



# Puissances réelles émises par les mobiles 5G



Joe Wiart<sup>(1)</sup>, Shanshan Wang<sup>(1)</sup>, Yarui Zhang<sup>(1)</sup>, Zain haider<sup>(1)</sup>,  
Serge Bories<sup>(2)</sup> et Lamine Ourak<sup>(3)</sup>

1 LTCI, C2M, Telecom paris

2 CEA

3 EXEM



Comité National de Dialogue

28 Nov 2024





# Chaire C2M



## Une chaire de recherche et d'enseignement de Télécom Paris

### Modélisation, Caractérisation et Maîtrise des expositions aux ondes électromagnétiques

Créée en 2015, la chaire rassemble des chercheurs de Télécom Paris et IMT Atlantique avec le soutien de l'Agence Nationale des Fréquences. Elle contribue par ses travaux de recherche à la caractérisation, l'analyse et la modélisation des expositions aux ondes électromagnétiques induites par les systèmes et réseaux de télécommunication. Ces résultats permettent d'alimenter les travaux de normalisation menés dans ce domaine.

Les aspects sociétaux, tels que la perception du risque, sont également abordés dans un cadre pluridisciplinaire à la fois technologique, sociologique et philosophique.

#### La chaire conduit ses travaux de recherche selon 5 axes :

- > Dosimétrie numérique et expérimentale
- > Modélisation statistique de l'exposition, dosimétrie stochastique
- > Influence des technologies et architectures réseau sur l'exposition
- > Standardisation des méthodes d'évaluation de l'exposition
- > Paramètres gouvernant la perception sociale du risque

<https://chairec2m.wp.imt.fr>



### Publications



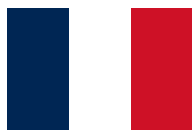
<https://chairec2m.wp.imt.fr/publications-hal/>





# Projets C2M

- Normalisation
- Recherche



# Caractérisation, Modélisation et Maîtrise



## - Exposition induite par les mobiles et les antennes relais



Nombreuses études menées sur la conformité des expositions ou les expositions maximales

beaucoup moins sur les expositions « réelles »

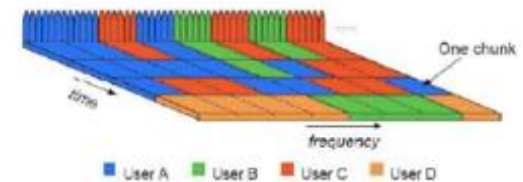
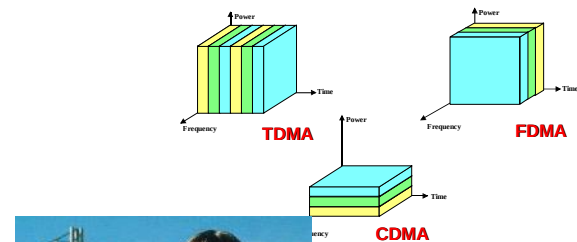
... et très peu sur les expositions réelles induites par les mobiles



# Evaluation des expositions réelles induites par les mobiles

A la différence des mesures d'exposition environnementale, la mesure ne peut être effectuée par un analyseur de spectre

- 1) Le corps de l'utilisateur est très proche
- 2) Les protocoles de communication sont complexes. TDMA(2G), CDMA(3G), OFDMA (4G & 5G).
- 3) Les ressources fréquentielles multiples et elle sont affectées toutes les ms dans le cas de la 4G



La mesure doit être réalisée par un équipement spécifique ( eg Devin) par un soft qui contrôle le fonctionnement du téléphone





# Equipement utilisé: Mobile à trace

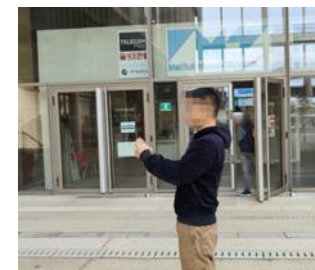
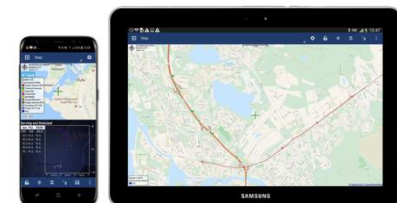
## Nouvelle approche : utiliser un mobile à trace

Ne pas mesurer les champs électromagnétiques émis par le téléphone mais surveiller et enregistrer le pilotage des fonctions du téléphone lors de son fonctionnement, ceci sans perturber l'usage.

Pour évaluer les réseaux, de nombreux outils existent et sont utilisés par les opérateurs pour évaluer la qualité de leurs réseaux

L'outil sélectionné dans Seawave et Explora est **Nemo Handy** de Keysigth, qui est adapté pour effectuer des mesures tout en étant utilisé simultanément comme un téléphone mobile ordinaire. Toutes les données RF et de signalisation sont enregistrées dans la mémoire interne du téléphone afin de permettre un post-traitement

Nemo fonctionne avec des téléphones munis d'un processeur télécom de type Qualcomm qui toutes les 500ms fourni un rapport aligné sur les demandes 3GPP





# Puissances émises que savons nous

J. Wiart et al. "Analysis of the influence of the power control and discontinuous transmission on RF exposure with GSM mobile phones," in *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, vol. 42, no. 4, pp. 376-385, Nov. 2000, doi: 10.1109/15.902307.

