

Grand Prix de l'Electronique Général Ferrié 2018

Focalisation Des Ondes Radio Pour Un Internet-Des-Objets Efficace En Energie

4 Décembre 2018, Fort De Bicêtre

Dinh-Thuy PHAN-HUY

Orange Labs Networks/Radio Networks and Microwave

dinhthuy.phanhuy@orange.com



Contexte

Des dizaines de milliards d'objets à connecter: comment éviter une dépense énergétique colossale pour les réseaux radio?

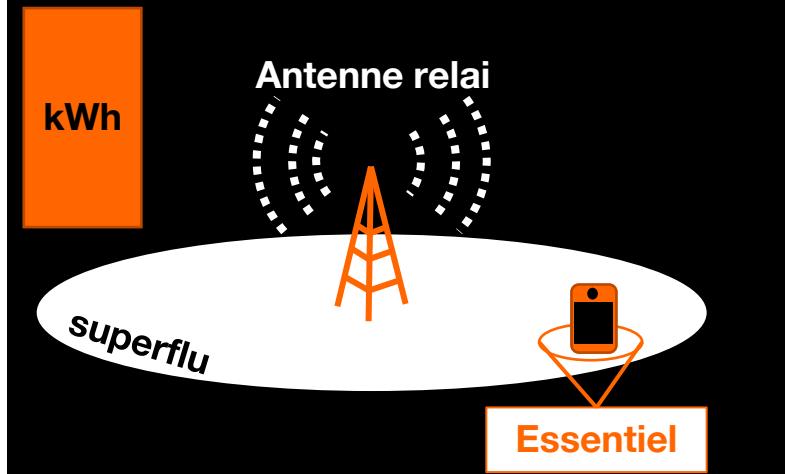


Orange

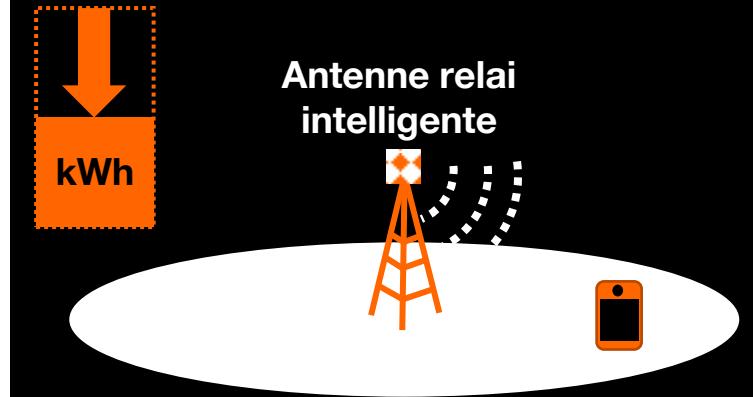
Grand Prix Général Ferrié 2018

Une solution prometteuse: la focalisation

Au lieu de couvrir partout ...



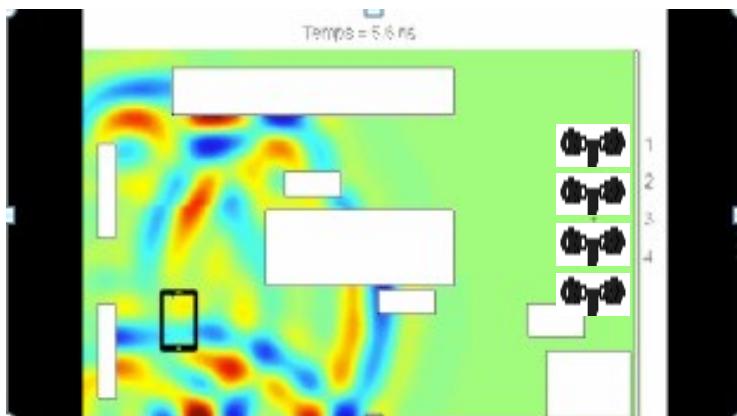
... focaliser au bon endroit et au bon moment



