces travaux en commun avec l'ENS de Lyon a donné lieu en 2017 et en 2018 à trois publications internationales : une revue de bon niveau [Begin et al., 2018] et deux conférences [Su et al., 2017a, Su et al., 2017b]).

Les travaux de modélisation de l'équipe ont également portés sur les réseaux de contenu (Content Centric Networks), utilisant des outils de Géométrie Stochastique et d'Optimisation. Plus spécifiquement, une thèse a donné lieu à deux articles dans des conférences internationales prestigieuses [Krolikowski et al., 2017] et [Krolikowski et al., 2018b] (INFOCOM étant une conférence de rang A\*), ainsi qu'un article dans le journal JSAC [Krolikowski et al., 2018a] ayant un facteur d'impact très élevé (IF = 14,24).

---

1. <https://www.planet-lab.eu/>
2. <https://onelab.eu/>
3. <https://fit-equipex.fr/>
4. <https://www.edge-net.org/>
5. [slices-ri.eu](https://slices-ri.eu)



Depuis 2019 l'équipe s'est concentrée sur un nouveau domaine de recherche qui est lié aux réseaux sociaux et à leurs données. Plus précisément, le financement via le projet ANR Jeune Chercheur (2020-2024 "FairEngine") a permis d'étudier les modèles dynamiques des plateformes sociales, de la diffusion de l'information et de la publicité. Sur ce thème les membres des équipes NPA et ComplexNetworks ont publié un article dans une des meilleurs conférences du domaine [Giovanidis et al., 2019] (INFOCOM de rang  $A^*$ ) et dans une revue de grande qualité [Giovanidis et al., 2021] ( $IF = 4.37$ ). Sur le même financement ANR l'équipe a recruté deux doctorants dont les travaux ont été publiés dans deux conférences [López-Dawn and Giovanidis, 2021, Papanastasiou and Giovanidis, 2021] et deux revues [López-Dawn and Giovanidis, 2022] ( $IF > 3$ ). Le thème de recherche de la première thèse porte sur la sélection optimale des influenceurs dans une plateforme sociale. La seconde thèse porte sur la reconstruction de graphes d'amitié basés uniquement sur les logs de publications et de re-posts durant une certaine période. Grâce à un financement ANR, l'équipe a pu recruter un étudiant en M1 en collaboration avec le LIX à l'Ecole Polytechnique et nous avons publié sur le sujet des réseaux de neurones en structure de graphes. Nos résultats sont présentés dans un workshop de la célèbre conférence NeurIPS'22.

Entre 2020 et 2022, nous avons collaboré avec des chercheurs d'EURECOM Sophia-Antipolis, sur le sujet des recommandations pour les réseaux de contenus et nous avons publié dans la conférence INFOCOM de rang  $A^*$  [Giannakas et al., 2021a] et dans un journal ACM [Giannakas et al., 2022]. Une autre collaboration a été nouée avec des chercheurs en Chine sur le thème des décisions optimales séquentielles et nous a permis de publier à nouveau dans la conférence INFOCOM [Chen et al., 2021]. Avec l'équipe du CNAM à Paris, nous avons travaillé avec deux étudiants en Master et publié dans revue Elsevier Computer Communications sur le thème des réseaux virtuels 5G et de l'architecture O-RAN. Enfin, une collaboration s'est nouée avec l'équipe quantique (QI) de Sorbonne université sur la nouvelle thématique de l'ordonnancement et du routage pour les réseaux quantiques et nous avons publié un article de conférence [Fittipaldi et al., 2022].

L'activité de modélisation des réseaux a été également abordée dans le contexte des réseaux WBAN (Wireless Body Area Networks), correspondant à des capteurs placés sur un corps humain et permettant la collecte de données de santé utilisées par des applications médicales. L'objectif de la thèse de Gewu BU (soutenue le 11 décembre 2019) étaient de développer des mécanismes efficaces permettant une communication fiable entre les capteurs, tout en prenant en compte la mobilité du corps humain. Afin de valider cette thèse, et en complément des nombreuses simulations qui ont été préalablement réalisées, plusieurs modèles analytiques markoviens ont été construits. C'était, à notre connaissance, la première fois que de tels modèles étaient développés dans le contexte des réseaux WBANs. Ces modèles permettent d'estimer les paramètres de performances tels que la probabilité de couverture complète du réseau et le temps moyen de couverture [Baynat et al., 2019].

2017 a finalement été l'année où plusieurs collaborations entre les membres de l'équipe NPA et d'autres instituts se sont terminés. Tout d'abord une collaboration avec l'Université de la Réunion et une participation à l'encadrement de la thèse de Mandimby RNAIVO (soutenue le 3 juillet 2017). Il s'agissait de développer, dans le cadre des réseaux sans-fil de type ad-hoc, un nouveau plan d'adressage adapté au routage, ainsi que de nouveaux protocoles de routage plus efficaces et passant à l'échelle. Cette collaboration a été conclue par une publication dans une conférence internationale [Ranaivo Rakotondravelona et al., 2017]. La deuxième collaboration est un partenariat industriel avec THALES qui a débuté en 2014 et s'est conclu en 2017. Il s'agissait de modéliser des mécanismes existants de prises de liaison dans les réseaux radios multi-fréquences (de type communications nautiques longue distance), et de développer de nouveaux mécanismes d'établissement de la connexion. La dernière publication réalisée dans le cadre de cette collaboration est un journal de bon niveau [Baynat et al., 2017]. La dernière collaboration est une collaboration industrielle avec ORANGE qui s'est poursuivie suite à la fin du projet ANR IDEFIX "Intelligent DEsign of Future mobile Internet for enhanced eXperience" (2013-2016). Il s'agissait de développer des modèles de réseaux cellulaires intégrant la mobilité des utilisateurs, à la fois intracellulaire et inter-cellulaire. Cette collaboration s'est conclue par la publication en 2017 d'une très bonne conférence internationale (rang A) [Nya Kamtchoum and Baynat, 2017] et d'une revue internationale [Elayoubi et al., 2017].

## Algorithmes distribués et tolérance aux fautes et aux attaques

La technologie blockchain est à la frontière de plusieurs domaines : systèmes distribués, réseaux, cryptographie et économie. Cette thématique démarrée en 2017 a ouvert la voie des collaborations directes avec plusieurs banques (Caisse des dépôts, Société Générale, BNP PRO), sociétés de consulting (Finaxys, PALO IT) et start-ups (MASSA). Nous étudions actuellement les fondements théoriques des blockchains (une sous-classe des systèmes distribués). On s'intéresse à la modélisation de ces systèmes, à la conception de briques algorithmiques comme par exemple l'accord, les primitives de communication, les infrastructures auto\* (auto-organisées, auto-réparées et auto-stabilisantes) et sécurisées. Plus particulièrement, on s'intéresse à la conception et à la preuve des algorithmes distribués efficaces en temps et en mémoire. Dans le contexte de cette thématique 4 thèses de doctorat

ont été déjà soutenues (dont 2 CIFREs) et 3 thèses sont en cours (dont une CIFRE et une financée dans le cadre du projet européen NEMO). Les principaux résultats dans ce contexte ont été publiés à ACM SPAA 2019, AAMAS 2020, DISC 2021 et DISC 2022.

Le travail présenté dans [Anceaume et al., 2019a] s'inscrit dans la lignée des récents efforts de la communauté informatique distribuée consacrés aux aspects théoriques des blockchains. Cet article est le premier à spécifier les blockchains comme une composition de types de données abstraits, le tout accompagné d'une hiérarchie de critères de cohérence qui caractérise formellement les histoires admissibles pour les programmes distribués qui les utilisent. Notre travail est basé sur une construction originale basée sur un oracle qui, avec de nouvelles définitions de la cohérence, capture le processus de convergence éventuel dans les blockchains. L'article présente également des résultats sur l'implémentabilité des abstractions présentées et une cartographie des blockchains existantes représentatives du monde universitaire et de l'industrie dans notre cadre.

Nous analysons dans [Amoussou-Guenou et al., 2020] du point de vue de la théorie des jeux les blockchains basées sur le consensus lorsque les participants ont un comportement rationnel ou Byzantin. Notre travail est le premier à modéliser les blockchains basées sur le consensus Byzantin comme un jeu de coordination de comité. Notre première contribution est d'offrir une méthodologie basée sur la théorie des jeux pour analyser les interactions à l'équilibre entre les Byzantins et les rationnels dans les blockchains basées sur le consensus. Les participants Byzantins cherchent à infliger un maximum de dommages au système, tandis que les participants rationnels répondent au mieux pour maximiser leurs gains nets attendus. Notre deuxième contribution consiste à dériver les conditions sous lesquelles les propriétés du consensus sont satisfaites ou non à l'équilibre. Lorsque le nombre de votes requis pour une décision est inférieur à la proportion de participants Byzantins, les blocs invalides sont acceptés à l'équilibre. Lorsque le nombre de votes nécessaires est élevé, l'équilibre peut impliquer des échecs de coordination, dans lesquels aucun bloc n'est jamais accepté. Cependant, lorsque le coût d'acceptation des blocs invalides est élevé, il existe un équilibre dans lequel les blocs sont acceptés si et seulement s'ils sont valides.

Dans [Zappalà et al., 2021] nous proposons un cadre issu de la théorie des jeux afin de caractériser formellement la robustesse des systèmes blockchain en termes de résilience aux déviations rationnelles et d'immunité aux comportements Byzantins. Notre proposition inclue des conditions nécessaires et suffisantes pour vérifier l'immunité et la résilience des jeux ainsi qu'une technique originale de composition de jeux qui préserve la robustesse des jeux individuels. Nous prouvons l'intérêt pratique de notre cadre formel en caractérisant la robustesse de divers protocoles blockchain : Bitcoin (la blockchain sans permission la plus populaire), Tendermint (la première blockchain avec permission utilisée par les praticiens), Lightning Network, un protocole de side-chain et un protocole d'interopérabilité de blockchains (Cross-chain Swap). Pour chacun des protocoles étudiés, nous identifions des limites supérieures et inférieures en ce qui concerne leur résilience et leur immunité face aux comportements rationnels et Byzantins.

Concernant la diffusion fiable d'informations malgré des attaques Byzantines, nous avons obtenu plusieurs avancées relatives à la complexité en temps et en messages qui laissent espérer leur usage en pratique dans un avenir proche [Bonomi et al., 2019b, Bonomi et al., 2021a].

Nous présentons dans [Civit and Potop-Butucaru, 2022] les I/O automates dynamiques et probabilistes, un cadre pour modéliser les systèmes probabilistes dynamiques. Notre travail étend le formalisme des I/O automates dynamiques d'Attie et Lynch [Paul C. Attie et Nancy A. Lynch, 2016] au cadre probabiliste. Le formalisme original d'I/O Automata dynamiques comportait des opérateurs pour la composition parallèle, le masquage d'actions, le renommage d'actions, la création d'automates et le sous-typage comportemental au moyen de l'inclusion de traces. Ils peuvent modéliser la mobilité en utilisant la modification de signature. Ils sont également hiérarchiques : un système d'automates interagissant et changeant dynamiquement est lui-même modélisé comme un seul automate. Notre travail étend toutes ces caractéristiques au cadre probabiliste. De plus, nous prouvons les conditions nécessaires et suffisantes pour obtenir la monotonie de la création/destruction d'automates avec préordre d'implémentation. Notre construction utilise une nouvelle technique de preuve basée sur l'homomorphisme qui peut présenter un intérêt indépendant. Notre travail pose les bases de l'extension de l'émulation sécurisée composable de Canetti et al. [Ran Canetti et al., 2007] à des contextes dynamiques, un outil important pour la vérification formelle de protocoles combinant des systèmes distribués probabilistes et la cryptographie dans des contextes dynamiques (par exemple, blockchains, calcul distribué sécurisé, protocoles distribués cybersécurisés, etc.)

L'équipe a également poursuivi la recherche fondamentale concernant la complexité en espace et en temps des algorithmes auto-stabilisants [Blin et al., 2021, Blin and Tixeuil, 2020, Faghieh et al., 2018]. Plus précisément, nous avons proposé [Blin and Tixeuil, 2020] un algorithme auto-stabilisant compact d'élection pour les graphes arbitraires dont la complexité en espace est de  $O(\max\{\log \Delta, \log \log n\})$  bits par nœud, où  $n$  est la taille du réseau et  $\Delta$  son degré. Cette complexité en espace est sous-logarithmique en  $n$ , tant que  $\Delta = n^{o(1)}$ . Pour établir une borne inférieure, nous avons considéré les réseaux non anonymes et des problématiques dont la solution peut

être capturée par un prédicat booléen II. Nous avons montré [Blin et al., 2021] que pour l'élection dans un graphe quelconque, tout algorithme déterministe auto-stabilisant résolvant le problème de l'élection doit utiliser une taille mémoire de  $\omega(\log \log n)$  bits par nœud. Nous avons introduit [Faghieh et al., 2018] une méthode basée sur SMT qui synthétise automatiquement un protocole auto-stabilisant distribué à partir d'une spécification de haut niveau et d'une topologie de réseau données. Contrairement aux approches existantes, où les algorithmes de synthèse nécessitent la description explicite de l'ensemble des états légitimes, notre technique n'a besoin que de la spécification abstraite du protocole. Cette activité a été soutenue par l'ANR ESTATE.

Enfin, l'équipe a développé une expertise concernant les fondements algorithmiques des essaims de robots mobiles autonomes et la preuve formelle de ces algorithmes. Nous nous sommes intéressés à caractériser les hypothèses minimales pour résoudre certains des problèmes fondamentaux du domaine [Heriban et al., 2018, Bramas and Tixeuil, 2017c, Devismes et al., 2021], comme le rassemblement, la couverture, ou la patrouille. L'un de ces travaux [Devismes et al., 2021] a obtenu le *Wilkes award*, décerné annuellement par la *British Computer Society*. Par ailleurs, nous avons poursuivi le développement de la bibliothèque PACTOLE<sup>6</sup> visant à fournir un cadre formel pour spécifier, exprimer et prouver des algorithmes distribués spécifiques aux réseaux de robots mobiles [Balabonski et al., 2019c, Courtieu et al., 2022]. Cette activité est soutenue par l'ANR SAPPORO.

### Mobilité et communications sans-fil

L'approche retenue dans la thématique *mobilité et communications sans-fil* repose sur la mise en place de la caractérisation des environnements sans-fil et mobiles, la conception de solutions innovantes et la validation au travers d'expérimentations réelles ou reposant sur des données réelles. Les problématiques adressées par l'équipe ont été déclinées dans plusieurs contextes variés : les réseaux véhiculaires, l'IoT et les villes intelligentes, les réseaux opportunistes et les communications D2D ou encore l'allocation des ressources pour les réseaux cellulaires, sans-fil avec une intégration EDGE et Beyond Edge. La figure 1 illustre la démarche entamée pour adresser différents enjeux.

La caractérisation d'un environnement découle de son appréhension et sa compréhension. Une définition de métriques pertinentes, d'outils de mesure est indispensable pour comprendre en profondeur des interactions entre terminaux mobiles, notamment par le biais d'analyses de données dans des scénarios réalistes. Cette compréhension nécessite aussi de s'attaquer au problème d'avalanche de données afin de concevoir et proposer des solutions disruptives ayant comme conséquences positives, entre autres, une meilleure utilisation des ressources de communication et une réduction mécanique de l'empreinte environnementales. Enfin la validation de nos contributions est confrontée à des expérimentations réels ou des traces collectées en environnement réel. Nous présentons ici un aperçu de nos principales contributions pour illustrer notre approche. Nous mettons en avant certains résultats majeurs qui soulignent l'impact scientifique de nos travaux ainsi qu'une ouverture vers le monde industriel.