L Ardoino et al., Determinants of exposure to electromagnetic fields from mobile phones, *Radiation Protection Dosimetry*, Volume 111, Issue 4, 5 November 2004, Pages 403–406, <https://doi.org/10.1093/rpd/nch062>

D Picard,, Assessment of real exposure to GSM mobile telephones using the SYRPOM, *Radiation Protection Dosimetry*, Volume 157, Issue 1, November 2013, Pages 22–35, <https://doi.org/10.1093/rpd/nct123>

A. Gati,et al, "Exposure induced by WCDMA mobiles phones in operating networks," in *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 8, no. 12, pp. 5723-5727, December 2009, doi: 10.1109/TWC.2009.12.080758.

T Persson T, et al. Output power distributions of terminals in a 3G mobile communication network. *Bioelectromagnetics*. 2012 May;33(4):320-5. doi: 10.1002/bem.20710. Epub 2011 Oct 19. PMID: 22012866.

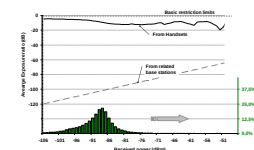
D Jovanovic. Mobile telephones: a comparison of radiated power between 3G VoIP calls and 3G VoCS calls. *J Expo Sci Environ Epidemiol*. 2015 Jan;25(1):80-3. doi: 10.1038/jes.2014.74. Epub 2014 Nov 5. PMID: 25352159.

A. Gati et al., "Duality Between Uplink Local and Downlink Whole-Body Exposures in Operating Networks," in *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, vol. 52, no. 4, pp. 829-836, Nov. 2010, doi: 10.1109/TEM.2010.2066978.

## GSM

Puissance émise fortement influencée par les transferts intercellulaires.

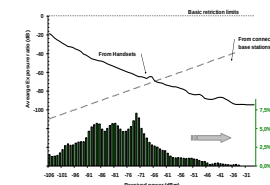
Puissance moyenne supérieure à 50% du maximum)



## GSM/ UMTS

Puissance émise moyenne de l'ordre de 1% du maximum

puissance émise et reçue corrélée



# Etudes menées sur les puissances émises par UMTS/LTE



Paljanos, A., Miclăuș, S., Bechet, P., & Munteanu, C. (2016). Assessment of mobile phone user exposure to UMTS and LTE signals: comparative near-field radiated power levels for various data and voice application services. *JEWA*, 30(9), 1101–1115.

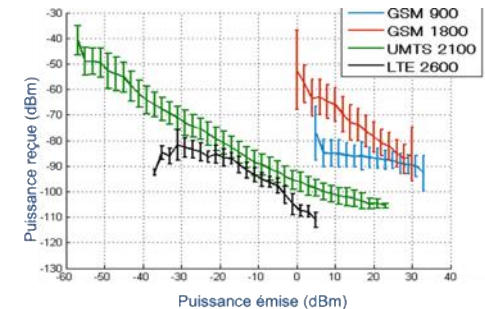
P. Joshi et al. "Output Power Levels of 4G User Equipment and Implications on Realistic RF EMF Exposure Assessments," in *IEEE Access*, vol. 5, pp. 4545-4550, 2017,

Taghrid Mazloun et al. RF-EMF exposure induced by mobile phones operating in LTE small cells in two different urban cities *Annals of Telecommunications* (2019) 74:35–42

**J. Liu et al., "Assessment of EMF Exposure Induced by Wireless Cellular Phones in Various Usage Scenarios in France," in *IEEE Access*, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3424305.**

## UMTS/LTE

Puissance émise de l'ordre de 1% du maximum  
moyens de mesures limitée



## LTE/5G



# Exposition induites par les équipements proches dans le cas d'usages varies.

This article has been accepted for publication in IEEE Access. This is the author's version which has not been fully edited and content may change prior to final publication. Citation information: DOI 10.1109/ACCESS.2024.3424305

**IEEE Access**  
Multidisciplinary | Rapid Review | Open Access Journal

Date of publication xxxx 00, 0000, date of current version xxxx 00, 0000.

Digital Object Identifier xxx

## Assessment of EMF Exposure Induced by Wireless Cellular Phones in Various Usage Scenarios in France

JIANG LIU<sup>1</sup>, YARUI ZHANG<sup>1</sup>, WASSIM BEN CHIKHA<sup>1</sup>, (SENIOR MEMBER, IEEE),  
SHANSHAN WANG<sup>1,2</sup>, (MEMBER, IEEE), THEODOROS SAMARAS<sup>3</sup>, (MEMBER, IEEE)  
OUROUK JAWAD<sup>4</sup>, LAMINE OURAK<sup>5</sup>, EMMANUELLE CONIL<sup>4</sup> AND JOE WIART<sup>1</sup>, (SENIOR  
MEMBER, IEEE)