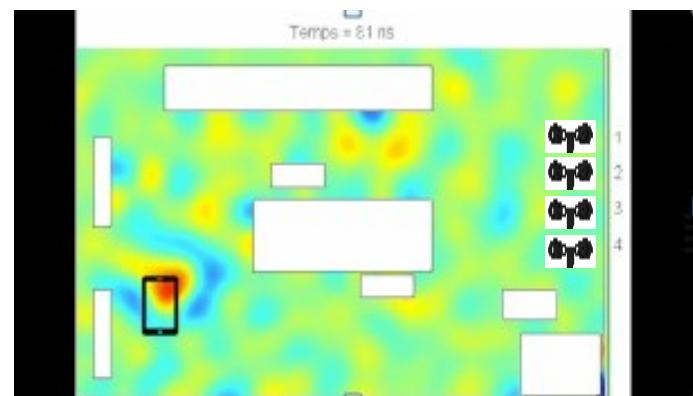
F. Rusek, D. Persson, B. K. Lau, E. G. Larsson, T. L. Marzetta, O. Edfors, and F. Tufvesson, "Scaling Up MIMO: Opportunities and Challenges with Very Large Arrays," in *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 30, no. 1, pp. 40-60, Jan. 2013.

La focalisation par retournement temporel

1) Le mobile émet un signal pilote et le réseau apprend le canal de propagation



2) Le réseau focalise en utilisant l'inverse temporelle de la réponse impulsionale du canal



- G. Lerosey, J. d. Rosny, A. Tourin, A. Derode, G. Montaldo and M. Fink, "Time reversal of electromagnetic waves and telecommunication," in *Radio Science*, vol. 40, no. 06, pp. 1-10, Dec. 2005.
- H. Terchoune, D. Lautru, A. Gati, M. F. Wong, J. Wiart and V. Fouad Hanna, "Investigation of space-time focusing of time reversal using FDTD," *2009 IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest*, Boston, MA, 2009, pp. 273-276.

La focalisation fait déjà partie de la 5G

En effet:

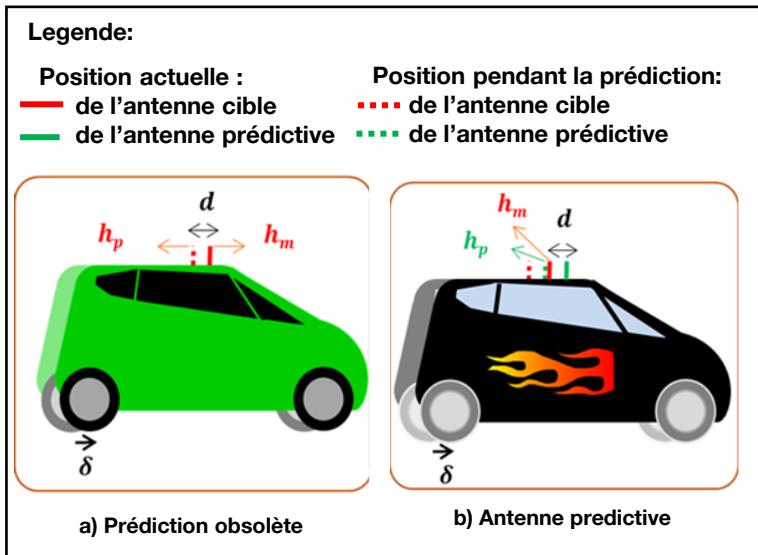
1. **Le mobile entraîne les antennes** : en mode de duplexage temporel (TDD)
2. **Les antennes sont intelligentes** : massive multiple input multiple output ou M-MIMO
3. **Les antennes peuvent focaliser** : les antennes peuvent « précoder » les signaux émis par le Maximum Ratio Transmission, qui est l'équivalent mathématique du retournement temporel, appliqué à une forme d'onde multiporteuse de type Orthogonal Frequency Division Multiplex (OFDM) au lieu d'une forme d'onde monoporteuse.
4. **La focalisation améliore l'efficacité énergétique**
5. **La focalisation fonctionne pour les smartphones**

Mais il manque des innovations pour exploiter pleinement la focalisation (par maximum ratio transmission ou retournement temporel) pour l'Internet-des-objets