- ▶ **Voiture connectée.** NPA a accueilli une chaire de professeur sponsorisée par Atos et Renault sur la voiture connectée. Les résultats de cette chaire sont multiples et couvrent des sujets tels que les réseaux opportunistes, les réseaux de données nommées et la mesure de la pollution en mouvement [Yang et al., 2021a, Grassi et al., 2017, Lee et al., 2016]. À titre d'exemple, l'équipe a proposé, conçu, mis en œuvre et évalué expérimentalement CarFi, une technologie brevetée qui permet la connectivité entre le véhicule et l'infrastructure via le Wi-Fi, améliorant ainsi les performances tout en économisant sur les plans de données cellulaires. Grâce à un algorithme de balayage amélioré et à de nombreuses optimisations de la configuration de la connexion, CarFi rend possible le téléchargement de grandes quantités de données à partir d'une voiture en mouvement. CarFi est adopté par les entreprises comme une solution préférentielle pour les aider à réduire les coûts avec les opérateurs cellulaires. Les travaux portés autour des réseaux véhiculaires ont donné lieu à un brevet, plusieurs publications dont la revue *Computer Networks* (Rang A), la participation à de nombreuses collaborations académiques ou industrielles au travers notamment des projets NRG-5 (EU-H2020), POLLAR (IET Health) ou encore de la collaboration de recherche financée par l'Alliance Nationale

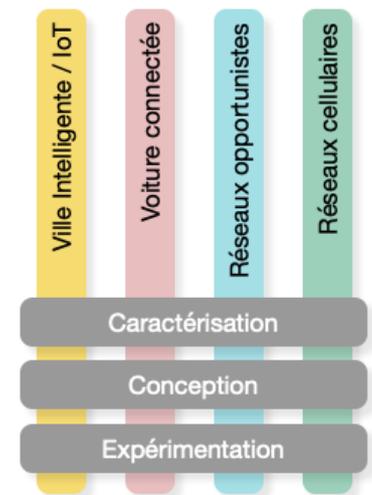


FIGURE 1 – Approche.

6. <https://gitlab.liris.cnrs.fr/pactole/coq-pactole>

pour la vie et la santé.

- ▶ **Ville intelligente et IoT.** Des travaux menés dans le cadre d'une collaboration internationale avec l'Université Fédérale de Rio de Janeiro (UFRJ) a été menée autour de l'utilisation de capteurs mobiles permet d'augmenter la zone de couverture spatiale qui peut être observée par des capteurs tout en réduisant le coût de déploiement [Cruz Caminha et al., 2018, Cruz Caminha et al., 2020, Cruz et al., 2020]. L'utilisation de données réelles de mobilité du réseau de transport urbain des bus de la ville de Rio de Janeiro, nous a permis de déterminer différentes cartes de ville incluant un modèle de couverture et tenant compte du délai de livraison et de la fréquence de collecte pour chaque rue d'une mégapole. Ces travaux ont donné lieu au prix de la CAPES en génie électrique. Sur cette thématique, il convient aussi de souligner les travaux menés en 2017 et 2018 sur le transport intermodal de données massives pour le délestage des réseaux d'infrastructure [Baron et al., 2018, Baron et al., 2017a]. Il s'agissait d'une collaboration scientifique (sans cadre formel) entre le LIP6, North Carolina State University, Georgia Institute of Technology (et, pendant une période précédent 2017, Toyota ITC, Inria et Thales). L'idée était d'exploiter la mobilité des véhicules pour créer un médium de communication ad hoc utile pour déployer des services connectés. L'objectif a été de tirer partie des trajets quotidiens effectués en voiture ou en transport en commun pour surmonter les limitations des réseaux de données tels que l'Internet. D'autres approches plus théoriques ont été étudiées lors d'une collaboration avec l'université du Liban autour de l'amélioration et l'évaluation de performances d'un protocole de transfert pour les réseaux IoT contraints [Makarem et al., 2022b, Makarem et al., 2022a].
- ▶ **Réseaux opportunistes.** L'équipe couvre différents aspects de cette thématique. Nous explorons des solutions pour fournir une cartographie d'une zone dans des situations de crises où la mise en place d'un réseau résilient est nécessaire pour garantir l'intervention et la sûreté des équipes mobiles d'urgence dans des situations de crise [Coriat et al., 2018]. Ces travaux ont été également abordés sous l'angle de la proposition d'une architecture de routage basée sur le SDN dans le cadre d'un partenariat avec le CEA qui a donné lieu au co-encadrement d'un doctorant et de plusieurs publications communes [Labraoui et al., 2017b, Labraoui et al., 2017a]. Les contributions de l'équipe portent également sur la compréhension fine des interactions entre utilisateurs mobiles en situation réelle [Lagos Jenschke et al., 2022, Bertier et al., 2019b, Bertier et al., 2019a, Bertier et al., 2018a, Medeiros et al., 2017b], le délestage de trafic cellulaire [Khizar et al., 2021a, Silva et al., 2021, Khizar et al., 2020a, Belouanas et al., 2019, Dias et al., 2018, Belouanas et al., 2017], et l'impact des caractéristiques des réseaux contraints sans-fil dans des tendances récentes comme par exemple les réseaux de paiement basés sur la *blockchain* [Fontes Rebello et al., 2022a, Fontes Rebello et al., 2022b, Fontes Rebello et al., 2022c]. L'équipe s'est également investie sur des problématiques telles que la définition d'une méthodologie et d'outils pour mesurer et comprendre l'activité sans fil dans une zone en particulier pour l'étude de la mobilité des usagers avec la capture de traces en environnements réels dans le cadre du projet ANR Mitik [Syed et al., 2022e, Syed et al., 2022a, Syed et al., 2022c, Syed et al., 2022b]. Ces travaux s'insèrent dans le cadre de plusieurs projets de recherche (H2020 IoT-NGIN, ANR DataTweet, CIFRES avec Thales). Parmi les contributions notables associées à une partie de ces travaux, nous pouvons citer la mise en œuvre de la start-up Hopcast<sup>7</sup> co-fondée par deux membres de l'équipe.
- ▶ **Réseaux cellulaires.** NPA a contribué à un large spectre de travaux pour les réseaux radio avancés. Dans le domaine des réseaux 5G, nous avons proposé des algorithmes pour la planification des ressources intégrant les contraintes pratiques imposées par la norme LTE/LTE-A considérant des trafics multimédia hétérogènes générés par des utilisateurs mobiles ont donné lieu à une collaboration avec l'université de Lund qui s'est concrétisée par une publication commune [Ragaleux et al., 2017]. Les travaux autour des réseaux LTE menés dans le cadre d'une collaboration avec Nokia sur l'étude et l'amélioration des performances des équipements LTE opérant dans la même bande de fréquences que le Wi-Fi ont donné lieu à plusieurs publications [Abdelfattah et al., 2019, Abdelfattah and Malouch, 2017] dont une commune avec Nokia Bell Labs aux Etats-Unis, ainsi qu'à une publication dans la très sélective IEEE INFOCOM (de rang A+) [Abdelfattah and Malouch, 2017]. Nous avons aussi étudié des aspects plus liés à l'impact des liaisons sans fil sur le trafic vidéo adaptatifs (type DASH) [Abuteir et al., 2018, Abuteir et al., 2017]. Dans le cadre d'une collaboration académique avec Mostafa Ammar de Georgia Institute of Technology, une proposition de mécanisme de répartition de la bande passante sur la base des statistiques de trafic réseau collectées et de la surveillance des flux vidéos a abouti à une proposition commune [Abuteir et al., 2017]. Par ailleurs le projet ENE5AI (PIA-AMI 5G) qui marque la mise en place de la fusion avec l'équipe PHARE, donne lieu à la réalisation d'un démonstrateur hybride 5G/Wi-Fi 6 en partenariat avec les sapeurs pompiers de Paris. Ce démonstrateur a pour but de garantir la résilience du réseau en cas de scénarios d'incendies à grande échelle. Il est à noter que cette contribution représente aussi un exemple de collaboration en interne car le déploiement de notre démonstrateur repose sur l'utilisation de la plateforme du projet EdgeNet, afin de déployer un réseau Edge et mettre en place de services/Callbox 5G sur une plateforme d'expérimentation réelle.

7. <https://hopcast.eu>

## Cartographie de l'Internet

NPA a développé, mis en production et mis à la disposition des communautés scientifiques et pédagogiques deux plateformes : *Iris*<sup>8</sup> qui cartographie régulièrement la totalité de la partie de l'internet qui fonctionne sous la version 4 du protocole IP (IPv4) et une partie de l'internet IPv6 et *EdgeNet*<sup>9</sup> qui maintient une cinquantaine de serveurs à travers l'internet pour le déploiement de mesures, y compris par Iris. Nous avons produit l'outil le plus performant de cartographie d'internet, *Diamond-Miner*<sup>10</sup> et un nouvel outil de traçage de routes dans l'internet, *fast-mda-traceroute*<sup>11</sup>. Notre production de papiers scientifiques concerne ces développements et a reçu des récompenses : best Paper Award<sup>12</sup> au workshop EdgeSys 2021 pour les travaux sur EdgeNet [Şenel et al., 2021a] et Test of Time Award<sup>13</sup> de la Conférence ACM Internet Measurement Conference (IMC) 2022 pour des travaux de 2006 sur le précurseur de fast-mda-traceroute. Elle a servi comme base pour une HDR et un doctorat, avec deux autres doctorats en cours.

Pour la thématique cartographie, nous avons 3 publications scientifiques dans les actes de congrès internationaux et des journaux de rang A :

- ▶ ACM Internet Measurement Conference (IMC) [Vermeulen et al., 2018b]
- ▶ USENIX NSDI [Vermeulen et al., 2020b]
- ▶ ACM SIGCOMM Computer Communication Review (CCR) [Gouel et al., 2022b]

Nos travaux ont impliqué plusieurs partenaires externes :

- ▶ Rob Beverly<sup>14</sup> et Justin Rohrer,<sup>15</sup> professeurs au Naval Postgraduate School (NPS) en Californie [Vermeulen et al., 2020b, Gouel et al., 2021a, Gouel et al., 2021b]
- ▶ Justin Cappos,<sup>16</sup> professeur à NYU Tandon School of Engineering à New York [Şenel et al., 2021a, Şenel et al., 2021b, Şenel et al., 2021c, Şenel et al., 2022]
- ▶ Rick McGeer,<sup>17</sup> Chief Scientist chez US Ignite, une entreprise de recherche, ainsi que entrepreneur et associé à l'University of California Berkeley [Vermeulen et al., 2019, Şenel et al., 2021a, Şenel et al., 2021c]
- ▶ Reza Rejaie,<sup>18</sup> professeur à l'University of Oregon [Vermeulen et al., 2020a]
- ▶ Stephen Strowes, Robert Kisteleki, Philip Homburg et Emile Aben, ingénieurs et chercheurs à RIPE NCC,<sup>19</sup> l'association des opérateurs de réseaux basée à Amsterdam qui sert comme registre internet régional pour l'Europe et le Moyen Orient [Vermeulen et al., 2018a, Vermeulen et al., 2018b]

Notre positionnement scientifique est à la pointe de la compétition internationale : notre plateforme de cartographie d'internet Iris est actuellement la plus performante au monde pour la récolte des routes traversées par des paquets de données IP. Elle découvre 3 millions d'adresses IP et 20 millions de liens entre ces adresses en 15 heures, tandis que le système de référence historique international, Archipelago,<sup>20</sup> opéré par le centre CAIDA à l'University of California San Diego (UCSD) découvre 3 fois moins d'interfaces et 10 fois moins de liens dans environ le même temps.

Notre plateforme de soutien à des mesures à partir des serveurs distribués à travers internet, EdgeNet est la dernière de ce type qui perdure après la fermeture par Princeton University de PlanetLab<sup>21</sup> en avril 2020. Ces plateformes nécessitent un renouvellement de leur technologie tous les 10-15 ans à risque, sinon, de tomber en désuétude et nous avons posé les bases de EdgeNet en 2018, le faisant reposer sur du code open source du système Kubernetes<sup>22</sup> largement adopté en industrie pour le déploiement de services dans le "cloud" dans le but de lier l'évolution de EdgeNet à l'évolution de Kubernetes et assurer sa plus longue pérennité en tant que système utilisé par la communauté scientifique pour des mesures d'internet.

8. Iris <https://iris.dioptra.io/>

9. EdgeNet <https://edge-net.org/>

10. Diamond-Miner <https://github.com/dioptra-io/diamond-miner>

11. fast-mda-traceroute <https://github.com/dioptra-io/fast-mda-traceroute>

12. Programme de EdgeSys 2021 avec l'annonce de la distinction Best Paper Award <https://edge-sys.github.io/2021/programme.html>

13. ACM IMC Test of Time Award <https://www.sigcomm.org/awards/IMC-test-of-time-award>

14. Robert Beverly <https://rbeverly.net/research/>

15. Justin Rohrer <https://jprohrer.org/>

16. Justin Cappos <https://engineering.nyu.edu/faculty/justin-cappos>

17. Rick McGeer <https://www.linkedin.com/in/rickmcgeer/>

18. Reza Rejaie <https://cas.uoregon.edu/directory/computer-science/all/reza>

19. Personnel Research and Development chez RIPE NCC <https://www.ripe.net/about-us/staff/structure/information-services/r-d>

20. Archipelago <https://www.caida.org/projects/ark/>

21. PlanetLab <https://planetlab.cs.princeton.edu/>

22. Kubernetes <https://kubernetes.io/>

## SLICES : un grand instrument scientifique européen

Une science est définie par un ensemble de connaissances encyclopédiques liées à des faits ou à des phénomènes suivant des lois ou attestées par des observations expérimentales. L'informatique et en particulier les infrastructures constitue un domaine scientifique mûrissant au fil des ans et adoptant les meilleures pratiques héritées de disciplines plus fondamentales. Nous œuvrons pour que la recherche dans ce domaine (réseaux radio, cloud, réseaux, algorithmes distribués, IoT, etc.) adopte une méthodologie plus rigoureuse, soutenue par des instruments appropriés, pour produire des résultats expérimentaux crédibles soutenant des innovations radicales et incrémentales.

Jusqu'à présent, les plates-formes de test d'infrastructures numériques ont tenté de satisfaire une variété de demandes issues de ces communautés de recherche. Cependant, très peu a été fait pour couvrir l'ensemble du cycle de vie de la recherche, en particulier pour le partage des données (FAIR) et la reproductibilité des expériences. L'équipe a une forte expertise dans le développement des plateformes dédiées à la recherche.

SLICES (décrite en détail dans le Portfolio 1) est organisée autour de l'ensemble des communautés scientifiques du domaine, en particulier du réseau, du système et des algorithmes distribués. Il fait l'objet d'une stratégie conjointe entre l'Europe et 15 états membres (SLICES a reçu le soutien au niveau politique de 12 états membres). Il associe une centaine d'organisations, essentiellement universités et organismes de recherche. Il bénéficie d'un financement déjà substantiel. En France, il a permis de motiver le financement du nœud français de SLICES au travers des PEPR 5G et Cloud.

Il est remarquable de noter que SLICES illustre la capacité de leadership de la France dans ce domaine, et en particulier de la recherche universitaire. C'est un énorme défi car ce type d'instrument scientifique n'a jamais été réalisé auparavant. C'est une première mondiale et une grande responsabilité.

## Gouvernance de l'internet

La thématique "Gouvernance d'internet" développée au sein de l'équipe NPA se caractérise par un fort aspect pluridisciplinaire. Ancrée dans un laboratoire d'informatique, et plus précisément une équipe consacrée à la recherche en réseaux, elle est menée suivant des approches de droit et de sciences politiques. S'agissant de gouvernance globale, les recherches se sont concentrées dans cette période 2017-2022 sur les aspects internationaux et/ou transnationaux de la gouvernance et de la régulation d'internet. Nous avons adopté le prisme de la gouvernance globale d'Internet en tant que question diplomatique pour conceptualiser ces questions de recherche dans le cadre des relations internationales. Ce prisme constitue un moyen adéquat de comprendre les mutations complexes de la politique internationale, qui se caractérisent de plus en plus par une nature hautement technique. Enfin, considérer ce prisme constitue une évolution somme toute assez logique de nos précédents travaux sur les organisations internationales dans la gouvernance d'internet, et les transformations induites au sein de ces organisations et dans leurs relations avec d'autres acteurs transnationaux. À la croisée de la mondialisation et de la numérisation, nous avons mis en lumière les effets des principales mutations normatives préalablement identifiées (Platformisation et datafication des activités économiques et sociales ; ouverture des processus de gouvernance à de multiples parties prenantes ; reformulation des cadres normatifs ; fragmentation de l'internet en tant qu'espace). Ces effets sont principalement des disruptions de quatre ordres :

- ▶ Disruptions en matière de gouvernance, qui incluent toutes les transformations liées aux agents étatiques et non étatiques impliqués dans la gouvernance de l'internet
- ▶ Disruptions d'ordre démocratique, qui sont liées à la transformation des lois nationales et internationales contraignantes, de la réglementation et des pratiques privées, et à leur impact sur l'environnement en ligne
- ▶ Disruptions d'ordre économique, comprenant toutes les transformations relatives au commerce, à la finance et à la fiscalité, à l'économie, ainsi qu'au travail et aux conditions de travail, sont principalement liées aux défis et aux opportunités de l'"uberisation"
- ▶ Disruptions d'ordre géopolitique, liées aux transformations de l'ordre géopolitique numérique mondial, dans un mouvement dialectique entre la mondialisation et la renationalisation du monde numérisé (on parle aussi à cet égard de "souveraineté numérique").

