

EXPOSITION DU PUBLIC AUX ONDES ELECTROMAGNETIQUES

ETUDE DE L'EXPOSITION DES KITS OREILLETES

Janvier 2022

Résumé

L'utilisation du kit oreillettes fait partie des bons comportements recommandés par les autorités françaises pour réduire son exposition aux ondes radiofréquences émises par les téléphones mobiles.

Le kit oreillettes présente usuellement un niveau de puissance qui élimine tout risque de dépassement des seuils d'exposition. De ce fait, l'ANFR ne procède pas au contrôle régulier de son Débit d'Absorption Spécifique (DAS) et les niveaux de DAS produits par ces appareils sont peu connus. Ce rapport comble cette lacune : pour préciser les ordres de grandeur, il présente une étude réalisée sur différents types de kits oreillettes : 6 kits ont été étudiés, dont 2 filaires et 4 utilisant la technologie Bluetooth.

Ces mesures, réalisées par le laboratoire DAS de l'ANFR, suivent un scénario d'exposition dit « pire cas » car les niveaux de puissance des dispositifs testés sont réglés au maximum durant toute la durée des mesures.

Cette étude confirme que l'utilisation des kits oreillettes, qu'ils soient filaires ou sans fil, permet de réduire le niveau d'exposition maximale aux ondes par rapport à un usage direct du téléphone contre l'oreille.

TABLE DES MATIERES

<u>01.</u>	<u>INTRODUCTION</u>	<u>4</u>
<u>02.</u>	<u>DESCRIPTION DES KITS OREILLETES</u>	<u>4</u>
<u>03.</u>	<u>DESCRIPTION DU LABORATOIRE DE MESURE</u>	<u>6</u>
<u>04.</u>	<u>FREQUENCES TESTEES</u>	<u>8</u>
<u>05.</u>	<u>MODE OPERATOIRE</u>	<u>9</u>
05.1	<i>Mode opératoire des kits filaires</i>	9
05.2	<i>Mode opératoire des kits sans fil</i>	10
05.3	<i>Positionnement des kits oreillettes</i>	10
<u>06.</u>	<u>RESULTATS DE MESURES</u>	<u>17</u>
06.1	<i>Configurations testées</i>	17
06.2	<i>Analyse et statistiques</i>	18
<u>07.</u>	<u>CONCLUSION</u>	<u>21</u>
	<u>ANNEXES</u>	<u>22</u>

01. Introduction

Les kits oreillettes permettent de réduire le niveau d'exposition du corps humain, et plus particulièrement de la tête, aux champs électromagnétiques induits par l'usage des téléphones. Dans cette étude, il est proposé de quantifier le niveau d'exposition produit par les différents types de kit oreillette que l'on trouve sur le marché. Deux catégories de kits oreillettes ont été mises à l'étude :

- les kits filaires, qui propagent le long de leur fil métallique le champ électromagnétique produit par le téléphone auquel ils sont reliés : leurs niveaux de DAS dépendent donc du rayonnement du téléphone à un instant donné ;
- les kits sans fil, qui produisent par eux-mêmes un champ électromagnétique lorsqu'ils communiquent en technologie Bluetooth avec le téléphone auquel ils sont appairés : leurs niveaux de DAS ne dépendent donc pas du rayonnement du téléphone utilisé.

Selon la norme EN 50663:2017, les kits sans fil, parce qu'ils émettent à une puissance inférieure à 20 mW, sont exemptés de l'évaluation du niveau de DAS. Cette étude, en quantifiant l'exposition locale qu'ils produisent, s'attache donc principalement à mieux situer l'ordre de grandeur de leur exposition, notamment en comparaison avec le DAS produit par le terminal.

02. Description des kits oreillettes

Les 6 kits oreillettes utilisés durant l'étude sont décrits dans le Tableau 1. Les photos des kits avec accessoires et packaging sont présentées dans le Tableau 2.

Désignation du kit oreillette	Technologie testée lors de la connexion avec le téléphone
Kit filaire	GSM / WCDMA / LTE
Kit Air-Tube	GSM / WCDMA / LTE
Kit Bluetooth n° 1	Bluetooth
Kit Bluetooth n° 2	Bluetooth
Kit Bluetooth n° 3	Bluetooth
Kit Bluetooth n° 4	Bluetooth

Tableau 1: description des kits oreillettes

Kit filaire	Kit Air-Tube
	
Kit Bluetooth n° 1	Kit Bluetooth n° 2
	
Kit Bluetooth n° 3	Kit Bluetooth n° 4
	

Tableau 2: photos des kits oreillettes, accessoires et packaging

03. Description du laboratoire de mesure

Le laboratoire de mesure de DAS de l'Agence nationale des fréquences est implanté dans les locaux du Centre de Contrôle International de Rambouillet. Il est équipé des instruments décrits dans le Tableau 3 et qui ont été utilisés durant cette étude.