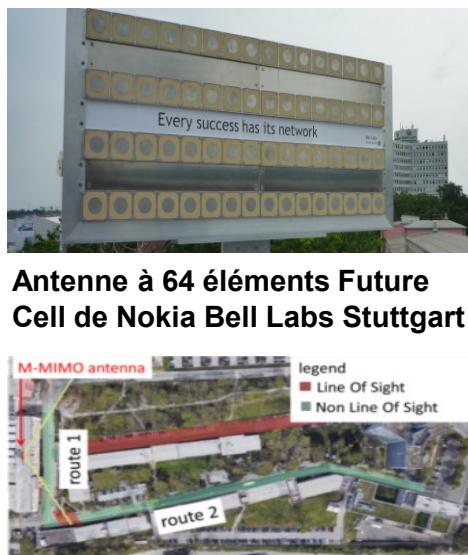
Contribution

Une innovation pour connecter un objet qui bouge trop vite

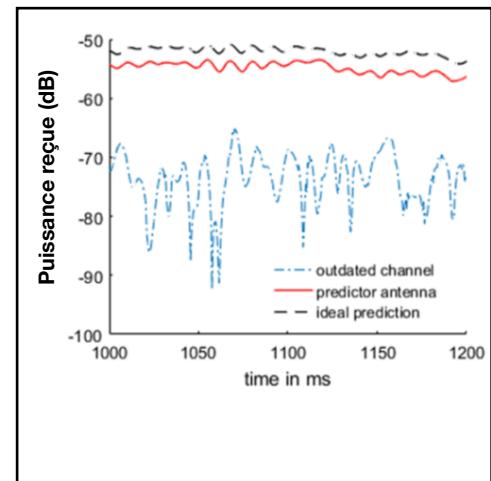
- **Le problème:** la focalisation rate sa cible à cause du déplacement δ pendant la durée τ entre la mesure de canal et la focalisation.
- **L'astuce:** rajouter une antenne prédictive en amont de l'antenne cible et un algorithme de prédition [1]-[7].
- **1ère preuve de concept:** 1ères expérimentations montrant que les canaux ainsi prédis sont suffisamment fiables pour focaliser par maximum ratio transmission jusqu'à 300 km/h, même en présence de **multi-trajets** [8].



Vrai canal h_m , et canal prédit h_p pour 3 prédictions différentes



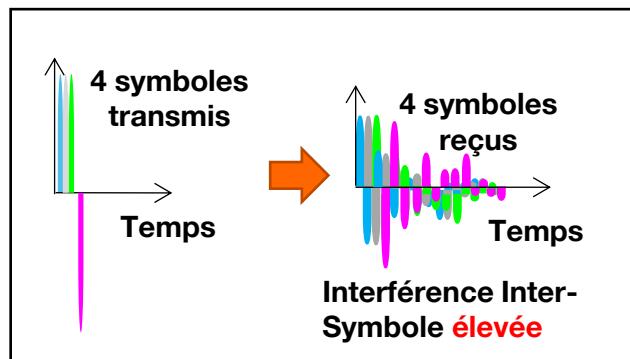
Environnement de test à Nokia Bell Labs Stuttgart



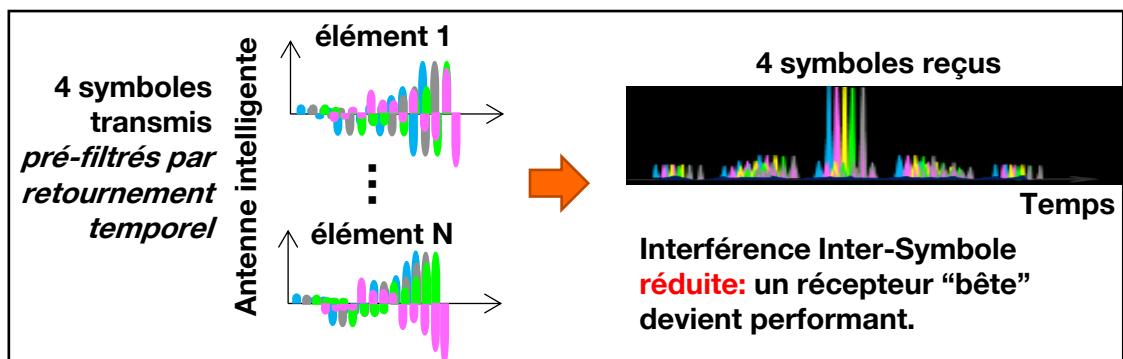
Performance de la focalisation par MRT pour les 3 différents techniques

Une innovation pour connecter un objet qui ne fait aucun effort

- **Le problème:** un récepteur potentiellement peu onéreux mais “bête” (un récepteur à “un tap” de forme d’onde monoportuese) détecte mal un signal reçu à travers un canal de propagation multi-trajets (échos multiples).
- **L’astuce:** le retournement temporel pré-distord les signaux.
- **1ère preuve de concept:** les simulations [9][10], puis les expérimentations [11] avec un générateur de signaux arbitraires et un oscilloscope montrent qu’on peut fournir de l’ordre de 100 Mbits/s.