Ces résultats viennent en parfaite résonance des transformations diplomatiques telles qu'observées dans la littérature. La diplomatie contemporaine a elle-même été confrontée à de multiples défis en raison de la mondialisation, à laquelle s'est ajoutée plus récemment la numérisation. Ces résultats sont présentés dans les publications de l'équipe, et synthétisés dans l'ouvrage que nous avons coordonné.

## Aspects pluridisciplinaires

L'équipe mène des recherches pluridisciplinaires dans le cadre de la thématique "Gouvernance de l'Internet" présentée en détail dans la section précédente mais aussi dans le cadre des thématiques "Mobilité et communications sans-fil" et "Algorithmes distribués tolérants aux fautes et aux attaques".

Dans la thématique "Mobilité et communications sans-fil" l'équipe a développé des activités autour des *Wireless Body Area Networks* en étroite collaboration avec le laboratoire d'électronique L2E de Sorbonne Université. Le projet SMART-BAN et sa suite, e-PATIENT, financés par le LABEX SMART ont été à l'origine de plusieurs thèses et stages de master.

Dans le cadre de la même thématique, l'équipe a développé des collaborations avec l'INSERM autour de l'IOT dédié à mesurer la pollution atmosphérique. Cette collaboration s'est concrétisée par la co-direction de la thèse de Boris Dessimond.

Dans le cadre de la thématique "Algorithmes distribués tolérants aux fautes et aux attaques" nous avons développé une collaboration avec HEC autour de la modélisation via la théorie des jeux des algorithmes de consensus dans les blockchains. Cette collaboration s'inscrit dans un cadre plus large ayant comme objectif de réunir les communautés informatique et économie travaillant autour des blockchains. En 2019, nous avons créé la conférence internationale Tokenomics<sup>23</sup> qui est arrivée à sa quatrième édition.

## Animation scientifique

L'équipe accueille chaque année un nombre important de doctorants, post-doctorants et stagiaires. Cela a permis la mise en place d'une journée annuelle leur étant dédiée. Lors de cette journée tous les non permanents de l'équipe présentent leurs travaux de recherche. Les présentations peuvent être longues (30 minutes) ou courtes (15 minutes). A ces journées, nous invitons des anciens de l'équipe et des personnalités externes.

L'équipe bénéficie également de son association au LINCS<sup>24</sup> (Laboratory for Information and Communication Science) dont les partenaires sont Inria, l'Institut Mines-Telecom, Nokia Bell Labs, Sorbonne Université and SystemX. Les permanents et non permanents de l'équipe présentent régulièrement leurs travaux dans le cadre du séminaire du LINCS organisé tous les mercredis<sup>25</sup>. Certains permanents et non permanents de l'équipe bénéficient également d'un bureau ou un espace de travail au sein du LINCS.

L'équipe organise également des séminaires pour tous les candidats à un poste de maître de conférence ou chercheur.

---

23. <https://tokenomics-conference.lip6.fr/>

24. <https://www.lincs.fr>

25. <https://www.lincs.fr/activities/seminars>

## 2 INTRODUCTION DU PORTFOLIO

Le portfolio de l'équipe NPA montre l'excellence et la diversité de notre équipe. Nous avons choisi d'inclure dans notre portfolio les distinctions des membres de notre équipe, la plateforme mondiale SLICES pour la recherche expérimentale, un projet ANR JCJC qui a permis à l'équipe de nouer de nombreuses collaborations au sein du laboratoire et à l'étranger ainsi que la publication de nombreux papiers dans des conférences réputées du domaine. Nous avons également choisi de présenter des travaux de recherche distingués avec les prix suivants : "Test of time Award", "Best Paper Award" ou bien "Best Student Paper Award".

1. **Élément 1 (instrument de recherche)** : première mondiale : SLICES, le premier "téléscope" international pour soutenir la recherche expérimentale dans le domaine des infrastructures numériques. Nous sommes fiers d'avoir été sélectionnés dans la feuille de route 2021 de l'ESFRI. C'est une reconnaissance forte pour notre communauté, étant la première IR dédiée à soutenir la recherche en sciences du numérique et en particulier des infrastructures numériques.
2. **Élément 2 (création d'entreprise)** : la société Hopcast a été créée en 2022 pour explorer des résultats issus de la collaboration entre le LIP6 et Thales depuis la création du laboratoire commun EuronetLab en 2001. Les fondateurs, Farid Benbadis (Thales), Marcelo Dias de Amorim (LIP6) et Serge Fdida (LIP6), travaillent ensemble depuis lors, que ce soit par le co-encadrement de thèses CIFRE ou par la participation à des consortiums ANR (projets Crowd, SVP et Airnet) et Européens (projets MOTO et OneLab).
3. **Élément 3 (distinction)** : déjà lauréat en 2010 dans la catégorie Junior lors d'un précédent contrat, S. Tixeuil a été nommé en 2022 membre senior de l'IUF. Cette nouvelle distinction vient récompenser une activité de recherche continue et reconnue portant sur l'intégrité des informations sans recourir à la cryptographie. La sécurité des informations dans le monde numérique actuel est de plus en plus souvent mise à mal, en raison de bugs, de vol de clés cryptographiques, etc. Garantir l'intégrité des informations sans recourir à la cryptographie nécessite de reconsidérer les bases des attaques Byzantines, car les hypothèses fondamentales dans ce domaine ne s'appliquent plus aux réseaux sans fil réels, omniprésents et mobiles.
4. **Élément 4 (distinction)** : ACM SIGCOMM IMC 2022 Test of Time Award. Une distinction accordée par la plus prestigieuse conférence en métrologie de réseaux pour nos travaux dans le domaine de traçage des routes empruntés par des paquets de données qui traversent l'Internet. Il s'agit de la publication "Avoiding traceroute anomalies with Paris traceroute" dont les auteurs sont Brice Augustin, Xavier Cuvellier, Benjamin Orgogozo, Fabien Viger, Timur Friedman, Matthieu Latapy, Clémence Magnien, and Renata Teixeira publié dans les actes de la 6th ACM Internet Measurement Conference, pages 153–158, Rio de Janeiro, Brazil, October 2006. ACM.
5. **Élément 5 (publication)** : Ranking Online Social Users by Their Influence
6. **Élément 6 (publication)** : la collaboration entre Naceur Malouche et Nokia Bell Labs Etats Unis autour de la modélisation et de l'analyse des performances de la cohabitation entre les réseaux Wi-Fi et LTE-U a donné naissance à une publication dans la prestigieuse conférence IEEE Infocom.

## 3 AUTOÉVALUATION DU BILAN

### 3.1 Autoévaluation de l'équipe

#### Domaine 2. Attractivité

Référence 1. L'unité est attractive par son rayonnement scientifique et s'insère dans l'espace européen de la recherche.

**Prix et distinctions.** Une des distinctions les plus notables reçues par les membres de l'équipe est la nomination en 2022 de Sébastien Tixeuil en tant que membre senior de l'IUF.

Par ailleurs plusieurs prix attestent la qualité exceptionnelle de nos travaux. Le plus important est le prix **Test of time Award**, distinction accordée par la plus prestigieuse conférence en métrologie de réseaux pour un travail collaboration entre les équipes NPA et Complex Networks. La qualité de nos travaux a été également primée par British Computer Society avec le prix **Wilkes award** et par IEEE avec le prix **Best Demo Award**.

L'équipe NPA se distingue également par un nombre important de prix reçus notamment par les doctorants de l'équipe :

- ▶ Best Paper Award EdgeSys'21 WS
- ▶ Best Paper Award IEEE ICDCS 2022
- ▶ Best Paper Award IEEE IPDPS 2022
- ▶ Best Student Paper Award DISC 2022
- ▶ Best Poster Presentation N2Women Workshop 2017
- ▶ Best Student Paper Award Algotel 2020
- ▶ Best Student Paper Award OPODIS 2021

**Invitations.** La qualité de notre recherche est attestée par les invitations à faire des exposés (keynotes, tutoriaux ou papiers/exposés invités) dans des conférences internationales. Par ailleurs, plusieurs membres de l'équipe ont été invités à faire partie de panels portant sur les thématiques de leur expertise.

- ▶ Keynotes : 2017 Global Future Network Development Summit 2017, GFNDS 2019, ICSRI 2019, IEEE COMSNET ACM Workshop on Micro aerial vehicle networks 2019, Systems and Applications IEEE COMSNET 2019, IFIP Networking 2020, The 5th Future Network Development Conference 2021, TNC2021, FNDC 2021 ICCCN 2021, OPODIS 2022, ICCRI 2022 ICSC 2022, MoNeTec 2022.
- ▶ Invited Speakers : Formal Reasoning for Distributed Algorithms International research meeting 2017, Collège de France 2019 (2), UCSD-CAIDA AIMS 2018, 3rd Future Network Development Conference 2019, GEFI 2019, Huawei Symposium on Software Design 2019, Romanian Mathematicians Congress 2019, MOBICOM 2020, Digital around the world 2020, Networks of the Future" (NoF), Orange Expert community seminar 2020, NETYS 2020, GDR RSD 2021 IEEE 5G World Forum 2021, Digital Around the World 2021, NSF/USCD-CAIDA WOMBIR 2021, ACM AINTEC 2021, Romanian Algorithmics Days 2021, 3rd Buffalo Day for 5G and Wireless Internet of Things, Future Networks Testbed Requirements 2021, Challenges and Opportunities 2022, ELKH Cloud Event 15 February 2022, Networkworld Europe 2022, BY5G Japan 2022, NSF MERIF workshop 2022, JWC 2022, Distinguished Lecture Series. Darmsstadt 2022, ESFRI Roadmap 2021 Launch, Science—Business and Elsevier expert workshop 2022, IoT Week 2022, EuCNC and 6G workshop 2022, IFIP Networking Conference 2022 workshop, First SLICES Industry Day.
- ▶ Tutorials : Algocloud 2021.
- ▶ Panelists : IEEE PIMRC 2022, IOT World 2021, ICCCN 2021, The networking channel 2021 Globecom 2020, SERIAL workshop @ ACM Middleware 2020, IoT Week 2017.

**Visites.** L'équipe a des collaborations de longue date avec plusieurs universités en France et à l'étranger. Au delà des visites régulières dans les deux sens nos collaborations se concrétisent par des encadrements de thèse ou bien par des participations à des projets de recherche communs.

Nous avons une collaboration privilégiée avec le Japon. Plusieurs membres de l'équipe visitent chaque année (sauf période Covid) les principales universités japonaises : University of Tokyo, Tokyo Institute of Technology, Osaka University, Fukui University of Technology, Kyushu University, NII, Hiroshima University, NAIST etc. Les chercheurs de notre équipe ont également fait des visites au JFLI.

En Europe nous collaborons régulièrement avec University of Rome "La Sapienza" (Italie), University of Cyprus ou bien IMDEA (Espagne).

**Activité éditoriale et participations à des comités de programme de conférences.** Plusieurs membres de l'équipe participent à des comités éditoriaux. Ci-après une liste exhaustive :

- ▶ Annales des Telecommunications (spécial issue)
- ▶ ACM SIGMOBILE
- ▶ IEEE Communications Surveys & Tutorials
- ▶ IEEE Transactions on Mobile Computing
- ▶ Computer Communications

L'excellence de notre équipe est attestée par la présence massive des membres de l'équipe dans des comités de programme de conférences internationales réputées : SECON 2018, MOBICOM 2018, Mobisys 2019, ACM Hot-Mobile 2018, DSN 2023, SIROCCO 2023, ICDCN 2023, OPODIS 2017, 2022, ICDCN 2022, ICDCIT 2022, ISAAC 2021, SIROCCO 2021, SSS 2019, 2020, SIROCCO 2019, 2020, 2021, RDS 2019, ICDCN 2018, IPDPS 2017, 2018, SSS 2017, SRDS 2017, 2021, 2022, SWC 2017, IEEE PIMRC 2017,2018, IEEE GLOBECOM 2017, Euro-par 2023, WADS 2023, DSN 2023, DISC 2017,2019,2022, BCCA 2021,2022, FMBC 2022, EDCC 2022, CSCS 2022, AFT 2022, Algocloud 2021, Tokenomics 2021, FAB 2021, EDCC 2019,2020,2021, PODC 2017,2021, Cry-block 2020, ICDCS 2020, SSS 2017,2019,2022, ICDCN 2017,202, NETYS 2020, BCC 2019, ICALP 2019, SERIAL 2019, IPDPS 2017, ISPDC 2017, BALKANCOM 2017-2022, INFOCOM 2017-2021, WoWMoM 2017-2022, ICCE 2018, CONEXT 2019, MOBIHOC 2019, ICCN 2020, IEEE/ACM QOS 2021, ACM WINTECH 2021, WONS 2022, MONETEC 2018,2022, ACM Chants 2017-2019, CoRes 2017-2021, IEEE Globecom 2017-2018, ACM PE-WASUN 2017, SBRC 2017-2021, ACM MSWiM 2020, IEEE ISCC 2020.

L'équipe a également piloté plusieurs conférences en tant que PC Chair ou Membre ou Président de Steering Committee : SSS Track chair 2023, SSS Steering chair 2022, SSS Vice-steering chair 01/2020-11/2022, OPODIS Steering chair 12/2014-12/2019, SSS Track chair 2021, ICDCN Vice-PC chair 2021, SIROCCO PC chair 2017, ICDCN PC chair 2017, INFOCOM Workshop 2019, SSS Track chair 2021, ICDCN Track chair 2018, PHD-forum SRDS 2021 co-chair 2021, Tokenomics co-chair 2019, Globecom 2022 Industry Workshop co-chair 2022, INFOCOM 2019 co-chair 2019, SIGCOM MAGESYS 2019 co-chair 2019, EUCNC workshop co-chair 2022, IEEE International Conference on Cloud and, Internet of Things (CIoT) TPC co-chair 2020, ICT Tools for Emergency Networks and Disaster Relief (I-TENDER) TPC co-chair 2017, SBRC Keynotes and mentoring chair 2020.

**Participation à des instances de pilotage de la recherche et d'expertise scientifique.** Notre équipe est présente dans les instances d'expertise nationales et internationales. Ci-après une liste non exhaustive de nos participations :

- ▶ Instances internationales :
  - Member de "Global Advisory Committee", Yonsei University, KOREA (2021-)
  - Member de Advisory Board of the NSF PAWR Program (2017-)
  - Canadian NSERC : expert 2022, 2020, 2019, 2018, 2017.
  - Israel Science Foundation : expert 2022.
- ▶ Instances nationales :
  - Member de Scientific Committee of IRT Bcom (2016-)
  - Member de Scientific Committee of IRT Systemx (2018-)
  - Member de Scientific Committee of ARCEP (2018-)
  - Chair of the Advisory Committee of the Labex CIMI in Toulouse (Labex Math-Info) : <http://www.cimi.univ-toulouse.fr/fr>, 2013-2018
  - President EIT Health France (2014-2021)
  - Membre CA Cap DIGITAL (2018-2021)
  - Comité de Pilotage, GDR RSD, 2017-2022
  - Co-responsable du Pôle RESCOM du GDR RSD, 2019-2022
  - Chargé de mission auprès du Ministère de l'Éducation Nationale, de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche, 2014-2017
  - ANR : expert 2020, 2018.
  - CNU (section 27)
  - Comité National CNRS (section 6)

Régulièrement l'avis des membres de l'équipe est demandé lors des recrutements dans des universités étrangères.

**Organisation d'événements scientifiques.** L'équipe organise régulièrement des événements scientifiques nationaux ou internationaux.

L'événement majeur organisé par l'équipe a été IEEE Infocom 2019, la conférence phare dans le domaine des réseaux. L'équipe a organisé également : The networking channel (2021-2023), 1st SLICES-SC Summer School (2022) et SLICES virtual workshop (2021), Tokenomics (2019, 2022). Nous avons également organisé : le premier workshop national dédié à l'apprentissage fédéré (2022) et plusieurs journées nationales dédiées à la thématique blockchain.