Figure 1: le laboratoire DAS et les équipements utilisés durant l'étude des kits oreillettes (légende : cf. Tableau 3)

Numéro dans la Figure 1	Désignation de l'instrument	Descriptif de l'instrument
n° 1	MT 8821C	Station de base 2G, 3G et 4G
n° 2	MT 8000A	Station de base 5G
n° 3	Link Antenna	Antenne de liaison entre la station de base et le téléphone
n° 4	ART-MAN	Banc de mesure de DAS rapide. Temps de mesure moyen de 10 secondes. Sensibilité de 1 mW/kg
n° 5	SarBorg	Bras robotisé permettant le positionnement automatique des téléphones
n° 6	Contrôleur	Contrôleur du bras robotisé
n° 7	SarLab	Logiciel de pilotage du banc de mesure de DAS

Tableau 3: liste des instruments du laboratoire DAS de l'ANFR

04. Fréquences testées

L'étude du DAS des kits oreillettes est réalisée sur des bandes de fréquences utilisées en France et présentées dans le Tableau 4. En GSM (2G) et WCDMA (3G), la communication entre la station de base et le téléphone est réalisée en mode voix. En LTE (4G), la communication est réalisée en mode transfert de données, comme lors de l'utilisation d'applications de communication (ex : WhatsApp, Skype, Zoom, etc.). Enfin, pour les kits sans fil, la communication avec le téléphone est réalisée par liaison Bluetooth (IEEE 802.15.1).

Technologie utilisée	Fréquences mesurées
GSM 900	880.2 MHz, 897.4 MHz, 914.8 MHz
GSM 1800	1710.2 MHz, 1747.4 MHz, 1784.8 MHz
WCDMA bande 1	1922.4 MHz, 1950 MHz, 1977.6 MHz
WCDMA bande 8	882.4 MHz, 897.6 MHz, 912.6 MHz,
LTE bande 1	1930 MHz, 1950 MHz, 1970 MHz
LTE bande 3	1720 MHz, 1747.5 MHz, 1775 MHz
LTE bande 7	2510 MHz, 2535 MHz, 2560 MHz
LTE bande 8	885 MHz, 897.5 MHz, 910 MHz
LTE bande 20	842 MHz, 847 MHz, 852 MHz
LTE bande 28	713 MHz, 725.5 MHz, 738 MHz
Bluetooth	2402 MHz, 2422 MHz, 2441 MHz, 2461 MHz, 2480 MHz

Tableau 4: liste des fréquences testées durant l'étude des kits oreillettes

05. Mode opératoire

05.1 Mode opératoire des kits filaires

Pour les kits filaires, le mode opératoire est illustré par la Figure 2. Le téléphone (3) est mis en communication avec la station de base MT 8821C (2) via une antenne de liaison (1). Le téléphone émet à puissance maximale en mode voix sur les bandes GSM et WCDMA. En LTE, le téléphone (3) émet à puissance maximale en mode données.

Le téléphone (3) est placé sur une table, à une distance suffisamment grande pour que le banc de mesure de DAS ne capte que le champ électromagnétique émis par le kit filaire (4). Le kit oreillettes (4) est quant à lui positionné sur le « fantôme », au contact du banc de mesure de DAS (5). Cette configuration ne mesure donc que l'exposition que le kit est susceptible de produire au niveau de la tête.



Figure 2: illustration d'un mode opératoire d'une mesure de DAS sur kit filaire. (1) antenne de liaison, (2) station de base, (3) téléphone, (4) kit oreillette filaire, (5) fantôme du banc de mesure DAS.

05.2 Mode opératoire des kits sans fil

Pour les kits sans fil, le mode opératoire est illustré dans la Figure 3. Le téléphone (2) est mis en communication avec la station de base MT 8821C (3) via une antenne de liaison (1).

Le téléphone (2) est placé sur une table à une distance d'environ 4 mètres, distance choisie d'une part pour que le banc de mesure de DAS ne capte que le champ électromagnétique émis par le kit sans fil (4) et d'autre part, pour que le kit sans fil (4) émette avec un débit de transfert permettant d'atteindre une puissance maximale. La communication en Bluetooth n'étant contrôlée ni par logiciel, ni par la station de base, les niveaux de DAS mesurés sont donc obtenus en considérant une émission à 100% du temps.

Enfin, le kit sans fil (4) est positionné au contact du fantôme du banc de mesure de DAS (5). Cette configuration mesure donc également l'exposition que le kit est susceptible de produire au niveau de la tête.



Figure 3: illustration d'un mode opératoire d'une mesure de DAS sur kit sans fil. (1) Antenne de liaison, (2) téléphone, (3) kit oreillette sans-fil, (4) fantôme du banc de mesure DAS.