Le problème

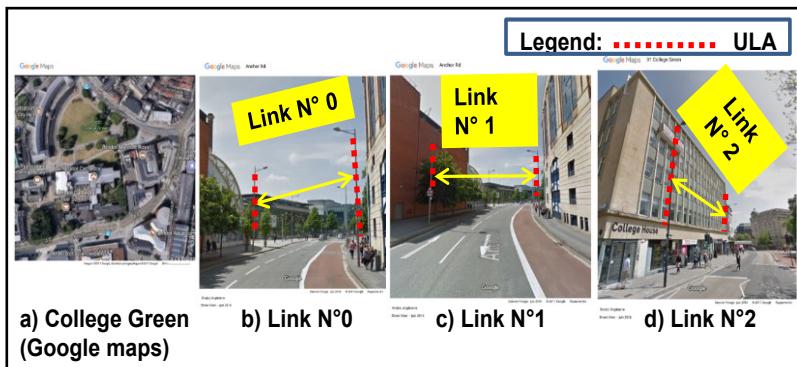


L’astuce

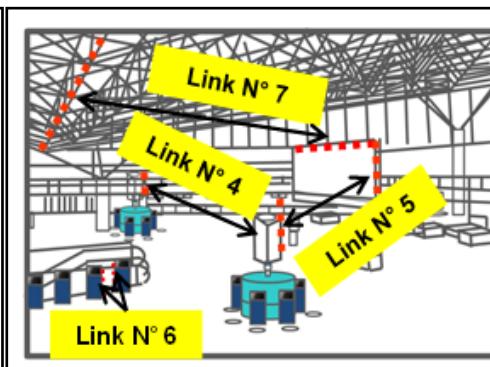
Avec le massive MIMO, Interférence Inter-Symbole davantage réduite. Publications en préparation sur de nouvelles expérimentations avec de véritables émetteurs et antennes relais massive MIMO.

Une innovation pour connecter des villes en ultra haut débit

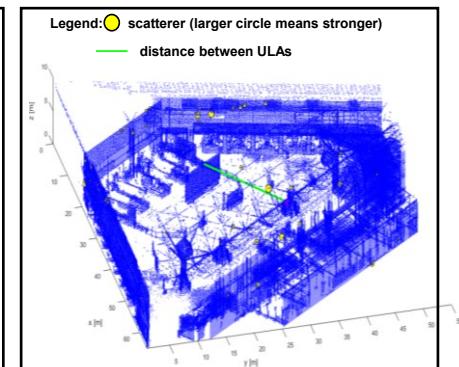
- **Le problème:** fournir des liens backhauls de Gbits/s mais simplement
- **L'astuce:** une technique de focalisation simple pour transmettre ~100 flux simultanés grâce à la géométrie urbaine [12][13]
- **1ère preuve de concept:** des liens à 26 GHz dans Bristol et l'aéroport de Helsinki ont été simulés grâce à des modèles de propagation 3D construits à partir de mesures terrain. Les efficacités spectrales obtenues atteignent de l'ordre du kbit/s/Hz avec une complexité jusqu'à 10 000 plus faible qu'avec la technique optimale [13].



Liens simulés dans le centre ville de Bristol



Liens simulés dans la salle d'embarquement de l'aéroport de Helsinki



Modèle 3D de la salle d'embarquement de l'aéroport de Helsinki construit à partir de mesures terrain

Des innovations pour ...

- ... connecter un objet qui émet ses pilotes sur la mauvaise fréquence [14]*
- ... connecter un objet qui a moins de chaînes de réception RF complètes que d'antennes [15][16]*
- ... connecter un objet qui utilise une forme d'onde « incompatible » avec le MIMO [17][18]
- ... connecter un objet qui émet ses pilotes trop faiblement
- ... guider et naviguer dans un milieu de propagation complexe [19].