1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29,30,31,32,33,34,35,36,37,38,39,40,41,42,43,44,45,46,47,48,49,50,51,52,53,54,55,56,57,58,59,60,61,62,63,64,65,66,67,68,69,70,71,72,73,74,75,76,77,78,79,80,81,82,83,84,85,86,87,88,89,90,91,92,93,94,95,96,97,98,99,100,101,102,103,104,105,106,107,108,109,110,111,112,113,114,115,116,117,118,119,120,121,122,123,124,125,126,127,128,129,130,131,132,133,134,135,136,137,138,139,140,141,142,143,144,145,146,147,148,149,150,151,152,153,154,155,156,157,158,159,160,161,162,163,164,165,166,167,168,169,170,171,172,173,174,175,176,177,178,179,180,181,182,183,184,185,186,187,188,189,190,191,192,193,194,195,196,197,198,199,200,201,202,203,204,205,206,207,208,209,210,211,212,213,214,215,216,217,218,219,220,221,222,223,224,225,226,227,228,229,230,231,232,233,234,235,236,237,238,239,240,241,242,243,244,245,246,247,248,249,250,251,252,253,254,255,256,257,258,259,260,261,262,263,264,265,266,267,268,269,270,271,272,273,274,275,276,277,278,279,280,281,282,283,284,285,286,287,288,289,290,291,292,293,294,295,296,297,298,299,300,301,302,303,304,305,306,307,308,309,310,311,312,313,314,315,316,317,318,319,320,321,322,323,324,325,326,327,328,329,330,331,332,333,334,335,336,337,338,339,340,341,342,343,344,345,346,347,348,349,350,351,352,353,354,355,356,357,358,359,360,361,362,363,364,365,366,367,368,369,370,371,372,373,374,375,376,377,378,379,380,381,382,383,384,385,386,387,388,389,390,391,392,393,394,395,396,397,398,399,400,401,402,403,404,405,406,407,408,409,410,411,412,413,414,415,416,417,418,419,420,421,422,423,424,425,426,427,428,429,430,431,432,433,434,435,436,437,438,439,440,441,442,443,444,445,446,447,448,449,450,451,452,453,454,455,456,457,458,459,460,461,462,463,464,465,466,467,468,469,470,471,472,473,474,475,476,477,478,479,480,481,482,483,484,485,486,487,488,489,490,491,492,493,494,495,496,497,498,499,500,501,502,503,504,505,506,507,508,509,510,511,512,513,514,515,516,517,518,519,520,521,522,523,524,525,526,527,528,529,530,531,532,533,534,535,536,537,538,539,540,541,542,543,544,545,546,547,548,549,550,551,552,553,554,555,556,557,558,559,560,561,562,563,564,565,566,567,568,569,570,571,572,573,574,575,576,577,578,579,580,581,582,583,584,585,586,587,588,589,590,591,592,593,594,595,596,597,598,599,600,601,602,603,604,605,606,607,608,609,610,611,612,613,614,615,616,617,618,619,620,621,622,623,624,625,626,627,628,629,630,631,632,633,634,635,636,637,638,639,640,641,642,643,644,645,646,647,648,649,650,651,652,653,654,655,656,657,658,659,660,661,662,663,664,665,666,667,668,669,670,671,672,673,674,675,676,677,678,679,680,681,682,683,684,685,686,687,688,689,690,691,692,693,694,695,696,697,698,699,700,701,702,703,704,705,706,707,708,709,710,711,712,713,714,715,716,717,718,719,720,721,722,723,724,725,726,727,728,729,730,731,732,733,734,735,736,737,738,739,740,741,742,743,744,745,746,747,748,749,750,751,752,753,754,755,756,757,758,759,760,761,762,763,764,765,766,767,768,769,770,771,772,773,774,775,776,777,778,779,780,781,782,783,784,785,786,787,788,789,790,791,792,793,794,795,796,797,798,799,800,801,802,803,804,805,806,807,808,809,810,811,812,813,814,815,816,817,818,819,820,821,822,823,824,825,826,827,828,829,830,831,832,833,834,835,836,837,838,839,840,841,842,843,844,845,846,847,848,849,850,851,852,853,854,855,856,857,858,859,860,861,862,863,864,865,866,867,868,869,870,871,872,873,874,875,876,877,878,879,880,881,882,883,884,885,886,887,888,889,890,891,892,893,894,895,896,897,898,899,900,901,902,903,904,905,906,907,908,909,910,911,912,913,914,915,916,917,918,919,920,921,922,923,924,925,926,927,928,929,930,931,932,933,934,935,936,937,938,939,940,941,942,943,944,945,946,947,948,949,950,951,952,953,954,955,956,957,958,959,960,961,962,963,964,965,966,967,968,969,970,971,972,973,974,975,976,977,978,979,980,981,982,983,984,985,986,987,988,989,990,991,992,993,994,995,996,997,998,999,1000



Evaluer les puissances émises

- dans différents lieux
- pour différents usages
- Avec les réseaux existants



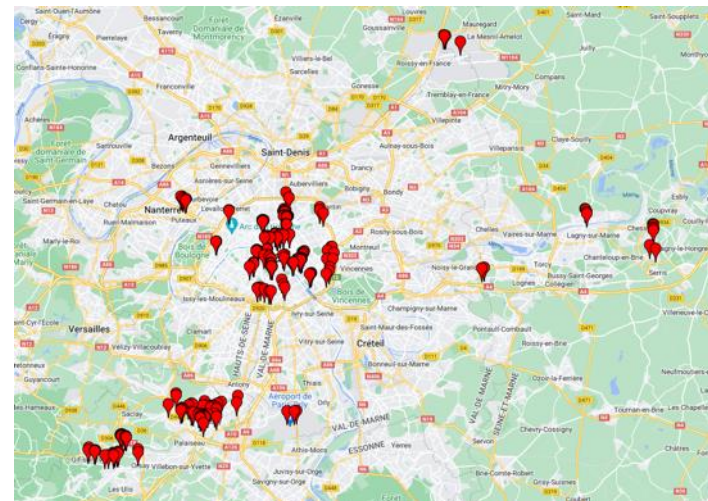
# Protocole de mesures

## Localisation des mesures

157 zones de mesures en Région Parisienne

380 points de mesures

| Number of Measurements | 380 |
|------------------------|-----|
| University             | 30  |
| Street                 | 96  |
| Market                 | 50  |
| Park                   | 24  |
| Train Station          | 78  |
| Bus Stop               | 14  |
| Shopping Mall          | 44  |
| Airport                | 29  |
| Museum                 | 8   |
| Apartment              | 3   |
| Hospital               | 4   |