Les membres de l'équipe participent également à l'organisation des manifestations (journées thématiques, workshops, séminaires) au sein du LINCS (<https://www.lincs.fr/>).

### Référence 2. L'unité est attractive par la qualité de sa politique d'accompagnement des personnels.

La majorité de nos doctorants et post-doctorants sont financés via des ressources propres (contrats industriels, projets ANR, contrats européens, CIFRE). Souvent nous mettons en place un co-encadrement au sein de l'équipe permettant ainsi une bonne cohésion entre les membres de notre équipe. Les nombreux projets de recherche ainsi que les formations en alternance gérées par l'équipe nous permettent d'avoir une assise confortable en termes de logistique (ordinateurs, plateformes d'expérimentation, missions etc).

Nous incitons nos doctorants et post-doctorants à présenter leurs travaux de recherche plusieurs fois durant leur thèse. Nous organisons chaque année une journée scientifique pour les non-permanents de l'équipe (stagiaires, doctorants, post-doctorants, ingénieurs de recherche). Le format est similaire à une conférence internationale : organisation en sessions thématiques, présentations (de préférence en anglais) de 15 ou 30 minutes suivies de questions. L'objectif d'une telle journée est double. Premièrement, elle permet le partage d'information au sein de l'équipe. Deuxièmement, elle sert d'entraînement pour les stagiaires et les doctorants qui n'ont jamais présenté leurs travaux dans une conférence internationale. Chaque événement est présidé par un binôme de doctorants en troisième année qui assure la logistique (la collecte des sujets, la mise en place de la page web, les flyers de présentation, l'organisation du programme et des pauses café).

Nous sommes particulièrement attentifs à la valorisation des travaux de nos doctorants via des publications. L'équipe encourage également la participation de nos doctorants et post-doctorants aux congrès internationaux. Nos doctorants présentent régulièrement leurs travaux au sein du LINCS où ils sont confrontés à un public formé d'industriels et d'académiques d'un excellent niveau scientifique.

Nos doctorants sont également encouragés à échanger avec les nombreux professeurs en visite dans notre équipe. Ces échanges, souvent informels, permettent à nos étudiants d'avoir un avis externe sur leur sujet de recherche.

En terme de permanents, la période 2017-2022 a été une période très faste pour notre équipe. Deux collègues MdC ont été promus professeurs. Un collègue, en charge de la chaire ATOS/Renault, a été également promu professeur et démissionné peu après son recrutement. Malgré nos efforts, sa thématique de recherche autour des VANETS se retrouve fortement affaiblie suite à son départ.

En 2017, un CR CNRS à TelecomParis Tech a demandé une mutation au LIP6 et a rejoint notre équipe. Il a insufflé une forte dynamique à la thématique "Modélisation" notamment via un projet ANR JCJC permettant à plusieurs collègues de notre équipe de développer un nouveau sujet de recherche (la modélisation des réseaux sociaux) en collaboration avec des collègues de l'équipe Complex Networks.

En 2022 nous avons recruté une maîtresse de conférences avec une forte expertise en théorie des jeux appliquée au réseaux. Ce recrutement nous a permis également de renforcer le pôle théorique de l'équipe.

Sur la période 2017-2022 quatre HDR ont été soutenues au sein de l'équipe permettant d'élargir le potentiel d'encadrement de l'équipe.

### Référence 3. L'unité est attractive par la reconnaissance de ses succès à des appels à projets compétitifs.

L'équipe NPA a une activité contractuelle remarquable au niveau national et international. Nos projets financent pratiquement tous nos doctorants et post-doctorants. Ci-après une liste exhaustive de nos contrats :

- ▶ Collaborations internationales : VMware Développement EdgeNet 2020-2022, Coopération Asian Institute of Technology (coordinateur) 2016-2018
- ▶ Projets Européens : EU-H2020 F-Interop (Coordinateur) 2015-2018, EU-H2020 ARMOUR (Coordinateur) 2016-2018, EU-H2020 EMPOWER (Coordinateur) 2018-2022, EU-H2020 SLICES-DS (Coordinateur) 2020-2022, EU-H2020 SLICES-SC (Coordinateur) 2021-2024, EU-H2020 EXCITING (Partenaire) 2016-2019,

EU-H2020 Fed4FIREplus (Partenaire) 2017-2022, EU-H2020 IoT-NGIN (Partenaire) 2020-2023, EU-H2020 NRG-5 (Partenaire) 2017-2019, EU-H2020 NRG-5 (Partenaire) 2017-2019, EU-HEU CONVERGE (Partenaire) 2023-2026, EU-HEU NEMO (Partenaire) 2022-2025, EU-HEU SLICES-PP (Partenaire) 2020-2025, ESFRI SLICES (Coordinateur) 2017-2042, EU-US NGI Atlantic Cash-cache 2020-2021.

- ▶ Projets ANR : ANR Mitik 2020-2024, ANR DataTweet 2014-2017, ANR SAPPORO 2019-, ANR GRIFIN 2020-, ANR Mitik (Partenaire) 2020-2024.
- ▶ Projets Nationaux : EIT Health POLLAR (Co-coordonateur) 2018-2019, Alliance nationale pour la vie et la santé Objets connectés pour mesurer l'impact de la pollution(Partenaire) 2015-2018, ITR-SystemX Partenaire 2015-2018, PIA 4 AMI 5G ENE5AI (Partenaire) 2022-2024, PEPS BIP financement CNRS 2016-2017, Ministère des Armées Cartographie Internet 2016-2024.
- ▶ Projets CIFRES : CIFRE CEA 2017-2020, CIFRE Palo IT 2018-2022, CIFRE Finaxys, CIFRE CEA 2014-2017, CIFRE Nokia 2016-2020, CIFRE Snowpack 2022-, CIFRE Thales 2017-2020, CIFRE Thales 2019-2022.

L'équipe a également porté la chaire d'excellence ATOS/Renault attribuée sur la période 2014-2019. A la fin de cette période, le porteur a été recruté PR 2ème classe.

**Référence 4. L'unité est attractive par la qualité de ses équipements et de ses compétences techniques.**

L'équipe NPA contribue au meilleur niveau mondial aux services pour sa communauté de recherche. En effet, NPA a conçu, développé et opéré plusieurs plates-formes de test dans le domaine des réseaux et systèmes distribués. Citons en particulier dans la période concernée :

- ▶ PlanetLab Europe, <https://www.planet-lab.eu/>
- ▶ OneLab, <https://onelab.eu/>
- ▶ FIT, <https://fit-equipex.fr/>
- ▶ EdgeNet, <https://www.edge-net.org/>
- ▶ SLICES, [slices-ri.eu](https://slices-ri.eu)

Ces outils ont été et sont utilisés par un très grand nombre de chercheurs et sont cités dans de très nombreuses publications. Cela correspond à un effort considérable de production d'outils de recherche. Cet effort demande la contribution d'une équipe de chercheurs et d'ingénieurs. Le rôle des ingénieurs est essentiel pour être compétitif et présent sur la mise à disposition de ces outils. Or, il est regrettable que les tutelles n'aient pas mis à disposition de nos équipes, des ingénieurs sur poste afin de pérenniser les compétences très pointues, et rares sur le marché du travail. Par ailleurs, les conditions faites pour le recrutement de jeunes ingénieurs en CDD (sur nos contrats) ne sont vraiment pas attractives et fragilise grandement nos équipes. Il faudrait comprendre qu'il est impossible d'être présent sur ces sujets sans un engagement adéquat en ressources humaines. Espérons que le futur sera meilleur.

**Domaine 3. Production scientifique**

	2017	2018	2019	2020	2021	2022
<b>Articles (revues)</b>	1.57	1.57	1.05	0.88	1.33	1.25
<b>Communications (conférences)</b>	3.57	2.84	3.36	3.22	3.66	4.12

TABLE 2 – Publications par ETPR par an entre 2017 et 2022

**Référence 1. La production scientifique de l'unité satisfait à des critères de qualité.**

Les thématiques de recherche de l'équipe sont variées et au sein de chaque thématique nous visons les meilleurs supports de publications.

Les membres de l'équipe publient régulièrement avec leurs partenaires industriels.

## NPA, Évolution des publications (2017–2022)

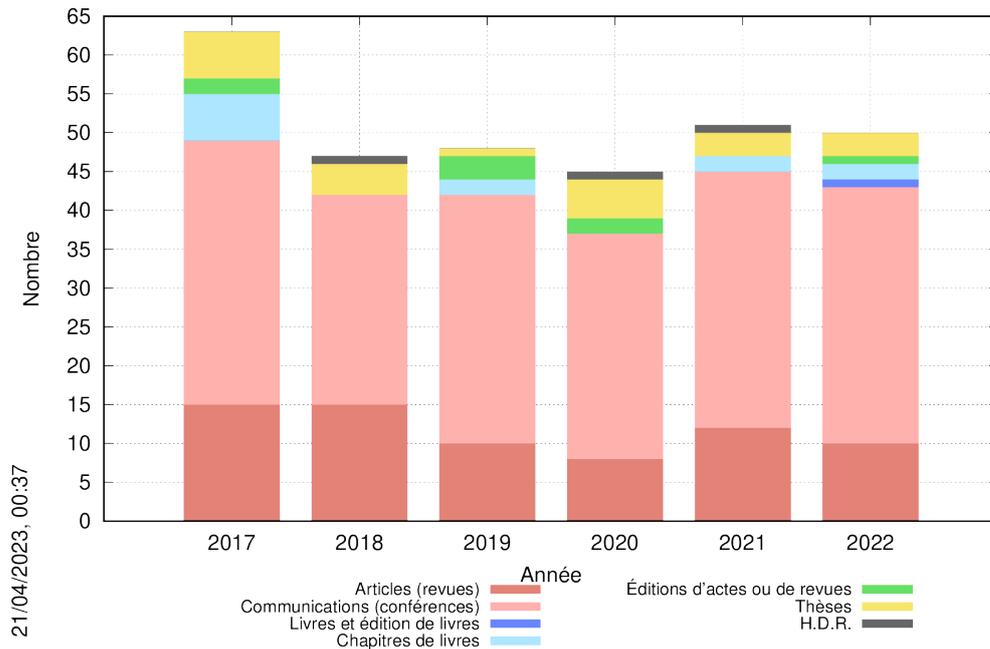


FIGURE 2 – Évolution des publications entre 2017 et 2022

Référence 2. La production scientifique de l'unité est proportionnée à son potentiel de recherche et correctement répartie entre ses personnels.

La production scientifique de NPA est stable hormis un pic en 2017. La production scientifique ainsi que les projets (nationaux, européens ou industriels) couvrent l'ensemble des thématiques de l'équipe et l'ensemble de ses membres.

Référence 3. La production scientifique de l'unité respecte les principes de l'intégrité scientifique, de l'éthique et de la science ouverte. Elle est conforme aux directives applicables dans ce domaine.

L'équipe NPA respecte les principes de l'intégrité scientifique, de l'éthique et de la science ouverte. Les membres de notre équipe mettent en ligne leurs publications (pages web, Arxiv ou HAL). Les logiciels produits au sein de l'équipe sont libres.

### Domaine 4. Inscription des activités de recherche dans la société

Référence 1. L'unité se distingue par la qualité et la quantité de ses interactions avec le monde non-académique.

L'équipe a développé depuis plusieurs années des collaborations étroites avec les acteurs majeurs du monde socio-économique. Ces collaborations se matérialisent via des thèses CIFRE (7 sur la période évaluée). Nos principaux partenaires sont : Thales, Nokia, Atos-Renault ou VMWare. Plus récemment, via les thématiques blockchains et la sécurité des échanges distribués nous avons élargi le spectre de nos partenaires. Ainsi nous collaborons avec les sociétés de conseil (ex. PaloIT ou Fynaxis) ou bien des start-ups (MASSA, SnowPack). Nous avons eu également une collaboration avec la Caisse des Dépôts (encadrement de thèse CIFRE).

Référence 2. L'unité développe des produits à destination du monde culturel, économique et social.

La valorisation de nos travaux de recherche est un point très important dans notre activité. L'équipe a créé en 2022 la stat-up Hopcast pour explorer des résultats issus de la collaboration entre le LIP6 et Thales depuis la création du laboratoire commun EuronetLab en 2001. La présentation détaillée de Hopcast est faite dans le portfolio.

L'équipe a également déposé 3 brevets : US Patent no : US9,886,604B2 (Method of discriminating RFID Tags in motion from static RFID Tags), Chinese Patent ZL 2017 2 0615710.4 (An Environment monitor), Brevet européen no 3 563 593 (Procédé et Système d'Échange de Données).

Les chercheurs de l'équipe diffusent régulièrement les résultats de leur recherche auprès des acteurs socio-économiques. Ci-après une liste non exhaustive de nos interventions :

- ▶ The Transforming Challenges of Internet Governance. The Networking Channel Seminar Series. 23 novembre 2022. Online.
- ▶ Séminaire (avec Yves Schemeil) sur La gouvernance de l'internet et ses défis - Présentation de l'ouvrage Internet Diplomacy - Shaping the Global Politics of Cyberspace.
- ▶ Séminaire de recherche du GRAM (Groupe de recherche sur l'action multilatérale / SciencePo Paris). 22 septembre 2022. Paris, France.
- ▶ Challenges of a Privatized Internet Governance Model. The Bordeaux Institute of International Cybersecurity Studies Inaugural Conference on "Tech Talks : the Politics of Cybersecurity". 12-13 septembre 2019. Bordeaux, France.
- ▶ Privatized Internet Governance and Regulation - Consequences on Human Rights, Democracy and the Rule of Law. Internet Governance Forum - IGF Italia 2018 (Keynote session). 6-7 novembre 2018. Rome, Italie.
- ▶ Internet Governance, Human Rights and The Rule of Law Séminaire invité de l'Université de Salerno. 10 mai 2018. Salerno, Italie.
- ▶ Disruptions numériques, disruptions démocratiques ? Conférence annuelle de Chaire Gouvernance et Régulation de l'Université Paris Dauphine sur le thème "Disruption numérique et régulation". 9 mars 2018. Paris, France.
- ▶ La géopolitique du cyberspace et de l'Internet : vers un monde plus (in)stable ?. 7e Congrès des associations francophones de science politique (COSPOF, Table-ronde). 16-19 mai 2017. Montréal (QC), Canada.
- ▶ Intricate Interactions between Civil Society and Internet Governance Scholarship. American University Working Symposium on "Research Methods in Internet Governance". 20 mars 2017. Washington DC, USA.

L'équipe a organisé également des congrès internationaux autour de la gouvernance de l'internet. Ci-après la liste des congrès majeurs :

- ▶ Co-organisation de la septième édition de la conférence GIG-ARTS - The European Multidisciplinary Conference on Global Internet Governance Actors, Regulations, Transactions and Strategies (mai 2023, Padoue)
- ▶ Co-organisation de la sixième édition de la conférence GIG-ARTS - The European Multidisciplinary Conference on Global Internet Governance Actors, Regulations, Transactions and Strategies (avril 2022, Nicosie)
- ▶ Co-organisation d'un panel à IPSA (International Political Science Association) 2021 World Congress, sur "Nationalism, Sovereignty and Norm Mutations in the Digital Age" (juillet 2021, en ligne).
- ▶ Co-organisation d'une table-ronde à CES (Council for European Studies) 202 Annual Convention, sur "Sustainability, Governance and Regulation of the Digital Transformation : Is the EU a Reference Model for the Global South ?" (juin 2020, Reykjavik, non tenue).
- ▶ Co-organisation de la quatrième édition de la conférence GIG-ARTS - The European Multidisciplinary Conference on Global Internet Governance Actors, Regulations, Transactions and Strategies (mai 2020, Vienne, non tenue)
- ▶ Organisation d'une table-ronde à ISA (International Studies Association) 2019 Annual Convention, sur "Global Internet Governance : The New Diplomatic Frontier ?" (mars 2019, Toronto).
- ▶ Organisation locale de la treizième édition du Symposium GigaNet - The Global Internet Governance Academic Network (novembre 2018, Paris)

### Référence 3. L'unité partage ses connaissances avec le grand public et intervient dans des débats de société.

Notre équipe est très présente dans les activités de médiation auprès d'un public divers : collégiens, étudiants, chercheurs ou publique large. Nos activités sont de diverse nature : nous accueillons régulièrement des collégiens sur une ou plusieurs semaines par an, nous nous intéressons également à la manière d'enseigner notre discipline notamment dans un contexte de crise comme celle du COVID, nous faisons régulièrement des interventions de presse. Ci-après une liste non exhaustive de nos activités.

