



Puissances réelles émises par les mobiles 5G



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

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



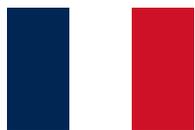
<https://chairec2m.wp.imt.fr/publications-hal/>





Projets C2M

- Normalisation
- Recherche



europa.eu



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 »

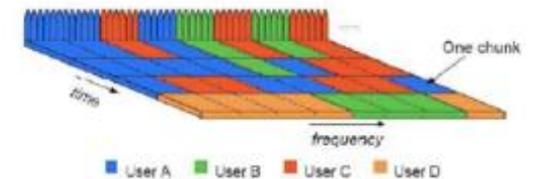
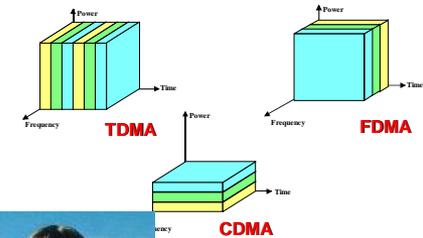
... et très peu sur les expositions réelles induites par les mobiles

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

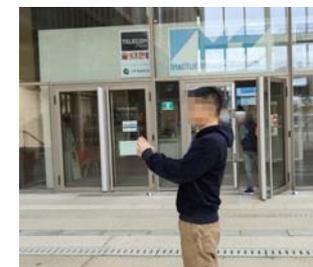
Nouvelle approche : utiliser un mobile à trace

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.

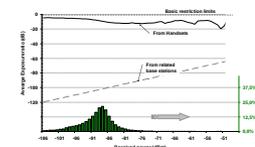
D Jovanovic. Mobile telephones: a comparison of radiated power between 3G VoIP calls and 3G VoCS calls. *J Expo Sci Environ Epidemiol*. 2015 Jan;25(1):80-3. doi: 10.1038/jes.2014.74. Epub 2014 Nov 5. PMID: 25352159.

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/TEMC.2010.2066978.

GSM

Puissance émise fortement influencée par les transferts intercellulaires.

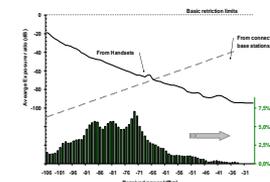
Puissance moyenne supérieure à 50% du maximum



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.

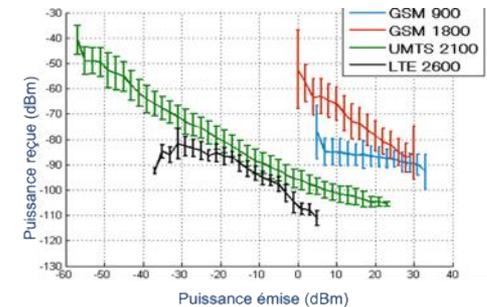
P. Joshi et al. "Output Power Levels of 4G User Equipment and Implications on Realistic RF EMF Exposure Assessments," in *IEEE Access*, vol. 5, pp. 4545-4550, 2017,

Taghrid Mazloum 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

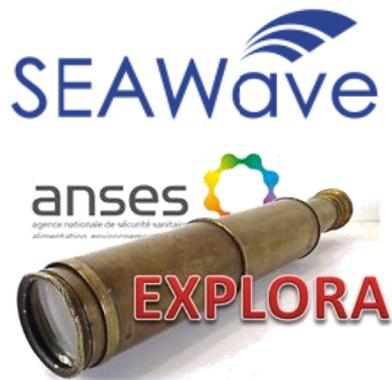
Date of publication xxxx 00, 0000, date of current version xxxx 00, 0000.

Digital Object Identifier xxx

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

JIANG LIU¹, YARUI ZHANG¹, WASSIM BEN CHIKHA¹, (SENIOR MEMBER, IEEE), SHANSHAN WANG^{1,2}, (MEMBER, IEEE), THEODOROS SAMARAS³, (MEMBER, IEEE) OUROUK JAWAD⁴, LAMINE OURAK⁵, EMMANUELLE CONIL⁴ AND JOE WIART¹, (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