## Usages

**appel voix.**

**appel video**

**Transfert d'un fichier de données (100 MB)**

| Nemo Commands                                                         | User Posture | Time    | Attempt Timeout |
|-----------------------------------------------------------------------|--------------|---------|-----------------|
| Voice Call                                                            | Ear-Holding  | 1 min   | 30 s            |
| WhatsApp Voice Call                                                   |              | 1 min   | 30 s            |
| WhatsApp Video Call                                                   | Face-Viewing | 1 min   | 30 s            |
| FTP Data Upload                                                       |              | < 5 min | 30 s            |
| If 5G is available, continue with 5G being disabled. Otherwise, stop. |              |         |                 |
| WhatsApp Voice Call                                                   | Ear-Holding  | 1 min   | 30 s            |
| WhatsApp Video Call                                                   | Face-Viewing | 1 min   | 30 s            |
| FTP Data Upload                                                       |              | < 5 min | 30 s            |

## Modes

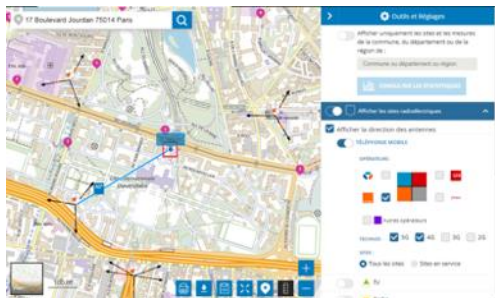
5G possible ( 5G ou 4G si 5G n'existe pas)

4G seulement

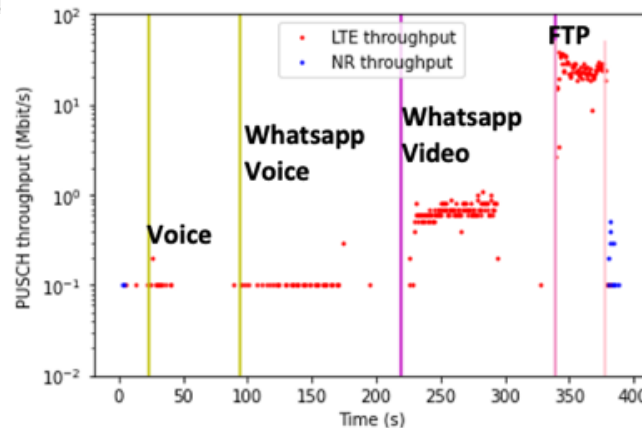
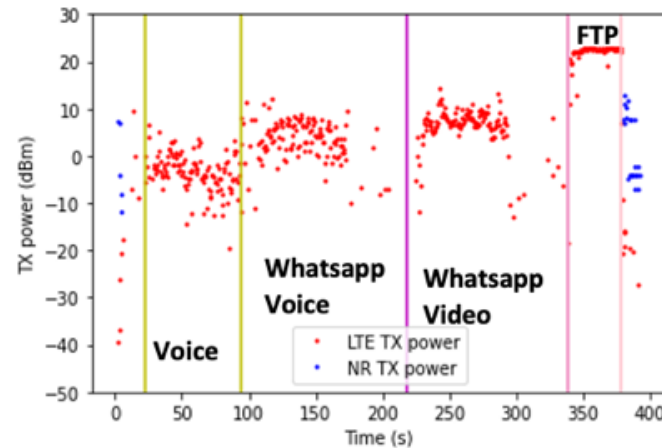
<https://ieeexplore.ieee.org/document/10586982>



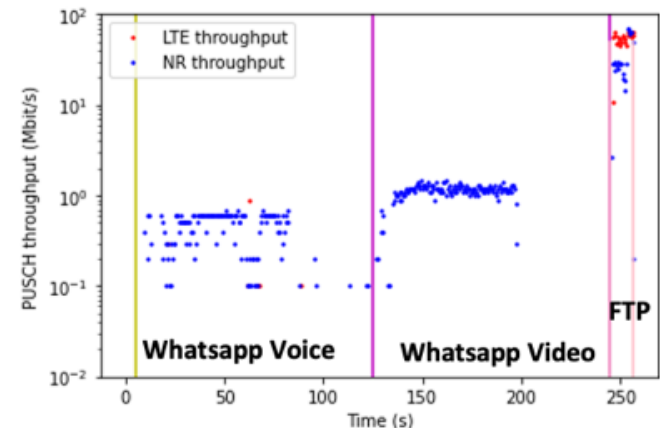
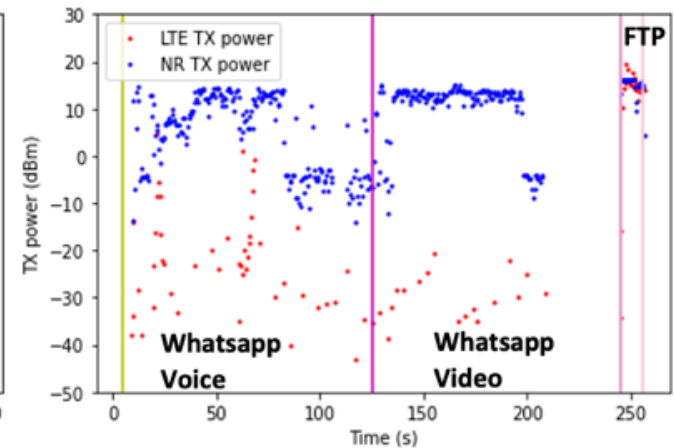
# Mesures avec NEMO



Bd Jourdan, 75014 Paris



Disabling 5G



Enabling 5G

**Rappel :** Les mesures sont la transposition des informations fournies par le processeur télécom Qualcomm toutes les 500ms