**Accueil et formation de collégiens.** NPA a mis en place un accueil régulier de collégiens dans le cadre des stages d'observation. Nous avons accueilli 2 collégiens en 2020, 3 collégiens en 2021 (2 semaines), 7 collégiens (1 semaine). L'équipe a réalisé la présentation de la recherche en informatique au travers d'ateliers et rencontres avec le personnel du laboratoire et de l'université.

**Pédagogie de l'enseignement des réseaux.** Dans le contexte de la pandémie de Covid-19, l'équipe NPA a été à l'origine de plusieurs innovations pédagogiques. Ces innovations ont été conçues et développées à l'occasion des unités d'enseignement LU3IN033 (Réseaux) et MU4IN015 (Routage dans les réseaux) données respectivement dans la cadre de la Licence et du Master d'informatique offerts par Sorbonne Université. Les stratégies d'enseignement développées ont été conçues pour améliorer le processus d'apprentissage des étudiants. Ces stratégies sont le résultat de l'analyse approfondie des rapports collectés sur les plateformes de visioconférences et de gestion de l'apprentissage en ligne tels que Zoom et Moodle.

Les compétences acquises concernant l'utilisation des plateformes de gestion de l'apprentissage, tels que Moodle et Sakai, et des plateformes de visioconférence, tels que Polycom et Zoom ont donné lieu à des publications dans des conférences internationales, à la rédaction d'articles de vulgarisation et à des communications orales invitées. Ces travaux ont été menés en collaboration avec NYU (New York University).

Les notes mises à disposition des étudiants durant la période des enseignements en ligne ont été réunies dans un ouvrage de référence paru chez Ellipses Editions.

Cette activité a donné lieu à plusieurs invitations dans des institutions académiques ou des congrès internationaux :

- ▶ "An Analysis of Student Workflow in COVID-19 Times", Présentation invitée, The 16th Asian Internet Engineering Conference (ACM AINTEC'2021), dec. 2021, Online.
- ▶ "Networking Education During and After the Pandemic", Panelist, the Networking Channel, October 2021, Online.
- ▶ "A Cross-Analysis of Student Workflow in COVID-19", Grupo de Teleinformática e Automação Seminar, Federal University of Rio de Janeiro, August 2021, Online.
- ▶ "Online Teaching amid COVID-19 : The Case of Zoom", IEEE Educon 2021, April 2021.
- ▶ "Zoom & Moodle, une étude temporelle et comportementale", Les Impromptus de Capsule Sorbonne Université, December 2020, Online.
- ▶ "Zoom & Moodle, une étude temporelle et comportementale", Séminaire du LIM, Université de la Réunion, November 2020, Online.
- ▶ "What Is Zoom not telling you : Lessons learnt from an online course amid Covid-19", SIGCOMM Education Workshop, August 2020, Online.

**Médiation Scientifique.** Les chercheurs de notre équipe sont régulièrement invités à présenter leur activités de recherche face à un public hétérogène. Ci-après une liste non exhaustive d'événements de médiation auxquels les chercheurs de l'équipe ont participé sur la période :

- ▶ 75 ans de l'Informatique
- ▶ 10 ans de la SIF
- ▶ Collège de France
- ▶ Festivités Sorbonne Université : Europe de la Science et de la Culture
- ▶ Forum Horizon Europe MESR : Les universités européennes
- ▶ 6th French-Polish Forum for Research & Innovation : Coopération internationale
- ▶ France 3 - Journal, Présentation de 'Canarin', l'outil de détection de la pollution
- ▶ Madyness - Deeptech, au coeur des innovations de rupture

## 4 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES SIGNIFICATIVES DE NPA

- [Abdelfattah and Malouch, 2017] Abdelfattah, A. and Malouch, N. (2017). Modeling and Performance Analysis of Wi-Fi Networks Coexisting with LTE-U. In *IEEE International Conference on Computer Communications (INFOCOM 2017)*, Atlanta, GA, United States.
- [Abdelfattah et al., 2019] Abdelfattah, A., Malouch, N., and Ling, J. (2019). Analytical Evaluation and Potentials of Frame Based Equipment for LTE-LAA/Wi-Fi Coexistence. In *2019 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC)*, pages 1–7, Barcelona, Spain. IEEE.
- [Abuteir et al., 2018] Abuteir, R. M., Fladenmuller, A., and Fourmaux, O. (2018). Towards Centralized Management for Video Streaming Over Enterprise Wireless LANs. In *PIMRC 2018 - IEEE 29th Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, Bologna, Italy. IEEE.
- [Abuteir et al., 2017] Abuteir, R. M., Fladenmuller, A., Fourmaux, O., and Ammar, M. (2017). Variable-Threshold Buffer Based Adaptation for DASH Mobile Video Streaming. In *IWCMC 2017 - 13th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference*, Valencia, Spain. IEEE.
- [Amoussou-Guenou et al., 2020] Amoussou-Guenou, Y., Biais, B., Potop-Butucaru, M., and Tucci Piergiovanni, S. (2020). Rational vs byzantine players in consensus-based blockchains. In Seghrouchni, A. E. F., Sukthankar, G., An, B., and Yorke-Smith, N., editors, *Proceedings of the 19th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems, AAMAS '20, Auckland, New Zealand, May 9-13, 2020*, pages 43–51. International Foundation for Autonomous Agents and Multiagent Systems.
- [Anceaume et al., 2019a] Anceaume, E., del Pozzo, A., Ludinard, R., Potop-Butucaru, M., and Tucci-Piergiovanni, S. (2019a). Blockchain abstract data type. In *SPAA 2019 - 31st ACM Symposium on Parallelism in Algorithms and Architectures*, pages 349–358, Phoenix, Arizona, United States. ACM.
- [Balabonski et al., 2019c] Balabonski, T., Delga, A., Rieg, L., Tixeul, S., and Urbain, X. (2019c). Synchronous Gathering without Multiplicity Detection : a Certified Algorithm. *Theory of Computing Systems*, 63(2) :200–218.
- [Baron et al., 2018] Baron, B., Spathis, P., Dias de Amorim, M., Viniotis, Y., and Ammar, M. (2018). Mobility as an Alternative Communication Channel : A Survey. *Communications Surveys and Tutorials, IEEE Communications Society*, 21(1) :289–314.
- [Baron et al., 2017a] Baron, B., Spathis, P., Rivano, H., Dias de Amorim, M., Viniotis, Y., and Ammar, M. (2017a). Centrally-Controlled Mass Data Offloading Using Vehicular Traffic. *IEEE Transactions on Network and Service Management*, 14(2) :401–415.
- [Baynat et al., 2019] Baynat, B., Bu, G., and Potop-Butucaru, M. (2019). Markovian Model for Broadcast in Wireless Body Area Networks. In *The 17th ACM International Symposium on Mobility Management and Wireless Access (MobiWAC 2019)*, pages 63–70, Miami, United States. ACM.
- [Baynat et al., 2017] Baynat, B., Khalife, H., Conan, V., Lamy-Bergot, C., and Pouvez, R. (2017). On the Design of Automatic Link Establishment in High Frequency Networks. *International Journal of Networking and Computing (IJNC)*, 7(2) :419–446.
- [Begin et al., 2018] Begin, T., Baynat, B., Artero Gallardo, G., and Jardin, V. (2018). An accurate and efficient modeling framework for the performance evaluation of DPDK-based virtual switches. *IEEE Transactions on Network and Service Management*, 15(4) :1407–1421.
- [Belouanas et al., 2017] Belouanas, S. E., Bezahaf, M. M., Thai, K.-L., Spathis, P., and Dias de Amorim, M. (2017). Leveraging Node Gatherings to Save Cellular Resources. *Annals of Telecommunications - annales des télécommunications*.
- [Belouanas et al., 2019] Belouanas, S. E., Thai, K.-L., Spathis, P., and Dias de Amorim, M. (2019). Mobility-assisted offloading in centrally-coordinated cellular networks. *Journal of Network and Computer Applications (JNCA)*, 128 :1–10.
- [Bertier et al., 2019a] Bertier, C., Benbadis, F., Conan, V., and Dias de Amorim, M. (2019a). Computing Realistic and Adaptive Capacity of D2D Contacts. In *IEEE International Symposium on a World of Wireless, Mobile, and Multimedia Networks (WoWMoM)*, Washington DC, United States. IEEE.
- [Bertier et al., 2018a] Bertier, C., Benbadis, F., Dias de Amorim, M., and Conan, V. (2018a). Centrality Maps for Moving Nodes. In *COMPLEX NETWORKS 2018 - 7th International Conference on Complex Networks and Their Applications*, volume 812 of *Studies in Computational Intelligence*, pages 118–129, Cambridge, United Kingdom. Springer.

- [Bertier et al., 2019b] Bertier, C., Dias de Amorim, M., Benbadis, F., and Conan, V. (2019b). Modeling Realistic Bit Rates of D2D Communications between Android Devices. In *22nd ACM International Conference on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems (MSWiM 2019)*, pages 315–322, Miami Beach, United States. ACM.
- [Blin et al., 2021] Blin, L., Feuilloley, L., and Le Boudier, G. (2021). Optimal Space Lower Bound for Deterministic Self-Stabilizing Leader Election Algorithms. In *OPODIS 2021 - International Conference on Principles of Distributed Systems*, LIPIcs, Strasbourg, France.
- [Blin and Tixeuil, 2020] Blin, L. and Tixeuil, S. (2020). Compact self-stabilizing leader election for general networks. *Journal of Parallel and Distributed Computing*.
- [Bonomi et al., 2021a] Bonomi, S., Decouchant, J., Farina, G., Rahli, V., and Tixeuil, S. (2021a). Practical Byzantine Reliable Broadcast on Partially Connected Networks. In *2021 IEEE 41st International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS)*, pages 506–516, DC, United States. IEEE.
- [Bonomi et al., 2019b] Bonomi, S., Farina, G., and Tixeuil, S. (2019b). Multi-hop Byzantine reliable broadcast with honest dealer made practical. *Journal of the Brazilian Computer Society*, 25(1).
- [Bramas and Tixeuil, 2017c] Bramas, Q. and Tixeuil, S. (2017c). The Random Bit Complexity of Mobile Robot Scattering. *International Journal of Foundations of Computer Science*, 28(2) :111–133.
- [Chen et al., 2021] Chen, L., Giovanidis, A., Wang, W., and Shan, L. (2021). Sequential Resource Access : Theory and Algorithm. In *IEEE International Conference on Computer Communications (INFOCOM 2021)*, Vancouver (virtual), Canada.
- [Civit and Potop-Butucaru, 2022] Civit, P. and Potop-Butucaru, M. (2022). Dynamic probabilistic input output automata. In Scheideler, C., editor, *36th International Symposium on Distributed Computing, DISC 2022, October 25-27, 2022, Augusta, Georgia, USA*, volume 246 of *LIPIcs*, pages 15 :1–15 :18. Schloss Dagstuhl - Leibniz-Zentrum für Informatik.
- [Coriat et al., 2018] Coriat, F., Fladenmuller, A., and Arantes, L. (2018). Architecture de collecte pour la géolocalisation en situation de crise : évaluation comparative. In *CompPAS 2018 - Conférence d'informatique en Parallélisme, Architecture et Système*, Toulouse, France.
- [Courtieu et al., 2022] Courtieu, P., Rieg, L., Tixeuil, S., and Urbain, X. (2022). Swarms of Mobile Robots : Towards Versatility with Safety. *Leibniz Transactions on Embedded Systems*, 8(2) :02 :1–02 :36.
- [Cruz et al., 2020] Cruz, P., Couto, R., Maciel Kosmalski Costa, L. H., Fladenmuller, A., and Dias de Amorim, M. (2020). Per-Vehicle Coverage in a Bus-Based General-Purpose Sensor Network. *IEEE Wireless Communications Letters*, 9(7) :1019–1022.
- [Cruz Caminha et al., 2018] Cruz Caminha, P. H., de Souza Couto, R., Maciel Kosmalski Costa, L. H., Fladenmuller, A., and Dias de Amorim, M. (2018). On the Coverage of Bus-Based Mobile Sensing. *Sensors*, 18(6).
- [Cruz Caminha et al., 2020] Cruz Caminha, P. H., de Souza Couto, R., Maciel Kosmalski Costa, L. H., Fladenmuller, A., and Dias de Amorim, M. (2020). A Delay-Aware Coverage Metric for Bus-Based Sensor Networks. *Computer Communications*, 156 :192–200.
- [Devismes et al., 2021] Devismes, S., Lamani, A., Petit, F., Raymond, P., and Tixeuil, S. (2021). Terminating Exploration Of A Grid By An Optimal Number Of Asynchronous Oblivious Robots. *The Computer Journal*, 64(1) :132–154.
- [Dias et al., 2018] Dias, D. S., Maciel Kosmalski Costa, L. H., and Dias de Amorim, M. (2018). Data offloading capacity in a megalopolis using taxis and buses as data carriers. *Vehicular Communications*.
- [Elayoubi et al., 2017] Elayoubi, S. E., Khadraoui, Y., Baynat, B., and En-Najjary, T. (2017). Flow level performance evaluation in mobile networks : Analytical modeling and empirical validation. *Computer Communications*, 108 :27–35.
- [Faghieh et al., 2018] Faghieh, F., Bonakdarpour, B., Tixeuil, S., and Kulkarni, S. S. (2018). AUTOMATED SYNTHESIS OF DISTRIBUTED SELF-STABILIZING PROTOCOLS. *Logical Methods in Computer Science*, 14 :1 – 25.
- [Fittipaldi et al., 2022] Fittipaldi, P., Giovanidis, A., and Grosshans, F. (2022). A Linear Algebraic Framework for Quantum Internet Dynamic Scheduling. In *IEEE International Conference on Quantum Computing and Engineering (QCE22)*, Broomfield, CO, United States.
- [Fontes Rebello et al., 2022a] Fontes Rebello, G. A., Franco Camilo, G., Potop-Butucaru, M., Campista, M. E. M., Dias de Amorim, M., and Maciel Kosmalski Costa, L. H. (2022a). PCNsim : A Flexible and Modular Simulator for Payment Channel Networks. In *2022 IEEE INFOCOM*, London, United Kingdom. IEEE.