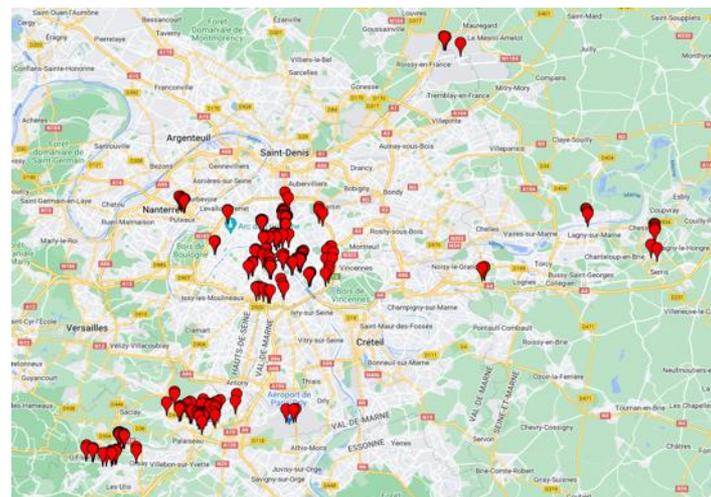
Protocole de mesures

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

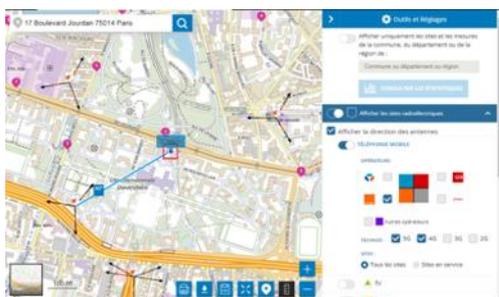
5G possible (5G ou 4G si 5G n'existe pas)

4G seulement

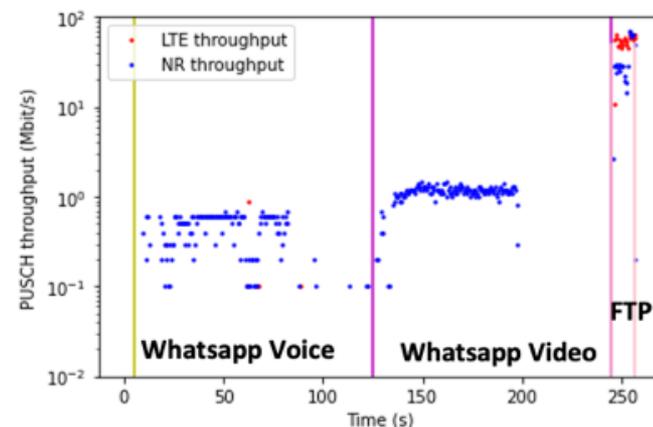
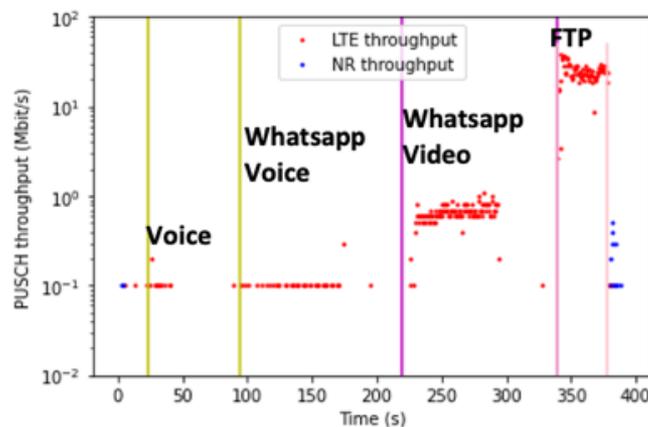
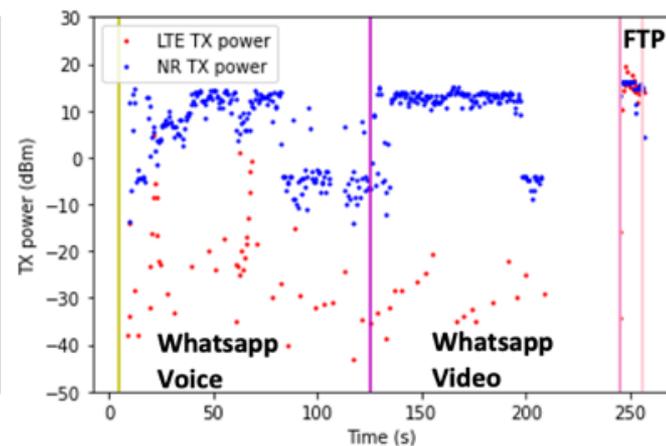
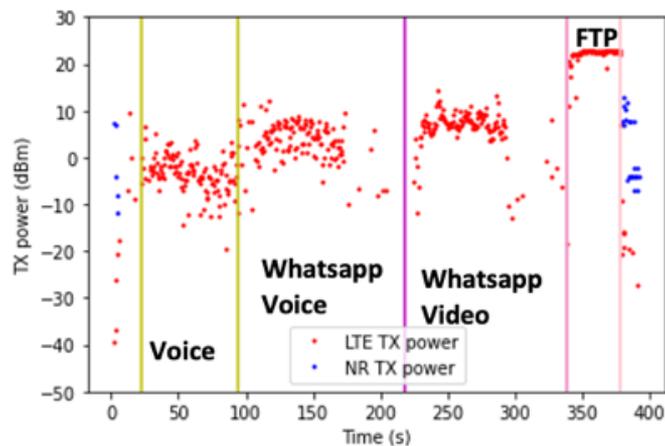
<https://ieeexplore.ieee.org/document/10586982>