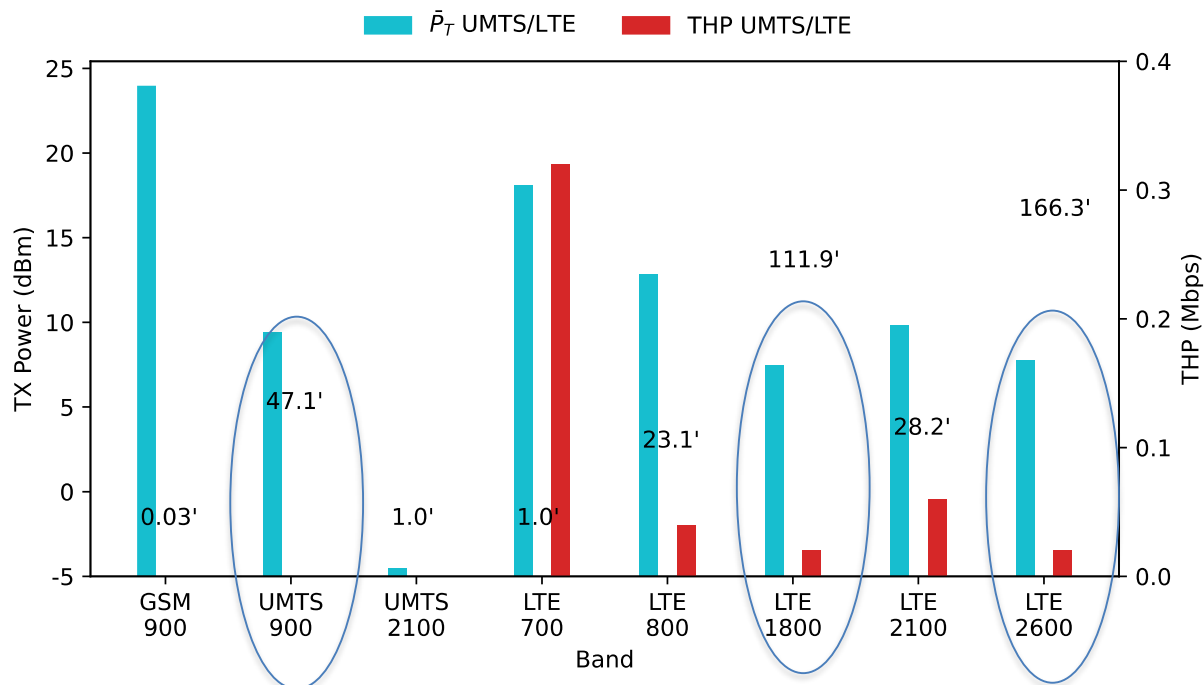


# VoCS vs VoLTE via GSM, UMTS et LTE



GSM CS (circuit) via TDMA  
UMTS CS via CDMA,  
LTE VoLTE via OFDMA

remarque : en 5G pas de voix native



**GSM** : peu d'échantillons mais en ligne avec les études antérieures (proche des 250 mW)

**UMTS** : puissance émise supérieure à celles rapportées antérieurement (1 mW) . Ceci est peut être lié à des réseaux en phase d'arrêt.

**LTE**: La majorité des appels voix sont passés en VoLTE. La puissance moyenne émise en **LTE est de 8 mW**. Le faible nombre d'échantillon dans certaines bandes est peut être lié au choix des opérateurs