- [Fontes Rebello et al., 2022b] Fontes Rebello, G. A., Potop-Butucaru, M., Dias de Amorim, M., and Duarte, O. C. M. B. (2022b). Sécurisation des réseaux de canaux de paiement sans fil avec des fenêtres de temps de verrouillage réduites. In *CORES 2022 – 7ème Rencontres Francophones sur la Conception de Protocoles, l'Évaluation de Performance et l'Expérimentation des Réseaux de Communication*, Saint-Rémy-Lès-Chevreuse, France.
- [Fontes Rebello et al., 2022c] Fontes Rebello, G. A., Potop-Butucaru, M., Dias de Amorim, M., and Muniz Bandeira Duarte, O. C. (2022c). Securing Wireless Payment Channel Networks With Minimum Lock Time Windows. In *IEEE International Conference on Communications (ICC)*, pages 2297–2302, Seoul, South Korea. IEEE.
- [Giannakas et al., 2021a] Giannakas, T., Giovanidis, A., and Spyropoulos, T. (2021a). SOBA : Session optimal MDP-based network friendly recommendations. In *INFOCOM 2021*, Vancouver, Canada.
- [Giannakas et al., 2022] Giannakas, T., Giovanidis, A., and Spyropoulos, T. (2022). MDP-based Network Friendly Recommendations. *ACM Transactions on Modeling and Performance Evaluation of Computing Systems*.
- [Giovanidis et al., 2021] Giovanidis, A., Baynat, B., Magnien, C., and Vendeville, A. (2021). Ranking Online Social Users by their Influence. *IEEE/ACM Transactions on Networking*.
- [Giovanidis et al., 2019] Giovanidis, A., Baynat, B., and Vendeville, A. (2019). Performance Analysis of Online Social Platforms. In *IEEE International Conference on Computer Communications (INFOCOM) 2019*, PARIS, France. IEEE.
- [Gouel et al., 2021a] Gouel, M., Vermeulen, K., Fourmaux, O., Friedman, T., and Beverly, R. (2021a). IP Geolocation Database Stability and Implications for Network Research. In *Network Traffic Measurement and Analysis Conference*, Online, United States.
- [Gouel et al., 2021b] Gouel, M., Vermeulen, K., Fourmaux, O., Friedman, T., and Beverly, R. (2021b). Longitudinal Study of an IP Geolocation Database. Technical Report related to a paper appeared in Network Traffic Measurement and Analysis Conference (TMA 2021).
- [Gouel et al., 2022b] Gouel, M., Vermeulen, K., Mouchet, M., Rohrer, J., Fourmaux, O., and Friedman, T. (2022b). Zeph & Iris map the internet : A resilient reinforcement learning approach to distributed IP route tracing. *Computer Communication Review*, 52(1) :2–9.
- [Grassi et al., 2017] Grassi, G., Bahl, P., Jamieson, K., and Pau, G. (2017). ParkMaster : An in-vehicle, edge-based video analytics service for detecting open parking spaces in urban environments. In *ACM/IEEE Symposium on Edge Computing*, page 16, San Jose, CA, United States. ACM.
- [Heriban et al., 2018] Heriban, A., Défago, X., and Tixeuil, S. (2018). Optimally Gathering Two Robots. In *The 19th International Conference on Distributed Computing and Networking*, page 3, Varanasi, India. ACM Press.
- [Khizar et al., 2020a] Khizar, S., Dias de Amorim, M., and Conan, V. (2020a). Persistence of Vehicular-Augmented Mobile Edges. In *IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC)*, IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), London, United Kingdom.
- [Khizar et al., 2021a] Khizar, S., Dias de Amorim, M., and Conan, V. (2021a). Offloading computing tasks beyond the edge : A data-driven analysis. In *13th IFIP Wireless and Mobile Networking Conference*, Montreal (online), Canada.
- [Krolikowski et al., 2017] Krolikowski, J., Giovanidis, A., and Di Renzo, M. (2017). Fair distributed user-traffic association in cache equipped cellular networks. In *WIOPT'17 - 2nd Content Caching and Delivery in Wireless Networks Workshop (CCDWN 2017)*, Paris, France.
- [Krolikowski et al., 2018a] Krolikowski, J., Giovanidis, A., and Di Renzo, M. (2018a). A Decomposition Framework for Optimal Edge-Cache Leasing. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 1 :1 – 1.
- [Krolikowski et al., 2018b] Krolikowski, J., Giovanidis, A., and Di Renzo, M. (2018b). Optimal Cache Leasing from a Mobile Network Operator to a Content Provider. In *IEEE International Conference on Computer Communications (INFOCOM)*, Honolulu, United States.
- [Labraoui et al., 2017a] Labraoui, M., Boc, M., and Fladenmuller, A. (2017a). Opportunistic SDN-controlled wireless mesh network for mobile traffic offloading. In *2017 International Conference on Selected Topics in Mobile and Wireless Networking (MoWNeT)*, Avignon, France. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. 2017 International Conference on Selected Topics in Mobile and Wireless Networking, MoWNeT 2017 ; Conference Date : 17 May 2017 Through 19 May 2017 ; Conference Code :130902.
- [Labraoui et al., 2017b] Labraoui, M., Boc, M., and Fladenmuller, A. (2017b). Self-configuration mechanisms for SDN deployment in Wireless Mesh Networks. In *A World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoW-MoM)*, Macao, China.

- [Lagos Jenschke et al., 2022] Lagos Jenschke, T., Dias de Amorim, M., and Fdida, S. (2022). Quantifying Direct Link Establishment Delay Between Android Devices. In *2022 IEEE 47th Conference on Local Computer Networks (LCN)*, pages 214–219, Edmonton, AB, Canada. IEEE.
- [Lee et al., 2016] Lee, E.-K., Gerla, M., Pau, G., Lee, U., and Lim, J.-H. (2016). Internet of Vehicles : From intelligent grid to autonomous cars and vehicular fogs. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 12(9) :1550147716665500.
- [López-Dawn and Giovanidis, 2021] López-Dawn, R. J. and Giovanidis, A. (2021). Social Influencer Selection by Budgeted Portfolio Optimization. In *19th International Symposium on Modeling and Optimization in Mobile, Ad hoc, and Wireless Networks (WiOpt) 2021*, pages 1–8, Philadelphia, United States. IFIP.
- [López-Dawn and Giovanidis, 2022] López-Dawn, R. J. and Giovanidis, A. (2022). Optimal Influencer Marketing Campaign under Budget Constraints using Frank-Wolfe. *IEEE Transactions on Network Science and Engineering*.
- [Makarem et al., 2022a] Makarem, N., Bou Diab, W., Mougharbel, I., and Malouch, N. (2022a). A non-Hidden Markovian Modeling of the Reliability Scheme of the Constrained Application Protocol in Lossy Wireless Networks. In *MSWiM '22 : Int'l ACM Conference on Modeling Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems*, volume 25 of *MSWiM '22*, pages 147–156, Montreal, Quebec, Canada. Association for Computing Machinery.
- [Makarem et al., 2022b] Makarem, N., Bou Diab, W., Mougharbel, I., and Malouch, N. (2022b). On the design of efficient congestion control for the Constrained Application Protocol in IoT. *Computer Networks*, 207 :108824.
- [Medeiros et al., 2017b] Medeiros, D. S. V., Elias Mitre Campista, M., Mitton, N., Dias de Amorim, M., and Pujolle, G. (2017b). The Power of Quasi-Shortest Paths :  $\rho$ -Geodesic Betweenness Centrality. *IEEE Transactions on Network Science and Engineering*, 4(3) :187–200.
- [Nya Kamtchoum and Baynat, 2017] Nya Kamtchoum, N. and Baynat, B. (2017). Performance Model for 4G/5G Heterogeneous Networks with Different Classes of Users. In *MSWiM 2017 - 20th ACM International Conference on Modelling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems*, pages 171–178, Miami, United States. ACM.
- [Papanastasiou and Giovanidis, 2021] Papanastasiou, E. and Giovanidis, A. (2021). Bayesian Inference of a Social Graph with Trace Feasibility Guarantees. In *IEEE/ACM International Conference on Advances in Social Networks Analysis and Mining (ASONAM) 2021*, pages 317–324, The Hague (virtual), Netherlands. ACM.
- [Ragaleux et al., 2017] Ragaleux, A., Baey, S., and Karaca, M. (2017). Standard-compliant LTE-A Uplink Scheduling Scheme with Quality of Service. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*.
- [Ranaivo Rakotondravelona et al., 2017] Ranaivo Rakotondravelona, M. N., Baynat, B., Harivelo, F., and Anelli, P. (2017). Table-driven geographical routing using aggregate areas. In *2017 1st International Conference on Next Generation Computing Applications (NextComp)*, pages 41–46, Mauritius, Mauritius. IEEE.
- [Şenel et al., 2021a] Şenel, B. C., Mouchet, M., Cappos, J., Fourmaux, O., Friedman, T., and Mcgeer, R. (2021a). EdgeNet : A Multi-Tenant and Multi-Provider Edge Cloud. In *EdgeSys'21 - 4th International Workshop on Edge Systems, Analytics and Networking, workshop held in conjunction with the 16th ACM European Conference on Computer Systems (EuroSys 2021), Best Paper Award*, pages 49–54, Edinburgh, Scotland, United Kingdom. ACM.
- [Şenel et al., 2021b] Şenel, B. C., Mouchet, M., Cappos, J., Fourmaux, O., Friedman, T., and Mcgeer, R. (2021b). EdgeNet : the Global Kubernetes Cluster Testbed. In *IEEE INFOCOM International Workshop on Computer and Networking Experimental Research using Testbeds (CNERT), extended abstract, demo*, pages 1–2, Vancouver, Canada. IEEE.
- [Şenel et al., 2021c] Şenel, B. C., Mouchet, M., Cappos, J., Fourmaux, O., Friedman, T., and Mcgeer, R. (2021c). Shared internet-scale measurement platforms. In *NSF Workshop on Overcoming Measurement Barriers to Internet Research (WOMBIR 2021), extended abstract*, Online, United States.
- [Şenel et al., 2022] Şenel, B. C., Mouchet, M., Cappos, J., Friedman, T., Fourmaux, O., and Mcgeer, R. (2022). Federating EdgeNet with Fed4FIRE+ and Deploying its Nodes Behind NATs. In *SLICES Workshop at International Federation for Information Processing (IFIP) Networking 2022 Conference*, pages 1–5, Catania, Italy. IEEE.
- [Silva et al., 2021] Silva, V., Mota, V., Macedo, D., and Dias de Amorim, M. (2021). Joint Content-Mobility Priority Modeling for Cached Content Selection in D2D Networks. *Journal of Network and Systems Management*, 29(1) :1–37.
- [Su et al., 2017a] Su, Z., Baynat, B., and Begin, T. (2017a). A new model for DPDK-based virtual switches. In *IEEE Conference on Network Softwarization (IEEE NetSoft 2017)*, pages 1–5, Bologna, Italy.

- [Su et al., 2017b] Su, Z., Begin, T., and Baynat, B. (2017b). Towards including batch services in models for DPDK-based virtual switches. In *IEEE Global Information Infrastructure and Networking Symposium (GIIS 2017)*, pages 37–44, Saint Pierre, France.
- [Syed et al., 2022a] Syed, M. I., Fladenmuller, A., and Dias de Amorim, M. (2022a). Assessing the Completeness of Passive Wi-Fi Traffic Capture. In *2022 International Wireless Communications and Mobile Computing (IWCMC)*, pages 961–966, Dubrovnik, Croatia. IEEE.
- [Syed et al., 2022b] Syed, M. I., Fladenmuller, A., and Dias de Amorim, M. (2022b). How much can Sniffer Redundancy Improve Wi-Fi Traffic? In *IEEE 95th Vehicular Technology Conference : (VTC2022-Spring)*, pages 1–5, Helsinki, Finland. IEEE, IEEE.
- [Syed et al., 2022c] Syed, M. I., Fladenmuller, A., and Dias de Amorim, M. (2022c). Jusqu’où la redondance peut aider dans la capture passive de trafic Wi-Fi. In *CORES 2022 – 7ème Rencontres Francophones sur la Conception de Protocoles, l’Évaluation de Performance et l’Expérimentation des Réseaux de Communication*, Saint-Rémy-Lès-Chevreuse, France.
- [Syed et al., 2022e] Syed, M. I., Fladenmuller, A., and Dias de Amorim, M. (2022e). RSSI : Lost and Alone, a Case for Redundancy. In *2022 18th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob)*, pages 184–189, Thessaloniki, Greece. IEEE.
- [Vermeulen et al., 2018a] Vermeulen, K., Friedman, T., Fourmaux, O., Kisteleki, R., Homburg, P., Aben, E., and Strowes, S. D. (2018a). Adding Multipath Route Tracing to RIPE Atlas (Extended Abstract). In *AIMS 2018 : Workshop on Active Internet Measurements*, La Jolla, United States. Invited workshop presentation.
- [Vermeulen et al., 2020a] Vermeulen, K., Ljuma, B., Addanki, V., Gouel, M., Fourmaux, O., Friedman, T., and Rejaie, R. (2020a). Alias Resolution Based on ICMP Rate Limiting. In *PAM 2020 - 21st International Conference on Passive and Active Network Measurement*, volume 12048 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 231–248, Eugene, United States. Springer.
- [Vermeulen et al., 2019] Vermeulen, K., Ljuma, B., Fourmaux, O., Friedman, T., and McGeer, R. (2019). Internet measurements on EdgeNet. In *CNERT : Computer and Networking Experimental Research using Testbeds in conjunction with IEEE INFOCOM 2019*, Paris, France.
- [Vermeulen et al., 2020b] Vermeulen, K., Rohrer, J. P., Beverly, R., Fourmaux, O., and Friedman, T. (2020b). Diamond-Miner : Comprehensive Discovery of the Internet’s Topology Diamonds. In *USENIX Symposium on Networked Systems Design and Implementation (NSDI) 2020*, pages 479–493, Santa Clara, CA, United States. USENIX Association.
- [Vermeulen et al., 2018b] Vermeulen, K., Strowes, S. D., Fourmaux, O., and Friedman, T. (2018b). Multilevel MDA-Lite Paris Traceroute. In *IMC’18 - 2018 Internet Measurement Conference*, pages 29–42, Boston, United States. ACM.
- [Yang et al., 2021a] Yang, F., Ferlini, A., Aguiari, D., Pesavento, D., Tse, R., Banerjee, S., Xie, G., and Pau, G. (2021a). Revisiting WiFi offloading in the wild for V2I applications. *Computer Networks*, 202 :108634.
- [Zappalà et al., 2021] Zappalà, P., Belotti, M., Potop-Butucaru, M., and Secci, S. (2021). Game theoretical framework for analyzing blockchains robustness. In Gilbert, S., editor, *35th International Symposium on Distributed Computing, DISC 2021, October 4-8, 2021, Freiburg, Germany (Virtual Conference)*, volume 209 of *LIPICs*, pages 42 :1–42 :18. Schloss Dagstuhl - Leibniz-Zentrum für Informatik.

## A ANNEXE — MEMBRES PERMANENTS AU 31/12/2022

La table ci dessous liste les membres permanents de l'équipe NPA.

NOM	Prénom	Corps	Employeur
BAEY	Sébastien	MCF	Sorbonne Université
BAYNAT	Bruno	MCF	Sorbonne Université
BLIN	Lélia	MCF (HDR)	Université d'Évry-val-d'Essonne
FDIDA	Serge	PR	Sorbonne Université
FLADENMULLER	Anne	PR	Sorbonne Université
FOSSATI	Francesca	MCF	Sorbonne Université
FOURMAUX	Olivier	MCF (HDR)	Sorbonne Université
FRIEDMAN	Timur	MCF	Sorbonne Université
GIOVANIDIS	Anastasios	CR (HDR)	CNRS
MALOUCH	Naceur	MCF (HDR)	Sorbonne Université
MESPOULHES	Émilie	IE (CDI)	Sorbonne Université
POTOP-BUTUCARU	Maria	PR	Sorbonne Université
SPATHIS	Prométhée	MCF (HDR)	Sorbonne Université
THAI	Kim Loan	MCF	Sorbonne Université
TIXEUIL	Sébastien	PR	Sorbonne Université
VAISSADE	Frédéric	IR (CDI)	Sorbonne Université

## ÉLÉMENT DE PORTFOLIO 01



# Instrument de recherche

## 1 DÉFINITION DE CET ÉLÉMENT

**Titre de l'élément :** SLICES, un grand instrument scientifique européen

**URL de l'élément :** <https://slices-ri.eu>

## 2 MOTIVATIONS DU CHOIX DE CET ÉLÉMENT

Première mondiale : SLICES, le premier "téléscope" international pour soutenir la recherche expérimentale dans le domaine des infrastructures numériques.

## 3 PRÉSENTATION DE CET ÉLÉMENT

Une science est définie par un ensemble de connaissances encyclopédiques liées à des faits ou à des phénomènes suivant des lois ou attestées par des observations expérimentales. L'informatique et en particulier les infrastructures constitue un domaine scientifique mûrissant au fil des ans et adoptant les meilleures pratiques héritées de disciplines plus fondamentales. Nous œuvrons pour que la recherche dans ce domaine (réseaux radio, cloud, réseaux, algorithmes distribués, IoT, etc.) adopte une méthodologie plus rigoureuse, soutenue par des instruments appropriés, pour produire des résultats expérimentaux crédibles soutenant des innovations radicales et incrémentales.

Jusqu'à présent, les plates-formes de test d'infrastructures numériques ont tenté de satisfaire une variété de demandes issues de ces communautés de recherche. Cependant, très peu a été fait pour couvrir l'ensemble du cycle de vie de la recherche, en particulier pour le partage des données (FAIR) et la reproductibilité des expériences.