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

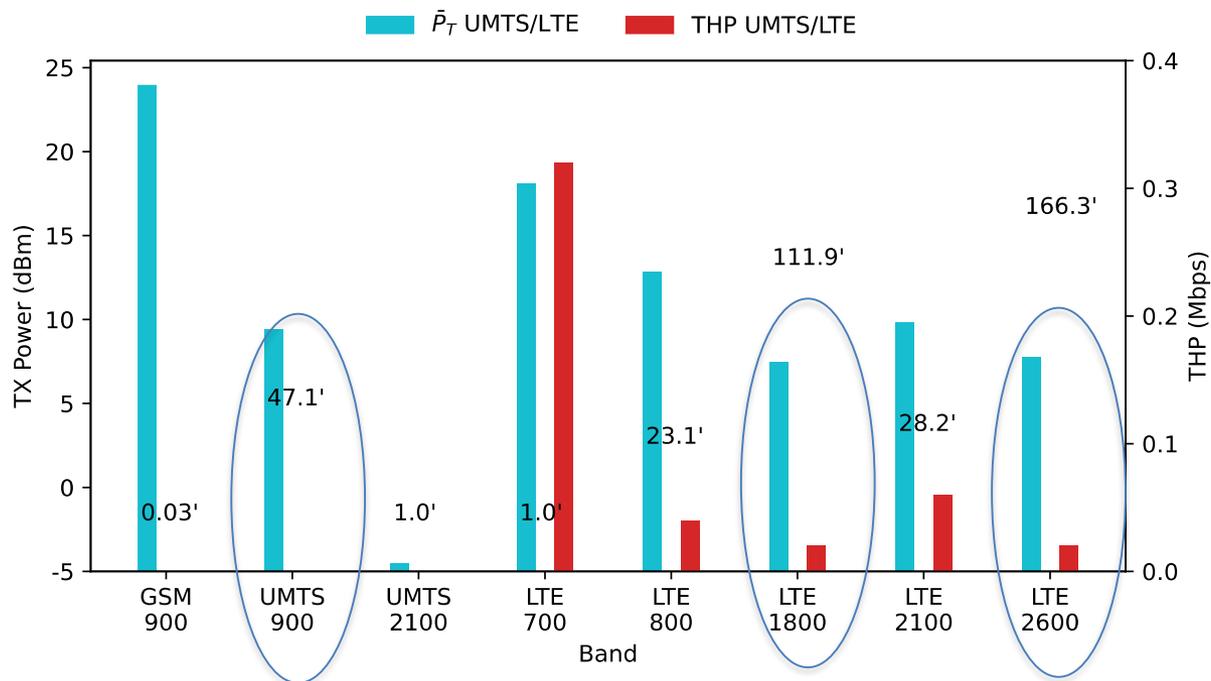


VoCS vs VoLTE via GSM, UMTS et LTE



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