# VoIP via UMTS, LTE et 5G

5G non autorisée

VoIP via LTE & UMTS

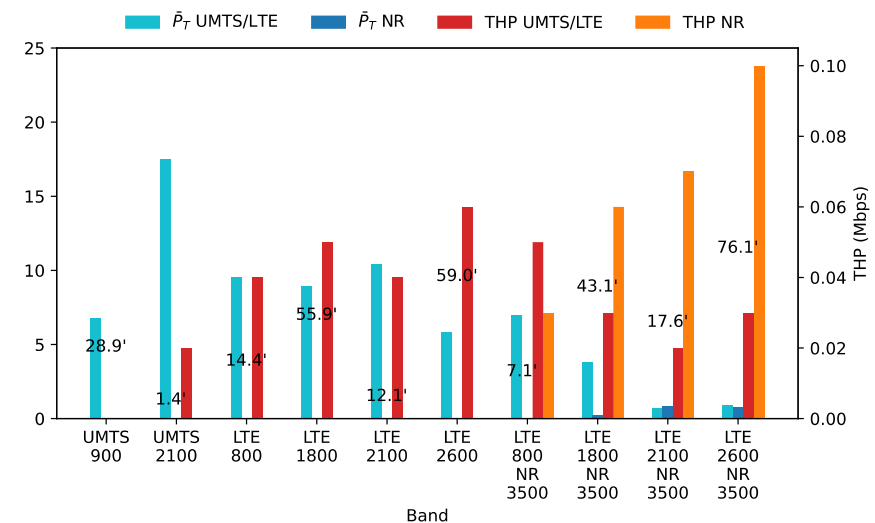
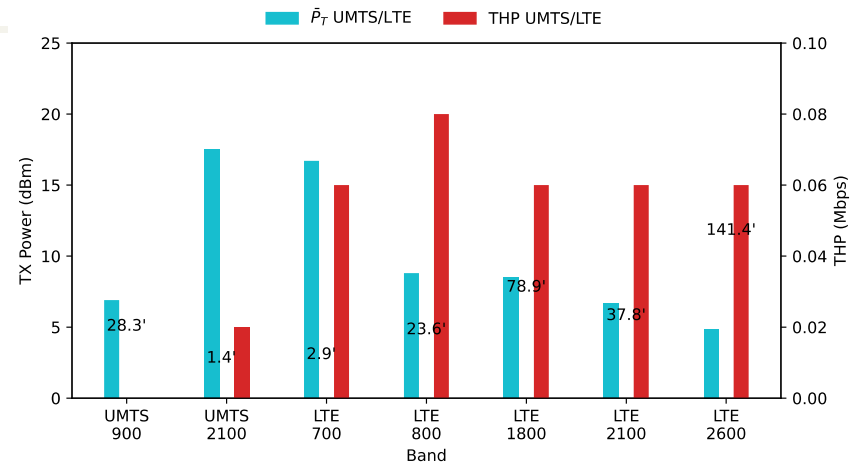
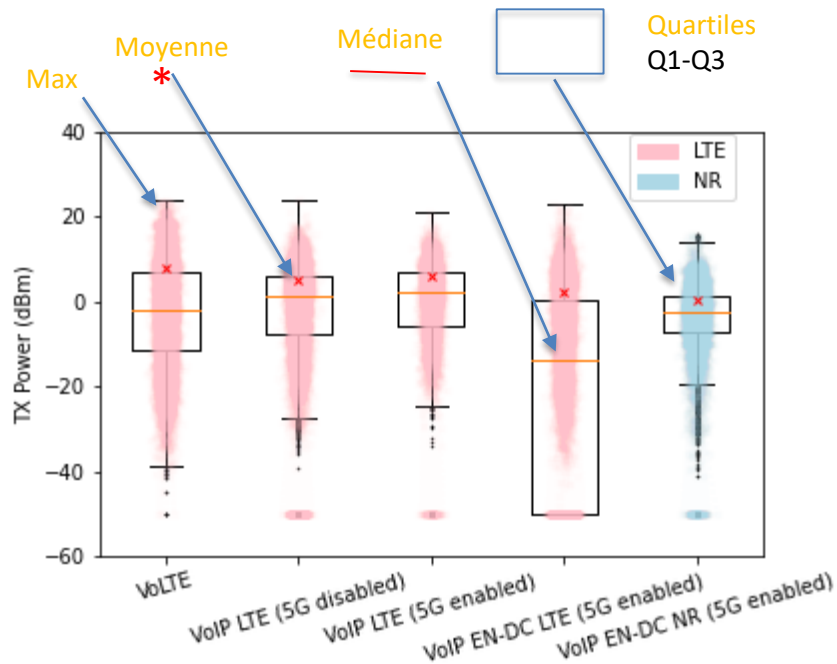
5G autorisée

VoIP via LTE, UMTS & 5G

VoIP via WhatsApp



46% du temps les appels sont en 5G. 45 en 4G et moins de 10% en 3G.



LTE and NR represent band 2600 MHz and 3500 MHz respectively



## Video via LTE & UMTS

## Video via LTE, 5G

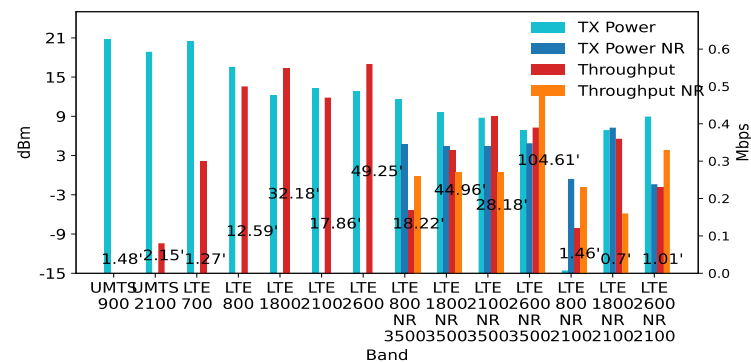
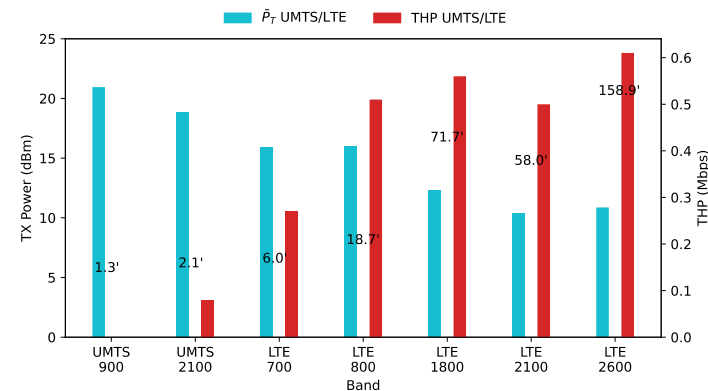
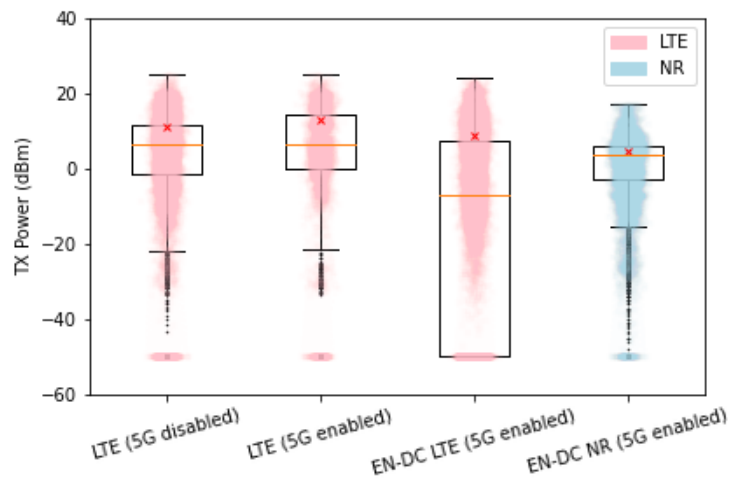
## Video via WhatsApp