Impact

21 publications dans des conférences et revues (IEEE principalement)



2 « Most Promising Technical Approaches for 5G » identifiées en 2014 dans le projet EU METIS 2020

39 brevets délivrés dans le monde (Union Européenne, Etats-Unis, Chine, Japon), issus de 15 inventions.

1 Prix « Impact Economique des Rencontres du Numérique 2016 » de l'ANR pour le projet TRIMARAN (coordinatrice)

>100 démonstrations expérimentales



Grand Prix Général Ferrié 2018

Conclusion

Des dizaines de milliards d'objets à connecter: comment éviter une dépense énergétique colossale pour les réseaux radio?

En focalisant vers les objets, grâce à des nouvelles briques technologiques pour les évolutions de la 5G.



Remerciements

- MERCI à mes **54** co-auteurs et/ou co-inventeurs, à leurs **18** organismes, avec lesquels, pour certains, j'ai collaboré dans le cadre de 4 projets de recherche européens et 2 projets ANR.
- MERCI à Azeddine GATI pour l'animation de la Recherche à Orange sur le Green et m'avoir encouragée à candidater.
- MERCI à mes soutiens: Martine LIENARD (Univ. Lille 1), Julien DE ROSNY (Institut Langevin), Philippe SEHIER (Nokia Bell Labs), Nandana RAJATHEVA (Oulu University) et Mythri HUNUKUMBURE (Samsung United Kingdom).
- MERCI aux décideurs à Orange: Nicolas DEMASSIEUX; Arnaud VAMPARYS; Bernard LE FLOCH; Eric HARDOUIN; Olivier SIMON; Azeddine GATI; Christian GALLARD; Laurent LABEGUERIE; Arnaud DE LANNOY.
- MERCI aux expertes et experts à Orange (en technique, juridique, valorisation, propriété intellectuelle, communication, tests terrain etc ...): Valérie HAMELIN; Sylvain BELLIER; Sébastien JEUX; Sébastien BECHET; Robert SARRAZIN; Raphaël VISOZ; Prosper CHEMOUIL; Patrick TORTELIER; Pascale JEUNE; Marie-Hélène HAMON; Laurence DELAUNAY; Jean-Luc TAGLIAMONTE; Isabelle SIAUD; Hao LIN; Dominique BARTHEL; Daniel MUSTAKI; Christian GALLARD; Bernadette VILLEFORCEIX; Arturo ORTEGA MOLINA.
- Pardon à celles et ceux que j'ai oubliés dans mes remerciements!



Références

Publications (2/3)

- [1] **D.-T. Phan-Huy**, M. Hélard, "Large MISO beamforming for high speed vehicles using separate receive & training antennas," *2013 IEEE 5th International Wireless Vehicular Communications (WiVeC)*, 2013.
- [2] **D.-T. Phan-Huy**, M. Sternad, T. Svensson "Adaptive large MISO downlink with Predictor Antenna array for very fast moving vehicles," *2013 International Conference on Connected Vehicles and Expo (ICCVE)*, 331-336, 2013.
- [3] **D.-T. Phan-Huy**, M. Sternad, T. Svensson, "Making 5G adaptive antennas work for very fast moving vehicles ", *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine* 7 (2), 71-84, 2015.
- [4] **D.-T. Phan-Huy**, T. Svensson, M. Sternad, W. Zirwas, B. Villeforceix, F. Karim, "Connected vehicles that use channel prediction will fully take advantage of 5G ", *22nd ITS World Congress*, Bordeaux, France, 5-9 October 2015.
- [5] **D.-T. Phan-Huy**, M. Sternad, T. Svensson, W. Zirwas, B. Villeforceix, F. Karim, "5G on board: How many antennas do we need on connected cars?", *2016 IEEE Globecom Workshops*, 2016.
- [6] A. Grassi, G. Piro, G. Boggia, **D.-T. Phan-Huy**, "A System Level Evaluation of SRTA-PI Transmission Scheme in the High-Speed Train Use Case," *ICT* 2018.
- [7] Rikke Apelfrojd, Joachim Bjorsell, Mikael Sternad, **Dinh-Thuy Phan-Huy**, "Kalman Smoothing for Irregular Pilot Patterns; A Case Study for Predictor Antennas in TDD Systems", *2018 IEEE 21st Personal Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC)*, 2018. **Best Paper Award**.