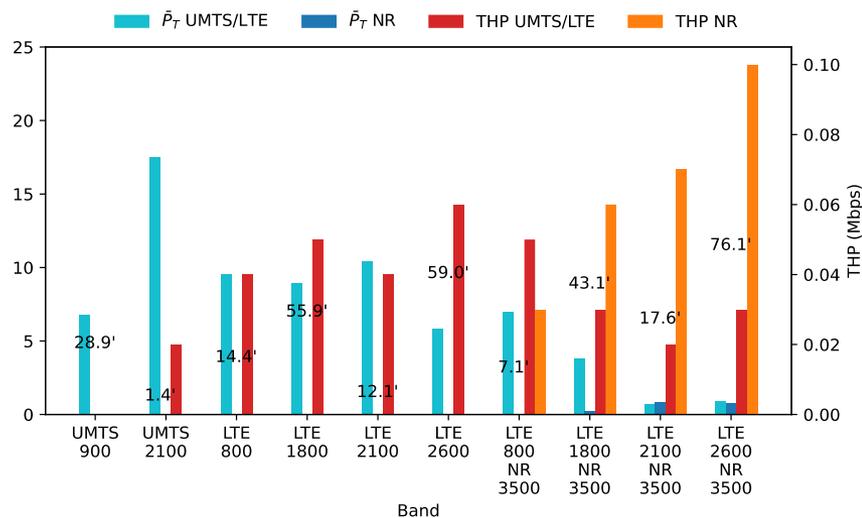
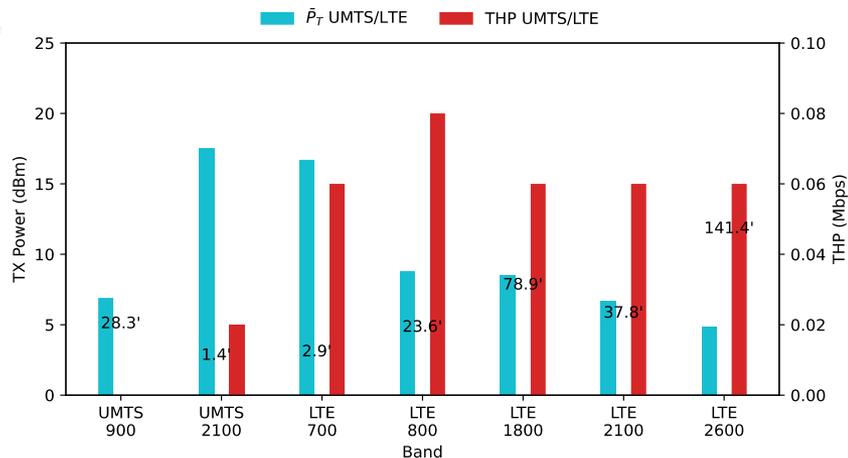
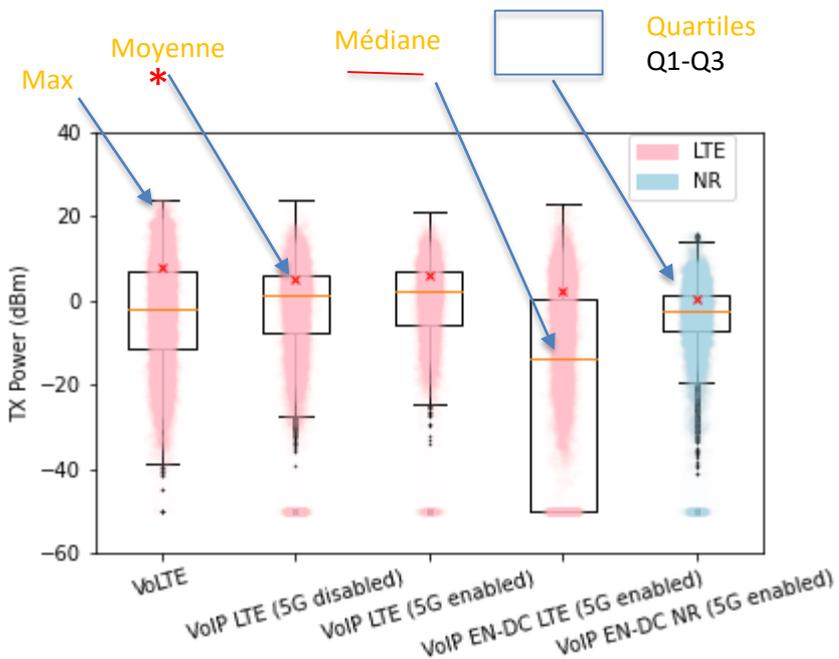
5G autorisée