## Video

4G LTE : around 15 mW

5G LTE-NR: below 10 mW

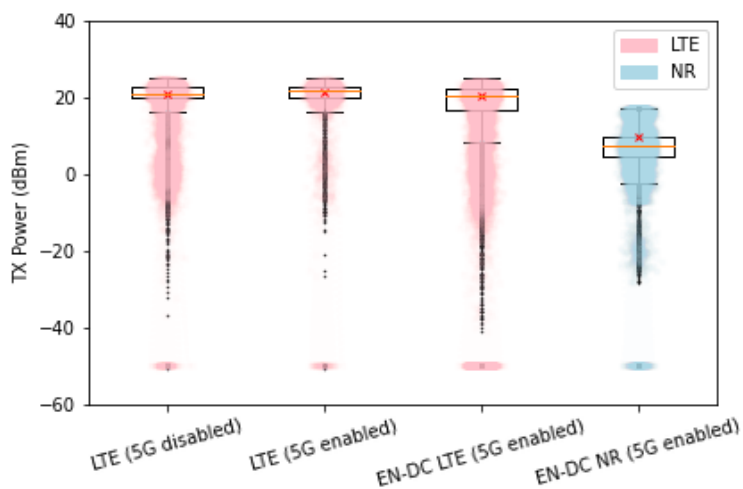


LTE and NR represent band 2600 MHz and 3500 MHz respectively

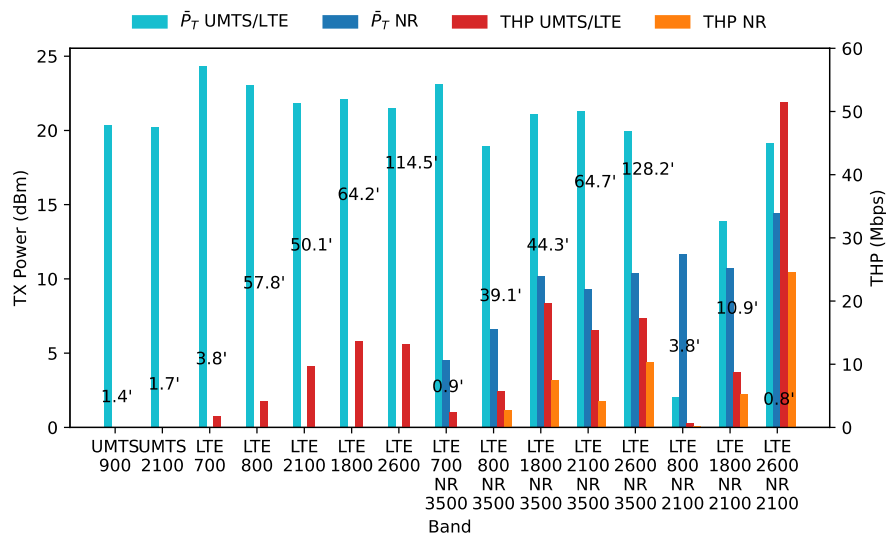
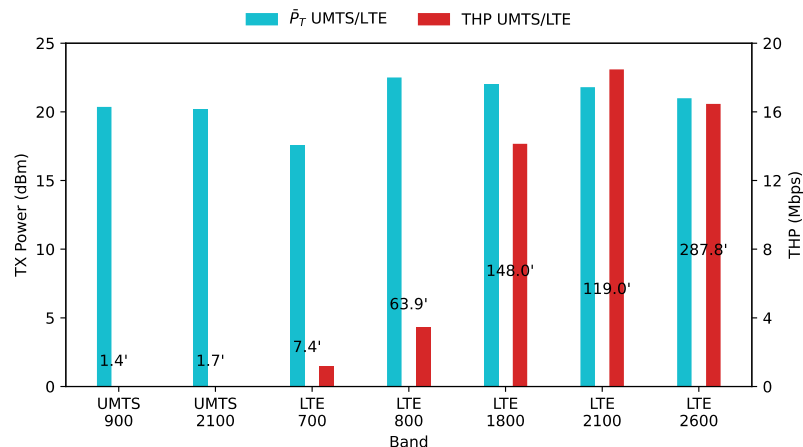


# FTP via UMTS, LTE et 5G

Transfert d'un fichier  
de 100 MB



LTE and NR represent band 2600 MHz and 3500 MHz respectively





# Synthèse des puissances émises

| Service        | 5G       | Tech | Time (min) | $\bar{P}_T$ (dBm) |
|----------------|----------|------|------------|-------------------|
| VoCS and VoLTE | disabled | GSM  | 0.03       | 23.97             |
|                |          | UMTS | 48.1       | 9.32              |
|                |          | LTE  | 330.58     | 8.62              |
| VoIP           | enabled  | UMTS | 30.28      | 8.51              |
|                |          | LTE  | 141.39     | 8.16              |
|                |          | ENDC | 143.87     | 2.48              |
|                | disabled | UMTS | 29.69      | 8.60              |
|                |          | LTE  | 284.57     | 7.16              |
| Video          | enabled  | UMTS | 3.63       | 19.79             |
|                |          | LTE  | 113.16     | 13.58             |
|                |          | ENDC | 199.14     | 8.51              |
|                | disabled | UMTS | 3.49       | 19.79             |
|                |          | LTE  | 313.36     | 11.82             |
| FTP            | enabled  | UMTS | 3.03       | 20.28             |
|                |          | LTE  | 290.39     | 22.09             |
|                |          | ENDC | 292.68     | 20.20             |
|                | disabled | UMTS | 3.03       | 20.28             |
|                |          | LTE  | 626.15     | 21.55             |

# REBT : Energy rayonnée par bit transmis



Les mobiles ont des fonctionnements de plus en plus complexe (multiples fréquences, débits variables ...) le temps de l'usage est décorrélé du temps d'émission.