Ce domaine a beaucoup évolué au cours des dernières décennies. La première phase des plateformes de test peut être illustrée par des installations telles que PlanetLab<sup>1</sup> et Orbit<sup>2</sup>. En 2005, Serge Fdida (SU) et Larry Peterson (Princeton) ont introduit le concept de fédération de plates-formes de test qui a été appliqué à PlanetLab avec le déploiement de PlanetLab Europe en 2007 [2]. Depuis, ce concept s'est beaucoup développé [14], [3]. Par ailleurs, le succès d'Orbit [13] est dû au fait qu'il a répondu au besoin d'environnements réalistes pour tester des protocoles de réseaux radio devenus omniprésents. La deuxième phase de plateformes de test a été initiée en 2007 avec l'ambition des initiatives NSF GENI [5] (120M\$ 2008/2016-) et EU FIRE [10] (200M€ 2007/2022-). L'approche de GENI visait à concevoir une plate-forme de test nationale, composée de nœuds GENI que les expérimentateurs pouvaient programmer. En Europe, l'ambition était de fédérer des plates-formes munies de ressources très hétérogènes qu'il était dès lors possible d'assembler pour exécuter une expérience. Les deux initiatives ont été bien articulées et ont produit SFA [4], l'architecture de fédération, proposant une solution pratique pour fédérer les installations gérées par des autorités indépendantes.

La troisième phase s'est poursuivie plus récemment avec des initiatives telles que NSF PAWR aux États-Unis [7], CENI en Chine et ICT 17/19/52 en Europe [8, 9, 11]. Elles se sont développées en parallèle avec un effort limité en termes de coopération. La nouveauté vient de deux nouveaux types d'acteurs. Les hyperscalers (GAFA, BATX) développent leurs propres installations (expérimentales ou de production), ce qui présente un risque vis-à-vis de la concurrence avec la recherche académique car ces plateformes privées ne sont pas ouvertes, ni les données qu'elles utilisent pour produire leurs résultats. Deuxièmement, d'autres initiatives ont vu le jour, soutenues par la communauté open-source, telles que ONAP [1], ORAN [6], OpenAirInterface [12] permettant de nouvelles et uniques opportunités de déploiement entièrement programmables et virtualisés d'infrastructures de réseau.

1. PlanetLab, <https://planetlab.cs.princeton.edu/>

2. Open-Access Research Testbed for Next-Generation Wireless Networks (ORBIT), <https://www.orbit-lab.org/>

Cette validation expérimentale constitue la pierre angulaire de toute méthodologie scientifique solide. Cependant, aucune des initiatives mentionnées ci-avant n'est pérenne, ni ne couvre l'ensemble du cycle de vie de la recherche. Ce sont ses limitations qui ont conduit notre communauté scientifique coordonnée par Serge Fdida, à changer de narratif et à proposer SLICES comme l'aboutissement de plusieurs années d'évolution du concept d'une plateforme de test en réseau transformée en un instrument scientifique. Un tel instrument ne peut être pensé qu'à l'échelle d'un continent. Or, en Europe, le financement de tels objets est possible dans le cadre du pilier 1 (Excellence scientifique) du programme Horizon Europe, et se dénomme ESFRI ((European Strategy Forum on Research Infrastructures). Il était regrettable de constater qu'aucun instrument scientifique dédié aux sciences du numérique n'avait jusqu'à présent été inscrit sur la feuille de route européenne ESFRI. Pour pouvoir candidater dans ce cadre prestigieux et hautement sélectif il a fallu questionner notre communauté sur les questions scientifiques critiques, de développer une vision de la feuille de route technologique, de comprendre les obstacles à venir afin de concevoir, mettre en œuvre et exploiter une telle infrastructure de recherche distribuée, ainsi qu'un modèle de gouvernance convaincant.

Nous sommes fiers d'avoir été sélectionnés dans la feuille de route 2021 de l'ESFRI. C'est une reconnaissance forte pour notre communauté, étant la première IR dédiée à soutenir la recherche en sciences du numérique et en particulier des infrastructures numériques.

SLICES est organisée autour de l'ensemble des communautés scientifiques du domaine, en particulier du réseau, du système et des algorithmes distribués. Il fait l'objet d'une stratégie conjointe entre l'Europe et 15 états membres (SLICES a reçu le soutien au niveau politique de 12 états membres). Il associe une centaine d'organisations, essentiellement universités et organismes de recherche. Il bénéficie d'un financement déjà substantiel. En France, il a permis de motiver le financement du nœud français de SLICES au travers des PEPR 5G et Cloud.

Notons que SLICES illustre la capacité de leadership de la France dans ce domaine, et en particulier de la recherche universitaire. C'est un énorme défi car ce type d'instrument scientifique n'a jamais été réalisé auparavant. C'est aussi une première mondiale et une grande responsabilité.

## 4 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Linux Foundation, ONAP – Open Network Automation Platform. [Online], <http://onap.org/>.
- [2] Panayotis Antoniadis, Serge Fdida, Timur Friedman, and Misra Mishal. OneLab : An open federated facility for experimentally driven future internet research. In *Proceedings of Conext 2010*, pages 1–12. Springer, 2010.
- [3] Panayotis Antoniadis, Serge Fdida, Timur Friedman, and Vishal Misra. Federation of virtualized infrastructures : Sharing the value of diversity. In *Proceedings of the 6th International CONference, Co-NEXT '10*, New York, NY, USA, 2010. Association for Computing Machinery.
- [4] Jordan Auge, Thierry Parmentelat, Nicolas Turro, Sandrine Avakian, Loïc Baron, Mohamed Amine Larabi, Mohammed Yasin Rahman, Timur Friedman, and Serge Fdida. Tools to foster a global federation of testbeds. *Computer Networks*, 63 :205–220, 2014.
- [5] Chip Elliott. GENI-global environment for network innovations. In *LCN*, page 8, 2008.
- [6] Liljana Gavrilovska, Valentin Rakovic, and Daniel Denkovski. From Cloud RAN to Open RAN. *Wireless Personal Communications*, pages 1–17, 2020.
- [7] Abhimanyu Gosain. Platforms for Advanced Wireless Research : Helping Define a New Edge Computing Paradigm. In *Proceedings of the 2018 on Technologies for the Wireless Edge Workshop*, pages 33–33, 2018.
- [8] Costas Kalogiros, George Zois, George Darzanos, Hanne Kristine Hallingby, Håkon Lønsethagen, Maria Barros Weiss, and Anastasius Gavras. The potential of 5G experimentation-as-a-service paradigm for operators and vertical industries : The case of 5G-VINNI facility. In *2019 IEEE 2nd 5G World Forum (5GWF)*, pages 347–352. IEEE, 2019.
- [9] Harilaos Koumaras, Dimitris Tsolkas, Georgios Gardikis, Pedro Merino Gomez, Valerio Frascolla, Dionysia Triantafyllopoulou, Marc Emmelmann, Vaios Koumaras, Maria L Garcia Osma, Daniele Munaretto, et al. 5GENESIS : The Genesis of a flexible 5G Facility. In *2018 IEEE 23rd International Workshop on Computer Aided Modeling and Design of Communication Links and Networks (CAMAD)*, pages 1–6. IEEE, 2018.
- [10] Max Lemke. The European FIRE Future Internet Research and Experimentation Initiative. In *2009 5th International Conference on Testbeds and Research Infrastructures for the Development of Networks Communities and Workshops*, pages 2–3, 2009.
- [11] Fabrizio Moggio, Mauro Boldi, Silvia Canale, Vincenzo Suraci, Claudio Casetti, Giacomo Bernini, Giada Landi, and Paolo Giaccone. 5G EVE a European platform for 5G Application deployment. In *Proceedings of the 14th*

*International Workshop on Wireless Network Testbeds, Experimental Evaluation & Characterization*, pages 124–125, 2020.

- [12] Navid Nikaein, Mahesh K Marina, Saravana Manickam, Alex Dawson, Raymond Knopp, and Christian Bonnet. OpenAirInterface : A flexible platform for 5G research. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 44(5) :33–38, 2014.
- [13] Dipankar Raychaudhuri, Ivan Seskar, Max Ott, Sachin Ganu, Kishore Ramachandran, Haris Kremo, Robert Siracusa, Hang Liu, and Manpreet Singh. Overview of the ORBIT radio grid testbed for evaluation of next-generation wireless network protocols. In *IEEE Wireless Communications and Networking Conference, 2005*, volume 3, pages 1664–1669. IEEE, 2005.
- [14] Tim Wauters, Brecht Vermeulen, Wim Vandenberghe, Piet Demeester, Steve Taylor, Loïc Baron, Mikhail Smirnov, Yahya Al-Hazmi, Alexander Willner, Mark Sawyer, et al. Federation of internet experimentation facilities : architecture and implementation. In *European Conference on Networks and Communications (EuCNC 2014)*, 2014.

## ÉLÉMENT DE PORTFOLIO 02



# Création d'entreprise

## 1 DÉFINITION DE CET ÉLÉMENT

**Titre de l'élément :** Start-up Hopcast

**URL de l'élément :** <https://hopcast.eu>

## 2 MOTIVATIONS DU CHOIX DE CET ÉLÉMENT

La start-up Hopcast est l'aboutissement d'une collaboration de plus de vingt ans entre le LIP6 et Thales.

## 3 PRÉSENTATION DE CET ÉLÉMENT

La société Hopcast a été créée en 2022 pour explorer des résultats issus de la collaboration entre le LIP6 et Thales depuis la création du laboratoire commun EuronetLab en 2001. Les fondateurs, Farid Benbadis (Thales), Marcelo Dias de Amorim (LIP6) et Serge Fdida (LIP6), travaillent ensemble depuis lors, que ce soit par le co-encadrement de thèses CIFRE ou par la participation à des consortiums ANR (projets Crowd, SVP et Airtel) et Européens (projets MOTO et OneLab) [3, 4], [2], [5]. Des dizaines d'articles scientifiques ont été co-signés et publiés dans des conférences et journaux majeurs.

Les premières idées qui ont jeté les bases de l'architecture Hopcast sont issues de travaux expérimentaux que nous avons menés conjointement dans le cadre du projet Européen FP7 MOTO (*Mobile Opportunistic Traffic Offloading*). Ce projet était coordonné par Thales et a reçu le prix Étoiles de l'Europe du MESRI en 2016, mention innovation. *Nos travaux dans le projet MOTO ont démontré qu'une stratégie de délestage de trafic totalement décentralisée n'était pas viable et que seule une approche orchestrée comme celle proposée par Hopcast pourrait garantir le passage à l'échelle et répondre aux problématiques du marché.* De ce constat est né le brevet de base sur lequel se repose Hopcast [1]. L'ambition est de faire d'Hopcast un acteur incontournable de l'Internet mobile de demain qui, nous en sommes convaincus, ne pourra pas se passer des communications directes entre dispositifs, tout en mariant efficacité et respect de l'environnement.

Hopcast se présente comme un réseau de distribution de contenus au-delà de la bordure, inclusif, à moindre coût et écologique. La technologie proposée par Hopcast permet aux terminaux mobiles (généralement téléphones mobiles du type *smartphones*) d'échanger du contenu (photo, vidéo, audio, ou tout type de fichier) via des communications directes (appelées D2D pour *device-to-device*). Les communications directes sont possibles grâce à des liens établis directement entre terminaux mobiles, sans aucun équipement intermédiaire, par exemple en utilisant des technologies comme le Wi-Fi Direct et le Bluetooth. Ces technologies sont disponibles dans les terminaux du marché et prêtes à être exploitées.

L'utilisation du service Hopcast permet de :

- ▶ Éviter d'accéder à Internet pour récupérer ce contenu et réduire ainsi les frais inhérents à cet accès, notamment lorsque l'utilisateur se connecte par le biais d'un réseau cellulaire.
- ▶ Réduire la charge sur les serveurs et diminuer ainsi les coûts de fonctionnement.
- ▶ Assurer la confidentialité des données en évitant qu'elles ne passent par des serveurs.
- ▶ Utiliser des chemins de communication plus courts et donc moins énergivores et réduire l'impact énergétique de la consommation de contenu numérique.

Hopcast *orchestre* les échanges en mettant en relation les terminaux au bon moment et uniquement s'ils ont des contenus à échanger, tout en indiquant quels contenus doivent être envoyés lorsqu'un lien de communication direct est établi. Ce service proposé par Hopcast permettra une bien meilleure efficacité de l'utilisation des communications directes que celle obtenue en proposant des échanges complètement décentralisés.

## 4 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Farid Benbadis, Marcelo Dias de Amorim, Vania Conan, and Serge Fdida. Procédé et Système d'Échange de Données, June 2018.
- [2] Clément Bertier, Farid Benbadis, Vania Conan, and Marcelo Dias de Amorim. Computing Realistic and Adaptive Capacity of D2D Contacts. In *IEEE International Symposium on a World of Wireless, Mobile, and Multimedia Networks (WoWMoM)*, Washington DC, United States, June 2019. IEEE.
- [3] Clément Bertier, Marcelo Dias de Amorim, Farid Benbadis, and Vania Conan. Modeling Realistic Bit Rates of D2D Communications between Android Devices. In *22nd ACM International Conference on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems (MSWiM 2019)*, pages 315–322, Miami Beach, United States, November 2019. ACM.
- [4] Sadia Khizar, Marcelo Dias de Amorim, and Vania Conan. Persistence of Vehicular-Augmented Mobile Edges. In *IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC)*, IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), London, United Kingdom, August 2020.
- [5] Filippo Rebecchi, Marcelo Dias de Amorim, and Vania Conan. Circumventing plateaux in cellular data offloading using adaptive content reinjection. *Computer Networks*, 106 :49–63, September 2016.

## ÉLÉMENT DE PORTFOLIO 03



### Distinction

#### 1 DÉFINITION DE CET ÉLÉMENT

**Titre de l'élément :** Nomination à l'Institut Universitaire de France (IUF) de Sébastien Tixeuil en tant que membre Senior (promotion 2022)

**URL de l'élément :** <https://www.iufrance.fr/les-membres-de-liuf/membre/1308-sebastien-tixeuil.html>

#### 2 MOTIVATIONS DU CHOIX DE CET ÉLÉMENT

Sébastien Tixeuil travaille depuis son arrivée au LIP6 à contrecarrer les fautes et attaques pouvant survenir dans des réseaux de tous types, avec des méthodes variées.

Déjà lauréat en 2010 dans la catégorie Junior, cette nouvelle distinction vient récompenser une activité de recherche continue et reconnue, comme l'attestent les nombreuses collaborations souvent internationales, les partenariats industriels, les participations aux projets nationaux et internationaux, et une implication importante dans la communauté scientifique internationale.

Cette nomination participe au rayonnement de l'équipe, et plus globalement du laboratoire.

#### 3 PRÉSENTATION DE CET ÉLÉMENT

Les activités de l'équipe en tolérance aux pannes et aux attaques dans les réseaux sont décrites dans le document principal de l'équipe. Pour la nomination, nous renvoyons le lecteur vers l'interview de Sébastien Tixeuil par le CNRS<sup>1</sup>

---

1. <https://www.ins2i.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/sebastien-tixeuil-pour-contrer-les-plus-puissantes-attaques-informatiques>

## ÉLÉMENT DE PORTFOLIO 04



### Distinction

## 1 DÉFINITION DE CET ÉLÉMENT

**Titre de l'élément :** ACM SIGCOMM IMC 2022 Test of Time Award

**URL de l'élément :** <https://www.sigcomm.org/awards/IMC-test-of-time-award>

## 2 MOTIVATIONS DU CHOIX DE CET ÉLÉMENT

Une distinction accordée par la plus prestigieuse conférence en métrologie de réseaux pour nos travaux dans le domaine de traçage des routes empruntés par des paquets de données qui traversent l'Internet. Elle porte sur la pertinence aujourd'hui de ce papier qui a été cité plus de 500 fois depuis qu'il a apparu en 2006. Elle témoigne de la reconnaissance de la communauté scientifique de notre positionnement en tant que leader dans le domaine de la métrologie de l'Internet.

## 3 PRÉSENTATION DE CET ÉLÉMENT

L'outil Traceroute a été créé en décembre 1988 par Van Jacobson des Lawrence Berkeley Labs pour répondre à la question qu'il avait posée sur la liste mail end2end-interest dédiée à la toute nouvelle NSFNet : « where the !?\*! are the packets going ? » L'Internet n'a pas été conçu pour avoir des chemins réservés de bout en bout du réseau entre émetteur et récepteur de paquets, le chemin emprunté étant le résultat des choix locaux à chaque routeur intermédiaire.