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 UMTS, LTE et 5G

5G non autorisée

Video via LTE & UMTS

5G autorisée

Video via LTE, 5G

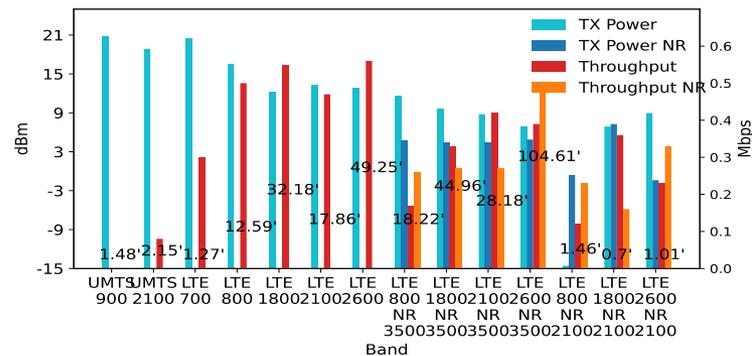
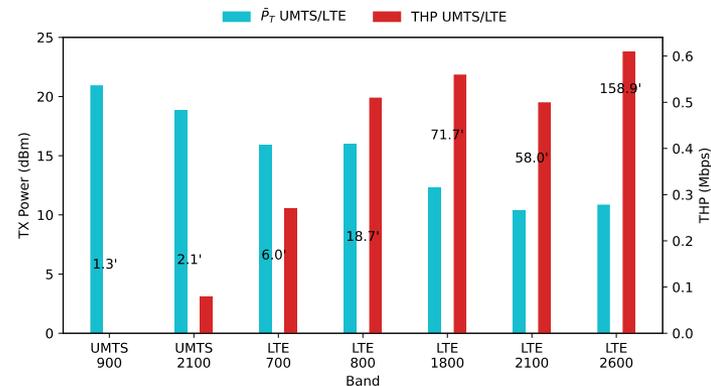
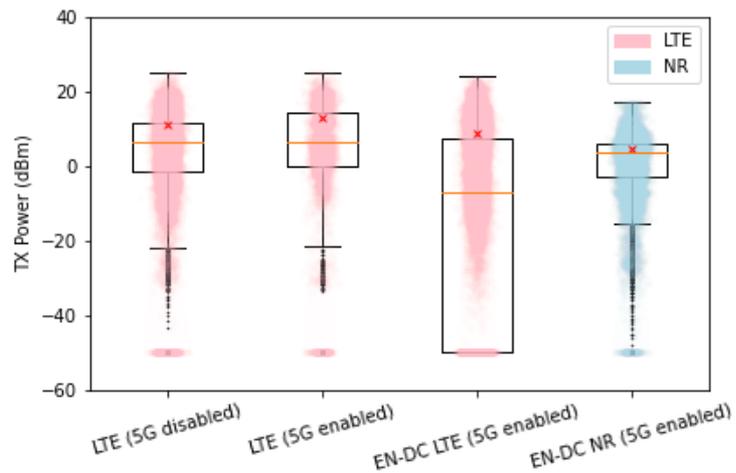
Video via WhatsApp