05.3 Positionnement des kits oreillettes

Dans cette étude, le positionnement des kits oreillettes est réalisé de manière à couvrir les différents cas d'usage lors de leur utilisation durant une communication (par voix ou data). Les 6 kits oreillettes décrits dans la section 02 ont été mesurés sur les 3 fantômes du banc de mesure DAS représentés dans la Figure 4. Ces 3 fantômes représentent les deux côtés de la tête et le tronc ou les membres d'un corps humain, ils contiennent des capteurs immergés dans du liquide qui simule les propriétés diélectriques du corps humain sur la plage de fréquence de 600 MHz à 6 GHz. Ils permettent de mesurer le champ électromagnétique et d'en déduire le DAS des kits oreillettes lorsqu'ils sont positionnés sur l'un des 3 fantômes.

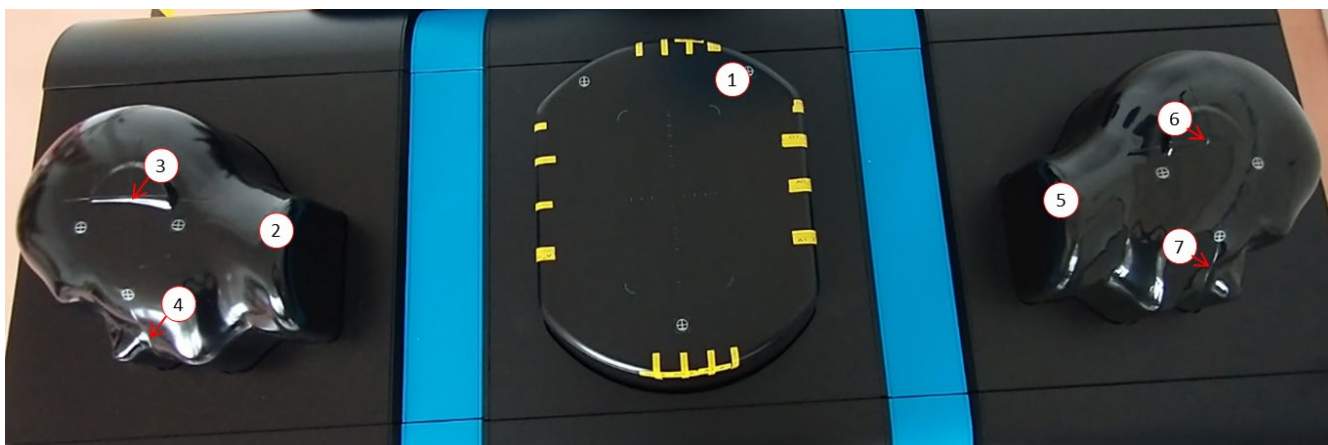


Figure 4: illustration des 3 fantômes du banc de mesure DAS. (1) Fantôme plan, (2) fantôme tête gauche, (3) point de référence oreille gauche, (4) ligne de référence oreille-bouche gauche, (5) fantôme tête droite, (6) point de référence oreille droite (7) ligne

Lors de l'utilisation des kits filaires, l'écouteur est placé au niveau des points de référence oreille gauche (3) et droite (6) de la Figure 4 et le micro est placé au niveau de la bouche des fantômes têtes. Le câble reliant l'écouteur au micro est plaqué contre la ligne de référence oreille-bouche illustrée en (4) et (7) de la Figure 4.

Lors de l'utilisation des kits sans fil, l'écouteur est placé au niveau des points de référence oreille gauche (3) et droite (6) de la Figure 4, et l'axe le plus long du kit est aligné sur la ligne de référence oreille-bouche illustrée en (4) et (7) de la Figure 4.

En complément, des mesures supplémentaires sont réalisées sur le fantôme plan, pour évaluer les niveaux de DAS lorsqu'une partie du kit est tenue à la main (cf. Tableau 5).

Les tableaux 5 et 6 illustrent différents cas d'usages des kits oreillettes.

Les tableaux 7, 8, et 9 illustrent la reproduction des cas d'usage des kits oreillettes positionnés sur le banc DAS durant l'étude.