À l'époque il n'existait pas d'outil pour révéler ce chemin, ce qui posait un problème de taille pour déboguer des dysfonctionnements du système de routage. Jacobson a alors construit l'outil Traceroute en se basant sur une astuce : l'Internet possède une fonctionnalité qui oblige à un routeur qui doit se débarrasser d'un paquet resté trop longtemps dans le réseau à signaler ce fait à l'émetteur du paquet. En restreignant artificiellement la valeur du champ TTL (« time to live »), dans l'entête d'un paquet, un émetteur peut faire en sorte que le paquet semble être périmé quand il arrive à un routeur et ainsi provoquer un signalement de la part de ce routeur. Un TTL à 1 provoque une réponse de la part du premier routeur sur un chemin, un TTL de 2 du deuxième et ainsi de suite. Depuis, Traceroute est intégré dans la quasi-totalité des systèmes d'exploitation d'ordinateurs (Linux, Windows, macOS, etc.) et représentait depuis plusieurs années l'état de l'art pour découvrir des chemins au niveau des routeurs individuels.

Les équipes NPA et Complex au LIP6 sont à l'origine du plus grand changement dans Traceroute depuis sa conception. En 1988, entre un émetteur et un récepteur dans l'Internet, il existait à chaque moment un seul chemin emprunté par les paquets. Avec l'essor de l'Internet, les opérateurs commerciaux ont changé cette pratique. Pour assurer la fiabilité de leurs réseaux, ils ont commencé à déployer plusieurs liens de communication en parallèle ; si l'un tombe en panne, les données basculent rapidement sur les autres avec un minimum de pertes. Mais un résultat malchanceux de cette nouvelle architecture multi-chemins a été de fausser les résultats de Traceroute. L'outil indiquait la présence de chemins irréalistes, composés d'un bout sur un des chemins parallèles puis un bout sur un autre, suivant des liens qui n'existent pas entre les deux. En 2006, nous avons décelé cette faille et nous sommes arrivés à la corriger avec l'outil Paris Traceroute. C'est la publication [1] qui a reçu la distinction « Test of Time Award » de l'ACM SIGCOMM Internet Measurement Conference (IMC).

Nous restons les leaders dans ce domaine, où nous continuons à innover. Tandis que Paris Traceroute mesure les chemins possibles entre un émetteur et un destinataire d'un paquet, des systèmes de cartographie de l'Internet au niveau IP doivent tracer des chemins vers des millions de destinations. L'état de l'art pour ce genre de système est Archipelago, appelé également Ark, opéré par le centre CAIDA de l'University of California San Diego. Archipelago est, de notre point de vue, assez lent, prenant à l'ordre d'un jour pour obtenir une cartographie complète. Avec cette fréquence de sondage, il est impossible de suivre les évolutions rapides des routes, par exemple lors d'un incident cyber-sécuritaire dans l'Internet qui se déroule à l'échelle de minutes. Nous nous sommes alors tournés

vers un système révolutionnaire de sondage rapide appelé Yarrp, qui sonde tout l'Internet dans un temps de l'ordre d'une heure. Mais Yarrp trace des routes mono-chemins. Il utilise la technique de Paris Traceroute pour éviter de produire des traces chimères entre chemins parallèles, mais il fait état de seulement un de ces chemins et produit alors une cartographie incomplète.

Notre équipe s'est alliée avec l'auteur de Yarrp pour produire un nouvel outil multi-chemin, Diamond-Miner [3], publié dans les actes de la prestigieuse conférence USENIX NSDI, et permet ainsi d'obtenir une cartographie à la fois rapide et complète. Notre système Iris [2], qui utilise Diamond-Miner, remplace désormais Archipelago en tant que l'état de l'art. Il obtient une cartographie dans un temps à l'ordre d'heures et cette cartographie contient un plus grand nombre d'adresses IP répertoriées et un plus grand nombre de liens observés entre ces adresses. Nous travaillons actuellement, avec le financement « Cartographie de l'Internet » du Ministère des Armées, à augmenter la fréquence de sondage de Diamond-Miner pour atteindre une fréquence à l'ordre de minutes.

## 4 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Brice Augustin, Xavier Cuvellier, Benjamin Orgogozo, Fabien Viger, Timur Friedman, Matthieu Latapy, Clémence Magnien, and Renata Teixeira. Avoiding traceroute anomalies with Paris traceroute. In *IMC 2006 - 6th ACM Internet Measurement Conference*, pages 153–158, Rio de Janeiro, Brazil, October 2006. ACM.
- [2] Matthieu Gouel, Kevin Vermeulen, Maxime Mouchet, Justin Rohrer, Olivier Fourmaux, and Timur Friedman. Zeph & Iris cartographient l'internet. In *CORES 2022 – 7ème Rencontres Francophones sur la Conception de Protocoles, l'Évaluation de Performance et l'Expérimentation des Réseaux de Communication*, Saint-Rémy-Lès-Chevreuse, France, May 2022.
- [3] Kevin Vermeulen, Justin P Rohrer, Robert Beverly, Olivier Fourmaux, and Timur Friedman. Diamond-Miner : Comprehensive Discovery of the Internet's Topology Diamonds. In *USENIX Symposium on Networked Systems Design and Implementation (NSDI) 2020*, pages 479–493, Santa Clara, CA, United States, February 2020. USENIX Association.

## ÉLÉMENT DE PORTFOLIO 05



# Publication

## 1 DÉFINITION DE CET ÉLÉMENT

**Titre de l'élément :** Ranking Online Social Users by Their Influence <sup>1</sup>.

**URL de l'élément :** <https://arxiv.org/abs/2107.01914>

## 2 MOTIVATIONS DU CHOIX DE CET ÉLÉMENT

Ceci est un article publié dans la revue renommée et très sélective IEEE/ACM Trans. on Networking en 2021 [3]. L'article est co-écrit par des membres des deux équipes du LIP6, l'équipe NPA et l'équipe ComplexNetworks, et c'est un article avec un sujet interdisciplinaire. Il utilise l'évaluation des performances des réseaux de télécommunications pour modéliser les plateformes sociales, qui ont une structure de graphe. L'article est accompagné de code sur GitHub. Ceci est une version longue d'un article publié lors de la conférence A-rank INFOCOM en 2019 [4]. La publication a permis le financement d'un projet ANR JCJC (porteur A. Giovanidis - NPA), ainsi que la publication de plusieurs extensions, par exemple pour le choix optimale des influenceurs [2]. Parmi les résultats, l'article présente une nouvelle métrique qui généralise le PageRank comme métrique d'influence, prenant également en compte l'activité des utilisateurs.

## 3 PRÉSENTATION DE CET ÉLÉMENT

L'article introduit un modèle mathématique original pour analyser la diffusion des messages au sein d'une plateforme sociale en ligne générique. La principale nouveauté est que chaque utilisateur n'est pas simplement considéré comme un noeud sur le graphe social, mais est en outre équipé de son propre mur et fil d'actualité, et a sa propre activité individuelle de publication et de partage.

Comme résultat principal à l'aide de notre modèle développé, nous calculons les probabilités que les messages provenant d'un utilisateur donné se trouvent sur le mur et le fil d'actualité de n'importe quel autre. Ce sont la solution d'un système linéaire d'équations, qu'on peut résoudre de manière itérative. En fait, notre modèle est très flexible par rapport aux hypothèses de modélisation. En utilisant les probabilités dérivées de la solution, nous définissons une nouvelle mesure de l'influence par utilisateur sur l'ensemble du réseau, le  $\Psi$ -score, qui combine la position de l'utilisateur sur le graphique avec l'activité de (re-)publication de l'utilisateur.

Dans le cas homogène où tous les utilisateurs ont les memes taux d'activité, on montre qu'une variante du  $\Psi$ -score est égale au PageRank. De plus, nous comparons le nouveau modèle et son  $\Psi$ -score à l'influence empirique mesurée à partir de très grandes traces de données (Twitter, Weibo). Les résultats montrent que ces nouveaux outils peuvent classer avec précision les influenceurs avec une activité de (re-)publication asymétrique pour de telles applications du monde réel.

### 3.1 Extensions

Les équations d'équilibre de nouveau modèle peuvent être adaptées pour décrire la propagation des opinions dans les réseaux sociaux, et ils sont appliqués à un exemple de cas de l'arène politique, en utilisant les Tweets des élections présidentielles de 2017 en France [5]. En utilisant ce cadre, un problème d'optimisation peut être formulé qui génère des recommandations optimales afin d'atténuer le grave problème des chambres d'écho dans les plateformes sociales.

La métrique d'influence proposée, appelée *Psi*-score permet d'aller au-delà des métriques de centralité traditionnelles, qui évaluent uniquement l'importance du graphe structurel, en incorporant davantage les informations riches fournies par l'activité de publication et de partage des utilisateurs. Malgré son importance, la version algorithmique présentée dans le journal s'adapte mal aux grands ensembles de données ; pour un réseau d'utilisateurs

1. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9448303>

il nécessite de résoudre des systèmes linéaires d'équations de taille  $N$ . Pour résoudre ce problème, un nouveau article [1] introduit un nouvel algorithme itératif pour l'approximation rapide de  $\Psi$ -score, nommé Power- $\Psi$ . L'algorithme proposé est basé sur une nouvelle équation indiquant qu'il suffit de résoudre un système d'équations de taille  $N$  pour calculer le  $\Psi$ -score. Ensuite, notre algorithme exploite le fait qu'un tel système peut être approximé de manière récursive et distribuée à toute erreur souhaitée. Cela permet au  $\Psi$ -score, résumant à la fois les informations structurelles et comportementales des noeuds, de s'exécuter aussi rapidement que le PageRank. L'efficacité de la métrique et de l'algorithme proposé est validée sur plusieurs ensembles de données du monde réel.

Le projet psi-score est une bibliothèque logicielle que nous avons développée en Python. Il est open source et sous licence termes de la licence MIT, permettant une utilisation gratuite. Ce package est un outil pratique permettant à la communauté de utiliser la métrique  $\Psi$ -score dans les projets Network Science sans la nécessité de développer chaque algorithme individuellement. Les deux méthodes mentionnées dans cet ouvrage sont accessibles. Inspiré de scikit-network et scikit-learn, le projet a une interface de programmation d'application (API) similaire afin d'être facile à utiliser. <https://github.com/NouamaneA/psi-score>

## 4 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Nouamane Arhachoui, Esteban Bautista, Maximilien Danisch, and Anastasios Giovanidis. A fast algorithm for ranking users by their influence in online social platforms. *The 2023 IEEE/ACM International Conference on Advances in Social Networks Analysis and Mining*, 2022.
- [2] Ricardo José López Dawn and Anastasios Giovanidis. Optimal influencer marketing campaign under budget constraints using frank-wolfe. *IEEE Trans. Netw. Sci. Eng.*, 10(2) :1015–1031, 2023.
- [3] Anastasios Giovanidis, Bruno Baynat, Clémence Magnien, and Antoine Vendeville. Ranking online social users by their influence. *IEEE/ACM Trans. Netw.*, 29(5) :2198–2214, 2021.
- [4] Anastasios Giovanidis, Bruno Baynat, and Antoine Vendeville. Performance analysis of online social platforms. In *2019 IEEE Conference on Computer Communications, INFOCOM 2019, Paris, France, April 29 - May 2, 2019*, pages 2413–2421. IEEE, 2019.
- [5] Antoine Vendeville, Anastasios Giovanidis, Effrosyni Papanastasiou, and Benjamin Guedj. Opening up echo chambers via optimal content recommendation. *Complex Networks and Their Applications*, 2022.

## ÉLÉMENT DE PORTFOLIO 06



# Publication

## 1 DÉFINITION DE CET ÉLÉMENT

**Titre de l'élément :** Modélisation et analyse des performances de la cohabitation entre les réseaux Wi-Fi et LTE-U.

**URL de l'élément :** <https://hal.sorbonne-universite.fr/hal-01526206/>

## 2 MOTIVATIONS DU CHOIX DE CET ÉLÉMENT

Il s'agit d'une publication à la prestigieuse conférence internationale très sélective IEEE INFOCOM. Ce travail a permis une collaboration avec Nokia Bell Labs aux Etats-Unis (entre 2017 et 2019). L'article est un précurseur dans le domaine et il a plus de 30 citations.

## 3 PRÉSENTATION DE CET ÉLÉMENT

Les opérateurs mobiles poursuivent l'augmentation de la capacité de leurs réseaux cellulaires pour faire face aux défis de la croissance des données mobiles. Les performances des nouvelles technologies (LTE, LTE-A, etc.) sont de plus en plus proches de la limite de Shannon en termes d'efficacité du spectre. Les opérateurs mobiles s'orientent vers l'extension du fonctionnement du LTE dans le spectre sans licence (LTE-U), principalement dans la Bande 5 GHz en raison de sa large disponibilité de spectre.

Cependant, l'extension exige non seulement que LTE partage le spectre avec d'autres systèmes comme le Wi-Fi, mais il faut aussi partager le spectre de manière équitable ce qui ne fait pas partie de sa conception d'origine. En effet, le LTE fonctionne généralement dans un spectre sous licence où le spectre est exclusivement réservé à son exploitation. C'est précisément là que le défi se présente. Donc, dans les scénarios de coexistence, LTE-U doit adopter un nouveau protocole de contrôle d'accès (MAC) qui devrait avoir deux principes caractéristiques : (i) Il s'agit d'une couche MAC appropriée pour le fonctionnement LTE-U y compris le fonctionnement ininterrompu et synchrone du canal. (ii) Il offre une coexistence équitable avec le Wi-Fi. La clé du défi est de répondre *simultanément* aux exigences ci-dessus ce qui rend la conception d'une nouvelle couche MAC LTE assez complexe et reste ouverte à d'autres recherches. 3GPP propose principalement deux nouvelles catégories de protocoles MAC pour LTE.

Le premier est Listen Before Talk (LBT) où LTE-U accède au canal chaque fois qu'il est détecté inactif après avoir attendu une période d'inactivité du canal suivie éventuellement par une période d'attente.

Le second est un MAC basé sur le multiplexage temporel TDM, appelé également Duty Cycled LTE ou simplement LTE-U, où l'accès se fait directement au canal sans effectuer une détection d'activité du canal.

Cependant, dans un cycle de service, LTE-U doit libérer le canal pendant un certain temps pour offrir des possibilités de transmission aux utilisateurs Wi-Fi. Notre travail a consisté à examiner la question fondamentale : Comment LTE-U peut adopter efficacement un protocole basé sur TDM afin de cohabiter équitablement avec le Wi-Fi ? Nous répondons à cette question par une analyse sophistiquée qui quantifie l'impact négatif sur les performances Wi-Fi en adoptant un protocole MAC basé sur TDM. Nous calculons analytiquement la probabilité de collision entre les deux systèmes et nous dérivons le débit de saturation Wi-Fi. Les contributions de ce travail sont donc multiples :

- ▶ Nous combinons plusieurs modèles analytiques et des raffinements pour un réseau Wi-Fi.
- ▶ Nous nous appuyons sur nos modèles raffinés de réseaux Wi-Fi pour étudier la coexistence entre LTE-U et Wi-Fi en utilisant deux approches de modèles analytiques complémentaires.
- ▶ Nous introduisons la notion de marche aléatoire dans l'étude des performances du MAC 802.11. Notre analyse analytique est suffisamment général pour être utilisé afin d'analyser d'autres scénarios de coexistence. D'ailleurs, nous avons étudié en collaboration avec Nokia Bell Labs USA l'approche LBT Frame Based Equipment (LBT-LBE) pour la coexistence [1].

- ▶ Nous incluons l'effet de capture dans le modèle pour permettre la prise en compte des standards 802.11 PHY classiques et récents qui introduisent un certain nombre de nouvelles fonctionnalités.
- ▶ Nous validons notre analyse analytique grâce à une vaste étude de simulation à l'aide de NS3. Nous développons également un nouveau module dans le simulateur NS3 pour simuler la coexistence de LTE-U avec le réseau Wi-Fi.
- ▶ Nous montrons que l'impact négatif du LTE-U sur les performances Wi-Fi pourrait être compensé en s'appuyant sur notre modèle. Nous mettons aussi en évidence l'impact de la taille des paquets Wi-Fi et les paramètres de TDM-LTE-U sur les performances.

## 4 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Amr Abdelfattah, Naceur Malouch, and Jonathan Ling. Analytical evaluation and potentials of frame based equipment for lte-laa/wi-fi coexistence. In *2019 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC)*, pages 1–7, 2019.