Video

4G LTE : around 15 mW

5G LTE-NR: below 10 mW

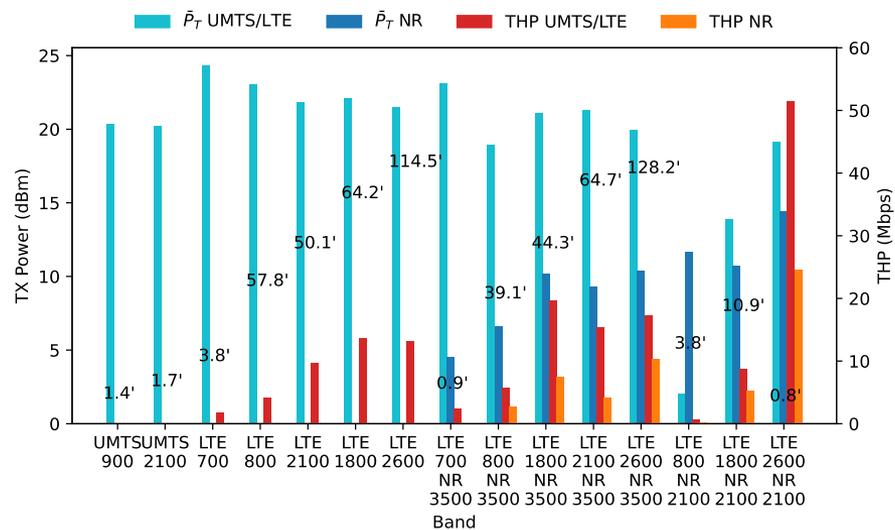
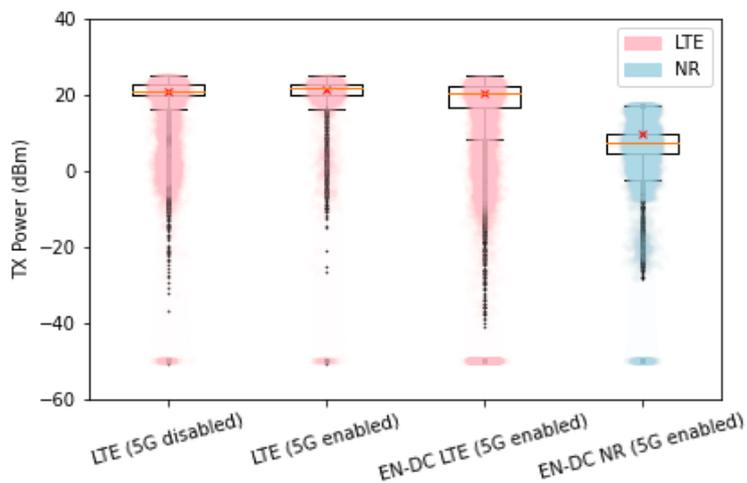
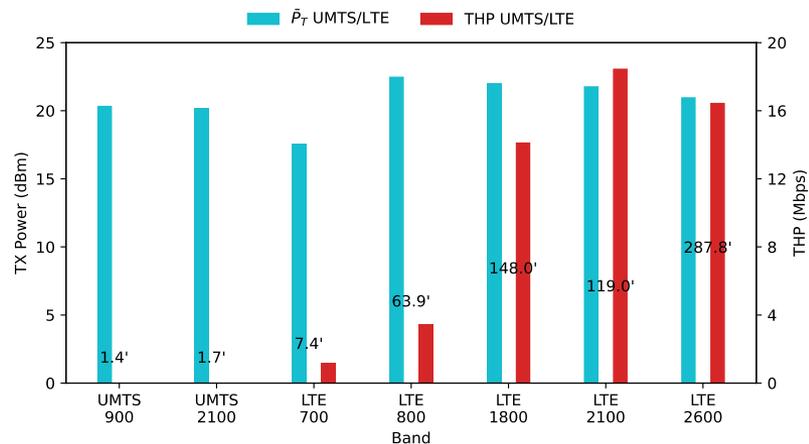


LTE and NR represent band 2600 MHz and 3500 MHz respectively



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)

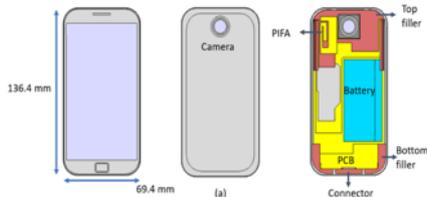
$$REBT = \frac{\text{Energie transmise}}{\text{bits transmis}} = \frac{P * T}{\text{Data}} = \frac{P}{\text{debit}}$$

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		
		ENDC	0.03		
	disabled	UMTS	0	NA	
		LTE	0.06		
		UMTS	0.05		
enabled	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
	disabled	UMTS	0	NA	NA
		LTE	14.79		9.65
		LTE	14.79		9.65

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		
		ENDC	0.03	0.08	
	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



Evaluation des puissances absorbées

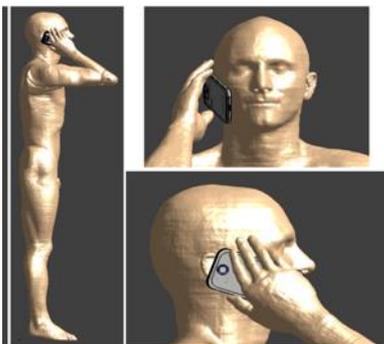


Pour un DAS max sur 10g de 1W/kg

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