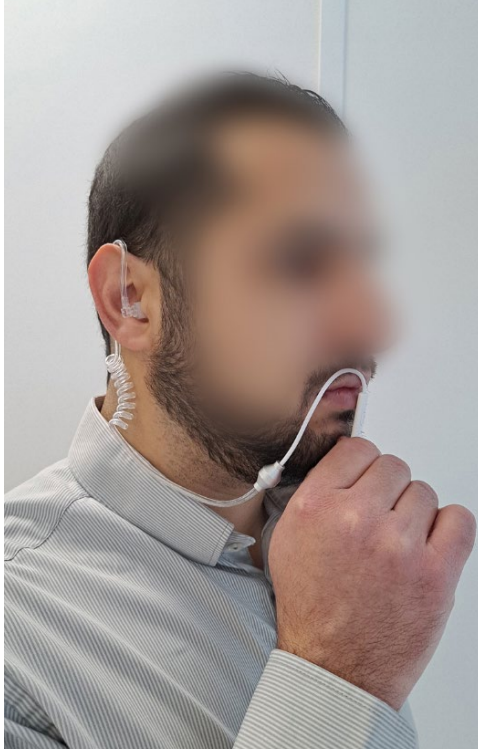
Kit filaire. Ecouteurs portés aux deux oreilles (DAS tête) et maintien du micro dans la main (DAS membre)	Kit filaire. Ecouteurs portés à l'oreille gauche (DAS tête) et maintien du micro dans la main (DAS membre)
	
Kit Air-Tube. Ecouteurs portés à l'oreille droite avec passage du tube derrière l'oreille (DAS tête) et maintien du micro dans la main (DAS membre). Ce cas est nommé Air-Tube position 1 dans la suite de l'étude	Kit Air-Tube. Ecouteurs portés à l'oreille droite avec passage du tube devant l'oreille (DAS tête) et maintien du micro dans la main (DAS membre). Ce cas est nommé Air-Tube position 2 dans la suite de l'étude
	

Tableau 5: illustrations des cas d'usages des kits filaires étudiés

Kit Bluetooth n°1. L'écouteur droit est porté à l'oreille droite (DAS tête) pendant que l'écouteur gauche est tenu à la main (DAS membre)	Kit Bluetooth n°2. L'écouteur droit est porté à l'oreille droite (DAS tête) pendant que l'écouteur gauche est tenu à la main (DAS membre)
	

Tableau 6: illustrations des cas d'usages Kits Bluetooth n°1 et n°2 étudiés

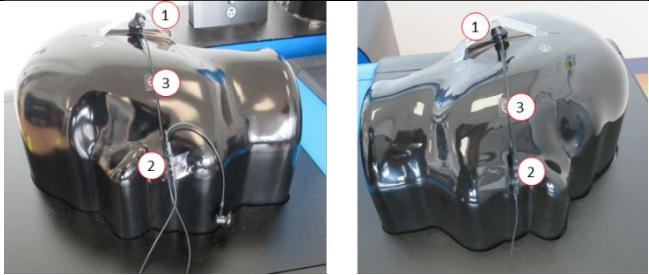
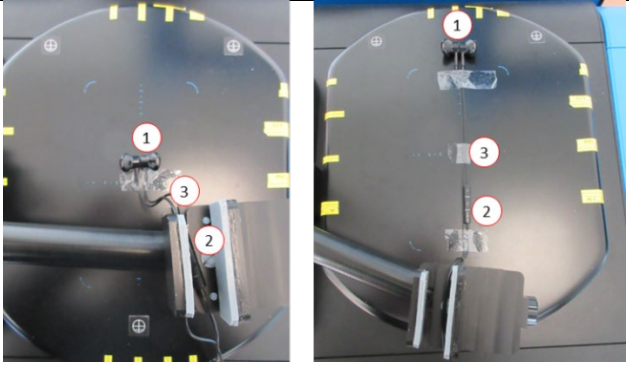
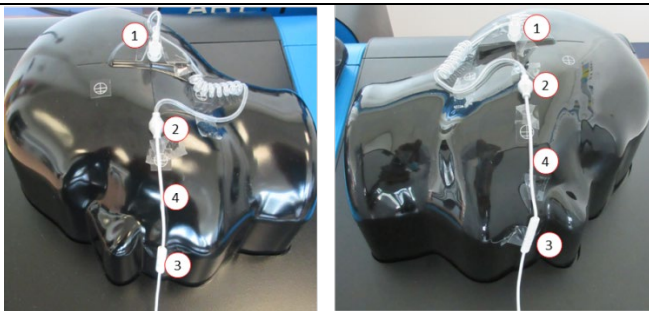
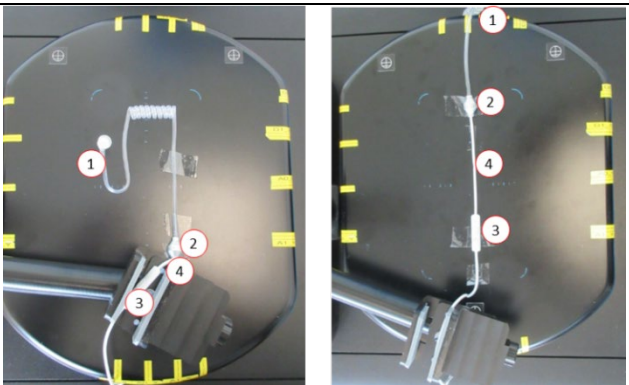
Kit filaire, tête gauche et tête droite	Kit filaire, main et tronc
(1) Ecouleur, (2) micro, (3) câble reliant l'écouteur au micro	
	