Publications (1/3)

- [8] **D.-T. Phan-Huy**, S. Wesemann, J. Björsell, M. Sternad, "Adaptive massive MIMO for fast moving connected vehicles: It will work with predictor antennas!," *22nd International Workshop on Smart Antennas (WSA2018)*, Bochum 2018. VIDEO de Joachim BJORSELL: <https://www.dailymotion.com/video/x6gjlk>
- [9] **D.-T. Phan-Huy**, S. Ben Halima, M. Helard, "Dumb-to-perfect receiver throughput ratio maps of a time reversal wireless indoor system," *2013 20th International Conference on Telecommunications (ICT)*, Saint Malo, 2018.
- [10] D. Ben Cheikh Battikh, J.-M. Kelif, F. Abi Abdallah, **D.-T. Phan-Huy**, "Time reversal outage probability for wideband indoor wireless communications," *2010 IEEE 21st Personal Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC)*, 2010.
- [11] **D.-T. Phan-Huy**, et al, "Characterization of the confidentiality of a green time reversal communication system: Experimental measurement of the spy BER sink," *2013 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, Shanghai, 2013
- [12] **D.-T. Phan-Huy**, A. Tölli, N. Rajatheva, E. De Carvalho, "DFT based spatial multiplexing and maximum ratio transmission for mm-wave large MIMO," *2014 IEEE Wireless Comm. and Networking Conference*, 913-918, 2014.
- [13] **D.-T. Phan-Huy**, P. Ratajczak, R. D'Errico, J Jaervelaainen, D. Kong, K. Haneda, B. Bulut, A. Karttunen, M. Beach, E. Mellios, M. Castaneda, M. Hunukumbure, T. Svensson, "Massive Multiple Input Massive Multiple Output for 5G Wireless Backhauling," *2017 IEEE Globecom Workshops*, 1-6 2017.
- [14] **D.-T. Phan-Huy**, S. Ben Halima, M. Hélard, "Frequency division duplex time reversal," *2011 IEEE Global Telecom. Conf. (GLOBECOM 2011)*, 1-5, 2011.

Publications (3/3)

- [15] **D.-T. Phan-Huy**, M. Hélard, "Receive antenna shift keying for time reversal wireless communications," *2012 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, 4852-4856, 2012.
- [16] A. Ourir, K. Rachedi, **D.-T. Phan-Huy**, C. Leray, J. de Rosny, "Compact reconfigurable antenna with radiation pattern diversity for spatial modulation," *2017 11th European Conf. on Antennas and Propagation (EUCAP)*, 3038-3043.
- [17] **D.-T. Phan-Huy**, P. Siohan, M. Hélard "Make-it-real-and-anticirculating orthogonal space-time coding for MIMO OFDM/OQAM," *2015 IEEE Signal Processing Advances in Wireless Communications (SPAWC)* 2015.
- [18] **D.-T. Phan-Huy**, P. Siohan, M. Hélard, "Make-It-Real" precoders for MIMO OFDM/OQAM without inter carrier interference," *2013 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)*, 3920-3924.
- [19] **D.-T. Phan-Huy**, N. Malhouroux-Gaffet and M. Hélard, "Time reversal for ant trails in wireless networks," *2014 IEEE Global Communications Conference*, Austin, TX, 2014, pp. 4077-4082.
- [20] **D.-T. Phan-Huy**, N. Malhouroux-Gaffet, J. Rioult, Y. Kokar, J-C Prévotet, A. Le Cornec, A Gati, T. Sarrebourse, P. Pajusco, M. Helard "The Radio Waves Display: an Intuitive Way to Show Green Techniques for 5G to the General Public," *2017 IEEE Int'l Conference on Communications Workshops (ICC)* 2017.
- [21] **D.-T. Phan-Huy**, Y. Kokar, J. Rioult, N. Malhouroux-Gaffet, J.-C. Prévotet, C. Buey, P. Ratajczak, M. Hélard, K. Rachedi, A. Ourir, C. Leray, J. de Rosny, A. Le Cornec, A. Gati, T. Sarrebourse, P. Pajusco, M. Di Renzo, "First Visual Demonstration of Transmit and Receive Spatial Modulations Using the "Radio Wave Display""", *WSA 2017 · March 15-17, 2017, Berlin, Germany.*