Un nouvel indicateur d'exposition est Energy rayonnée (mJ) par bit transmis (mB)

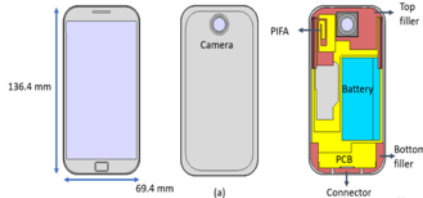
$$REBT = \frac{\text{Energie transmise}}{\text{bits transmis}} = \frac{P * T}{Data} = \frac{P}{\text{debit}}$$

| Service        | 5G       | Tech | THP (Mbps) | NR THP (Mbps) | REBT (mJ/Mb) |
|----------------|----------|------|------------|---------------|--------------|
| VoCS and VoLTE | disabled | GSM  | 0          | NA            |              |
|                |          | UMTS | 0          |               |              |
|                |          | LTE  | 0.03       |               |              |
| VoIP           | enabled  | UMTS | 0          | NA            |              |
|                |          | LTE  | 0.05       | 0.08          |              |
|                |          | ENDC | 0.03       |               |              |
|                | disabled | UMTS | 0          | NA            |              |
|                |          | LTE  | 0.06       |               |              |
| Video          | enabled  | UMTS | 0.05       | NA            | 1905         |
|                |          | LTE  | 0.54       |               | 42.22        |
|                |          | ENDC | 0.36       | 0.38          | 13.55        |
|                | disabled | UMTS | 0.05       | NA            | 1903.8       |
|                |          | LTE  | 0.57       |               | 26.67        |
| FTP            | enabled  | UMTS | 0          | NA            | NA           |
|                |          | LTE  | 10.57      |               | 15.31        |
|                |          | ENDC | 15.21      | 7.21          | 5.1          |
|                | disabled | UMTS | 0          | NA            | NA           |
|                |          | LTE  | 14.79      |               | 9.65         |

| Service        | 5G       | Tech | THP<br>(Mbps) | NR THP<br>(Mbps) | REBT<br>(mJ/Mb) |
|----------------|----------|------|---------------|------------------|-----------------|
| VoCS and VoLTE | disabled | GSM  | 0             | NA               |                 |
|                |          | UMTS | 0             |                  |                 |
|                |          | LTE  | 0.03          |                  |                 |
| VoIP           | enabled  | UMTS | 0             | NA               |                 |
|                |          | LTE  | 0.05          |                  |                 |
|                |          | ENDC | 0.03          | 0.08             |                 |
|                | disabled | UMTS | 0             | NA               |                 |
|                |          | LTE  | 0.06          |                  |                 |
| Video          | enabled  | UMTS | 0.05          | NA               |                 |
|                |          | LTE  | 0.54          |                  | 42.22           |
|                |          | ENDC | 0.36          | 0.38             | 13.55           |
|                | disabled | UMTS | 0.05          | NA               | 1903.8          |
|                |          | LTE  | 0.57          |                  | 26.67           |
| FTP            | enabled  | UMTS | 0             | NA               | NA              |
|                |          | LTE  | 10.57         |                  | 15.31           |
|                |          | ENDC | 15.21         | 7.21             | 5.1             |
|                | disabled | UMTS | 0             | NA               | NA              |
|                |          | LTE  | 14.79         |                  | 9.65            |

# Evaluation des puissances absorbées

Pour un DAS max sur 10g de 1W/kg

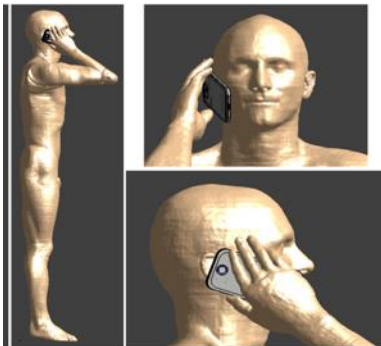


| Fréquence | DAS Moyenné sur l'organe (mW/kg) |                 |      |              |
|-----------|----------------------------------|-----------------|------|--------------|
|           | Matière grise                    | Matière blanche | tête | Corps entier |
| 1,8 GHz   | 6                                | 2               | 10   | 1            |
| 2,6 GHz   | 3                                | 0,7             | 7    | 0,7          |
| 3,5 GHz   | 1                                | 0,3             | 5    | 0,5          |

Travail en cours  
pour l'ANSES

Dans le cas des mesures nous avons une puissance émise en VoIP à 2600 MHz de l'ordre de 10 mW soit environ 5 % du max, donc le DAS dans la tête du modèle Duke est égal à 5% du maximum, soit 0,035 W/kg.

L'exposition moyenne induite par les stations de base est de 0,63 V/m quand la téléphonie mobile est le contributeur principal est la téléphonie mobile (cf ANFR), dans ces conditions le DAS Tete est de 4,65E-03 mW/kg





# As conclusion

Dans la confusion trouver la simplicité  
De la discorde faire jaillir l'harmonie  
Au milieu de la difficulté se trouve  
l'opportunité

Albert Einstein,  
*Trois règles de travail*