Kit Air-Tube, tête gauche et tête droite	Kit Air-Tube, main et tronc
(1) Ecouleur, (2) Convertisseur, (3) micro, (4) câble reliant le convertisseur au micro	
	

Tableau 7: photos des kits oreillettes filaires positionnés dans différentes configurations

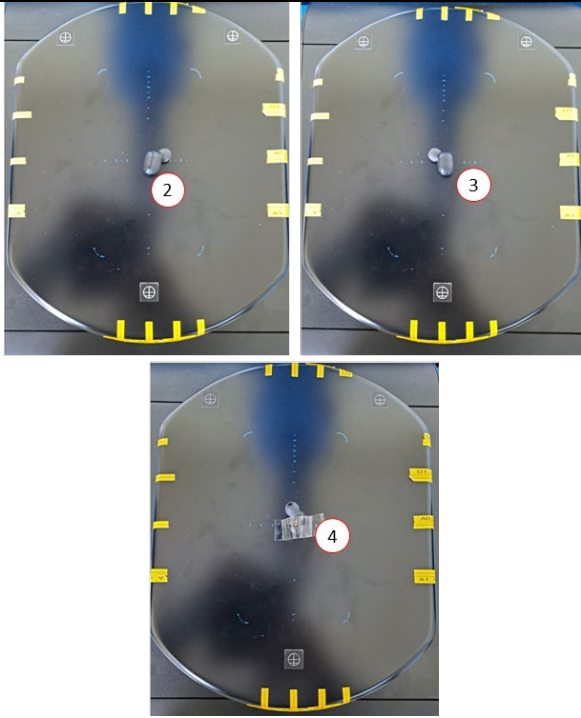
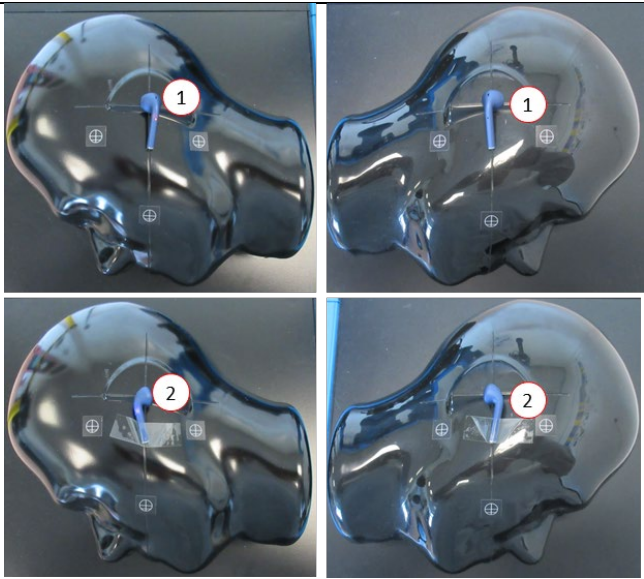
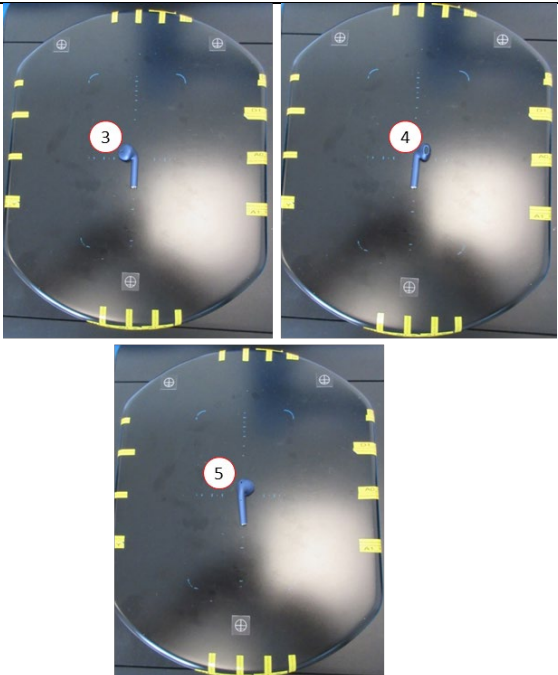
Kit Bluetooth n°1, tête gauche et tête droite	Kit Bluetooth n°1, membres
(1) Ecouteur et micro position verticale, (2) Ecouteur et micro face-1, (3) Ecouteur et micro face-2, (4) Ecouteur et micro face-3	
	