Brevets délivrés

Brevets délivrés recensés (et en rapport avec les travaux du Prix) au 3 décembre 2018 (délivrances ultérieures à prévoir d'après:[https://worldwide.espacenet.com/searchResults?ST=singl...
e-line&locale=en_EP&submitted=true&DB=&query=dinh+huy+phan+huy](https://worldwide.espacenet.com/searchResults?ST=singleline&locale=en_EP&submitted=true&DB=&query=dinh+huy+phan+huy):

- | | |
|---------------------------------|---------------------------------|
| 1. 2018-07-25, EP2641369 (B1) | 21. 2015-08-25, US9118365 (B2) |
| 2. 2018-04-18, EP2427991 (B1) | 22. 2015-08-12, EP2724476 (B1) |
| 3. 2018-04-13, CN104012060 (B) | 23. 2015-05-12, US9031786 (B2) |
| 4. 2018-01-24, EP2279569 (B1) | 24. 2015-04-08, CN102461057 (B) |
| 5. 2017-12-29, CN103999418 (B) | 25. 2015-03-31, US8995549 (B2) |
| 6. 2017-08-30, EP2850797 (B1) | 26. 2014-10-29, EP2427992 (B1) |
| 7. 2017-08-04, CN104254984 (B) | 27. 2014-10-22, CN102132537 (B) |
| 8. 2017-06-28, JP6154000 (B2) | 28. 2014-10-21, US8867413 (B2) |
| 9. 2017-06-28, EP2663873 (B1) | 29. 2014-09-24, CN102461056 (B) |
| 10. 2017-06-07, JP6143844 (B2) | 30. 2014-07-29, US8792396 (B2) |
| 11. 2017-04-04, US9614603 (B2) | 31. 2014-06-18, CN102138309 (B) |
| 12. 2017-01-24, US9553651 (B2) | 32. 2014-03-12, CN102067473 (B) |
| 13. 2016-10-25, US9479381 (B2) | 33. 2013-12-04, EP2316207 (B1) |
| 14. 2016-08-17, CN103430040 (B) | 34. 2013-11-26, US8593998 (B2) |
| 15. 2016-06-28, US9379797 (B2) | 35. 2013-06-05, CN101627594 (B) |
| 16. 2016-06-01, EP2856663 (B1) | 36. 2013-06-04, US8457217 (B2) |
| 17. 2016-05-18, EP2801158 (B1) | 37. 2013-05-28, US8451181 (B2) |
| 18. 2016-03-30, EP2795859 (B1) | 38. 2013-01-01, US8346197 (B2) |
| 19. 2016-03-02, EP2514113 (B1) | 39. 2012-03-21, EP2316208 (B1) |
| 20. 2015-11-03, US9178739 (B2) | |

Pour le grand public

Articles grand public, certains réalisés par des journalistes:

- <http://www.zdnet.fr/actualites/384-tbps-5g-et-bas-debit-visite-guidee-dans-l-antre-des-labos-d-orange-39829090.htm>
- Article dans Le Monde, decembre 2015.
<http://www.ietr.fr/IMG/pdf/demonstrateur.pdf>
- Interview 01net au Mobile World Congress 2016,
<https://www.dailymotion.com/video/x3tzc9c>
- <http://www.01net.com/actualites/5g-comment-orange-prepare-le-prochain-standard-de-telephonie-mobile-984147.html>, juin 2016
- <https://recherche.orange.com/des-antennes-focalisantes-pour-une-5g-economie-en-energie-un-projet-recompense-par-le-prix-impact-economique-de-lagence-nationale-de-la-recherche/>
- Interview lors de la remise du Prix ANR,
<https://www.youtube.com/watch?v=9iHHQ-7fauw>
- <https://www.espgg.org/Telecommunications-vertes-par>

Vidéos d'expériences de visualisation de la focalisation:

- <https://www.dailymotion.com/video/x5ciqad> **“Learning and focusing”**
- <https://www.dailymotion.com/video/x5ciqpi> **«Two focused spots merged and then separated»**
- <https://www.dailymotion.com/video/x5ciq25> **“Focusing versus non focusing”**