Kit Bluetooth n°2, tête gauche et tête droite	Kit Bluetooth n°2, membres
(1) Ecouteur et micro position horizontale, (2) Ecouteur et micro position verticale, (3) Ecouteur et micro face-1, (4) Ecouteur et micro face-2, (5) Ecouteur et micro face-3	
	

Tableau 8: photos des kits Bluetooth n°1 et n°2 positionnés dans différentes configurations

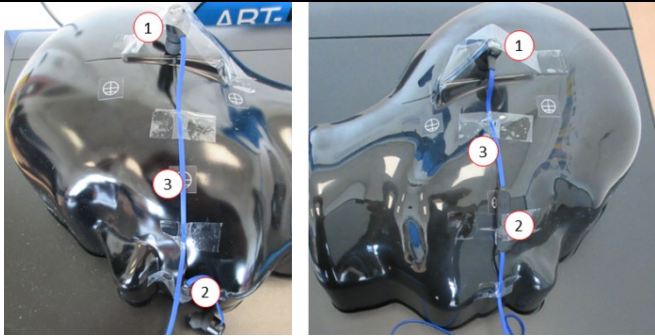
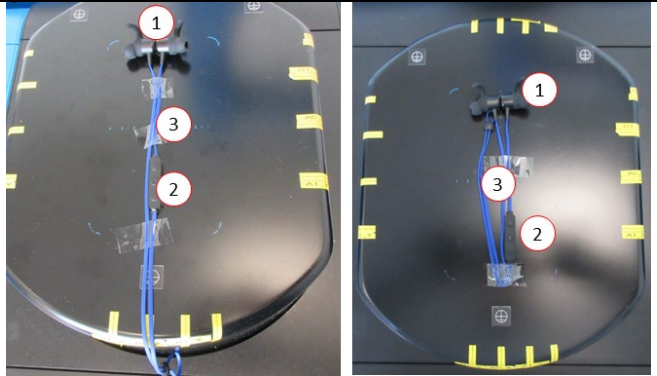
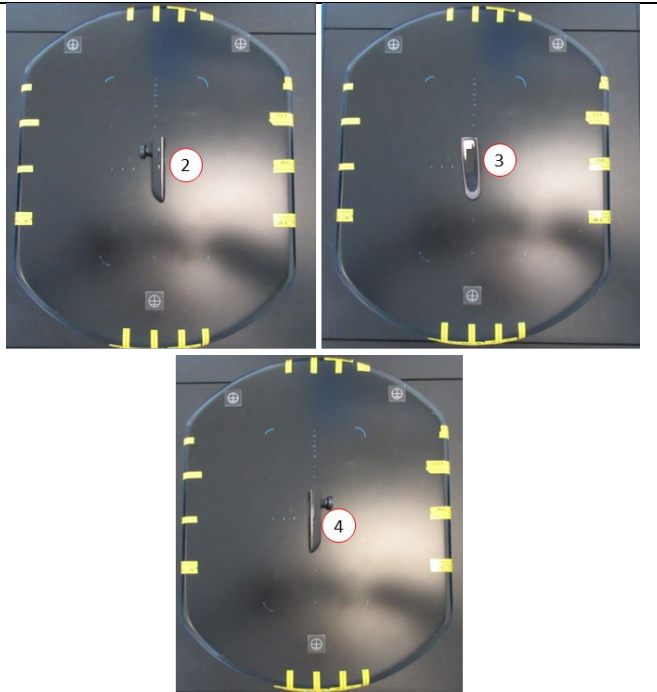
Kit Bluetooth n°3, tête gauche et tête droite	Kit Bluetooth n°3, membres
(1) Ecouteur, (2) micro, (3) câble reliant l'écouteur au micro	
	
Kit Bluetooth n°4, tête gauche et tête droite	Kit Bluetooth n°4, membres
(1) Ecouteur et micro position verticale, (2) Ecouteur et micro face-1, (3) Ecouteur et micro face-2, (4) Ecouteur et micro face-3	
	

Tableau 9: photos des kits Bluetooth n°3 et n°4 positionnés dans différentes configurations

06. Résultats de mesures

06.1 Configurations testées

Au total, 920 mesures de DAS ont été réalisées sur ces 6 kits oreillettes. Le tableau 10 détaille l'ensemble des configurations mesurées. Il s'y trouve naturellement une quantité plus importante de mesures sur les kits filaires, qui sont testés sur toutes les bandes des technologies 2G, 3G et 4G (cf. section 04) puisque l'exposition produite par le kit est le reflet des différents modes de fonctionnement du téléphone. En outre, les kits filaires ont été mesurés avec deux modèles de téléphone, pour apprécier la variabilité du couplage entre le kit et le téléphone en fonction du modèle.

En revanche, les mesures des kits sans fil ne couvrent qu'une seule bande, correspondant à la technologie Bluetooth mise en œuvre. Comme leur niveau de DAS reste indépendant de celui du téléphone, une seule série de tests a été réalisée pour chaque kit sans fil.

Désignation du kit oreillette	Nombre de fréquences testées	Nombre de positions tête	Nombre de positions membres	Nombre de téléphones connectés aux kits	Nombre de mesures de DAS
Kit filaire	30	4	2	2	360
Kit Air-Tube	30	6	2	2	420
Kit Bluetooth n°1	5	4	3	1	35
Kit Bluetooth n°2	5	4	3	1	35
Kit Bluetooth n°3	5	4	3	1	35
Kit Bluetooth n°4	5	4	3	1	35

Tableau 10: détail des configurations testées sur le 6 kits oreillettes

06.2 Analyse et statistiques

Les valeurs de DAS maximales obtenues sont présentées dans les tableaux 11 et 12. Cette étude montre qu'en utilisant les kits oreillettes, l'exposition au DAS est en moyenne 9 fois plus faible à la tête (moyenne DAS tête des mobiles : 0,624 W/kg) et 12 fois plus faible aux membres (moyenne DAS membres des mobiles : 2,3 W/kg) par rapport aux valeurs de DAS des terminaux mobiles contrôlés ¹ par l'ANFR.

Désignation du kit oreillette	DAS tête [W/kg]	Moyenne DAS tête des mobiles [W/kg]	Ecart DAS kit par rapport à la moyenne DAS tête
Kit filaire	0,034	0,624	-95%
Air-Tube position n°1	0,069		-89%
Ait-Tube position n°2	0,030		-95%
Kit Bluetooth n°1	0,061		-90%
Kit Bluetooth n°2	0,061		-90%
Kit Bluetooth n°3	0,155		-75%
Kit Bluetooth n°4	0,032		-95%
Moyenne	0,063		-90%

Tableau 11: valeurs de DAS maximal tête des kits testés et comparaison au DAS moyen

¹ Source : data.anfr.fr

Désignation du kit oreillette	DAS membre [W/kg]	Moyenne DAS membre des mobiles [W/kg]	Ecart DAS kit par rapport à la moyenne DAS membre
Kit filaire	0,131	2,300	-94%
Air-Tube	0,105		-95%
Kit Bluetooth n°1	0,178		-92%
Kit Bluetooth n°2	0,154		-83%
Kit Bluetooth n°3	0,291		-87%
Kit Bluetooth n°4	0,246		-89%
Moyenne	0,184		-92%

Tableau 12: valeurs de DAS maximal membre des kits testés et comparaison au DAS moyen

Les statistiques complètes portent sur l'ensemble des valeurs de DAS mesurées dans cette étude et sont données dans le tableau 13. Les distributions des valeurs de DAS sous forme d'histogrammes sont présentées dans l'Annexe 1, et l'évolution du DAS en fonction de la fréquence et du modèle du téléphone utilisé dans le cas de l'évaluation des kits filaires, est présentée dans l'Annexe 2 de ce rapport.

Grandeurs	DAS de l'ensemble de kits oreillettes	DAS tête de l'ensemble de kits oreillettes	DAS membre de l'ensemble de kits oreillettes
Valeur moyenne [W/kg]	0,014	0,007	0,029
Ecart type [W/kg]	0,031	0,017	0,045
Médiane [W/kg]	0,002	0,001	0,009
Quantile à 99 % [W/kg]	0,155	0,105	0,183
Quantile à 90 % [W/kg]	0,041	0,020	0,087

Tableau 13: statistiques des variations du DAS des 6 kits oreillettes

L'ensemble de ces données montrent que :

- Dans 99 % des cas, les kits oreillettes portés à la tête ont un DAS plus de 19 fois inférieur au seuil réglementaire de DAS tête ;
- Dans 99 % des cas, les kits oreillettes au contact d'un membre ont un DAS plus de 21 fois inférieur au seuil réglementaire de DAS membre ;
- Le DAS des kits filaires est plus faible que le DAS des kits sans fil, comme le montrent les figures 15 et 16; dans la mesure où l'exposition du kit filaire a été évaluée alors que le téléphone était à pleine puissance, ce qui ne correspond pas à l'usage courant, l'exposition typique du kit filaire est sans doute encore plus favorable au quotidien ;
- Le DAS du kit Air-Tube est plus faible que le DAS du kit filaire à condition que le câble reliant le convertisseur au micro ne soit pas collé à la joue ;
- Les kits filaires présentent des niveaux de DAS plus forts dans la bande des 700 MHz en comparaison avec les bandes les plus hautes comme le montre la figure 15.

07. Conclusion

En conclusion, cette étude confirme que l'utilisation des kits oreillettes, qu'ils soient filaires ou sans fil, permet de réduire l'exposition maximale d'un facteur d'environ 10 par rapport à l'usage direct du téléphone contre l'oreille.

Dans tous les cas, le DAS des kits filaires reste intrinsèquement lié au couplage induit avec les éléments rayonnants du téléphone auquel il est relié, ce qui explique les différences de niveaux de DAS observés dans la figure 15 où les kits filaires sont mesurés avec deux téléphones différents. Les kits sans fil produisent quant à eux un DAS en rapport avec le niveau de puissance émis en technologie Bluetooth, indépendamment des téléphones utilisés.

Les mesures réalisées par le laboratoire DAS de l'ANFR sont faites selon un scénario d'exposition dit « pire cas » car les niveaux de puissance des dispositifs testés sont réglés au maximum durant toute la durée des mesures, ce qui s'apparente à un usage des kits dans une configuration où la qualité du signal perçue par le dispositif sous test est très médiocre, ce qui est rarement le cas lors d'un usage classique.

Annexes

ANNEXE 1 : HISTOGRAMMES DETAILLES DES KITS OREILLETES

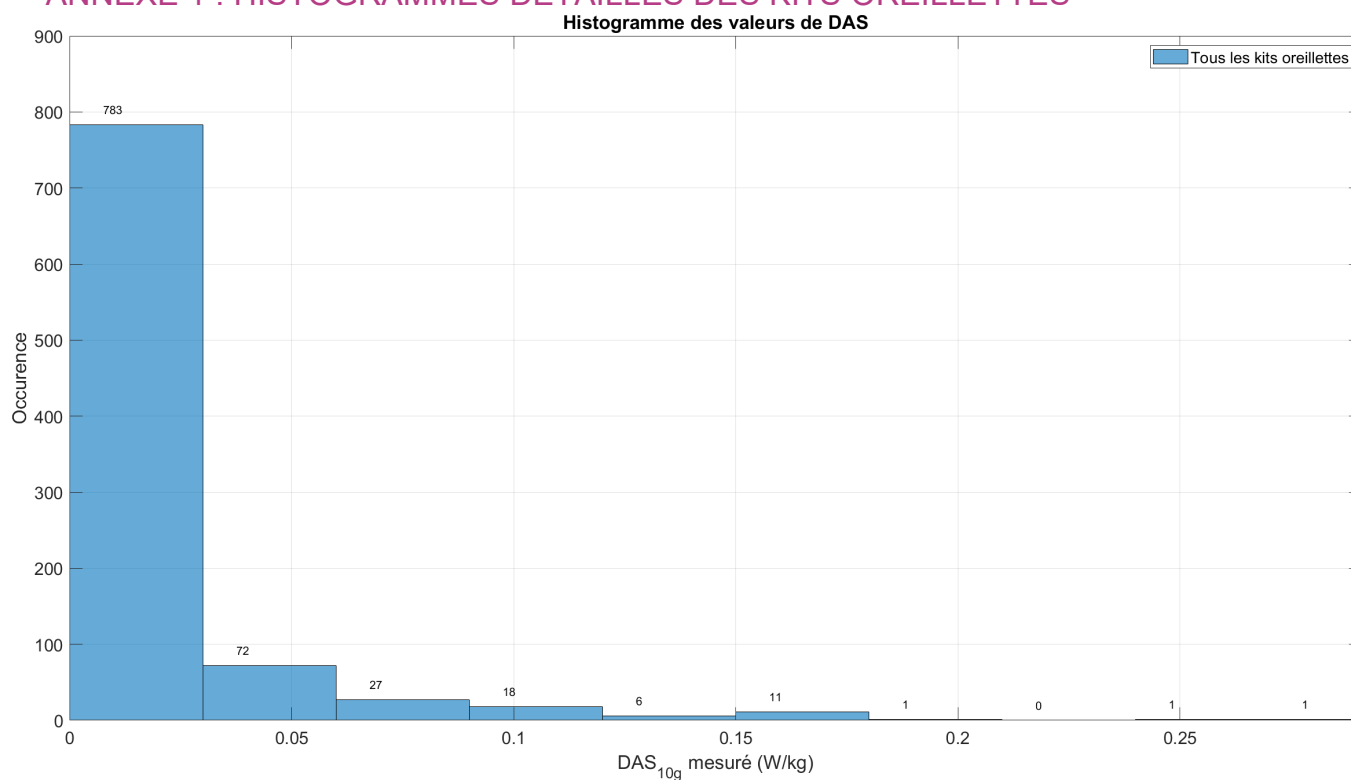


Figure 5: histogramme des valeurs de DAS de l'ensemble des kits oreillettes présentés dans cette étude

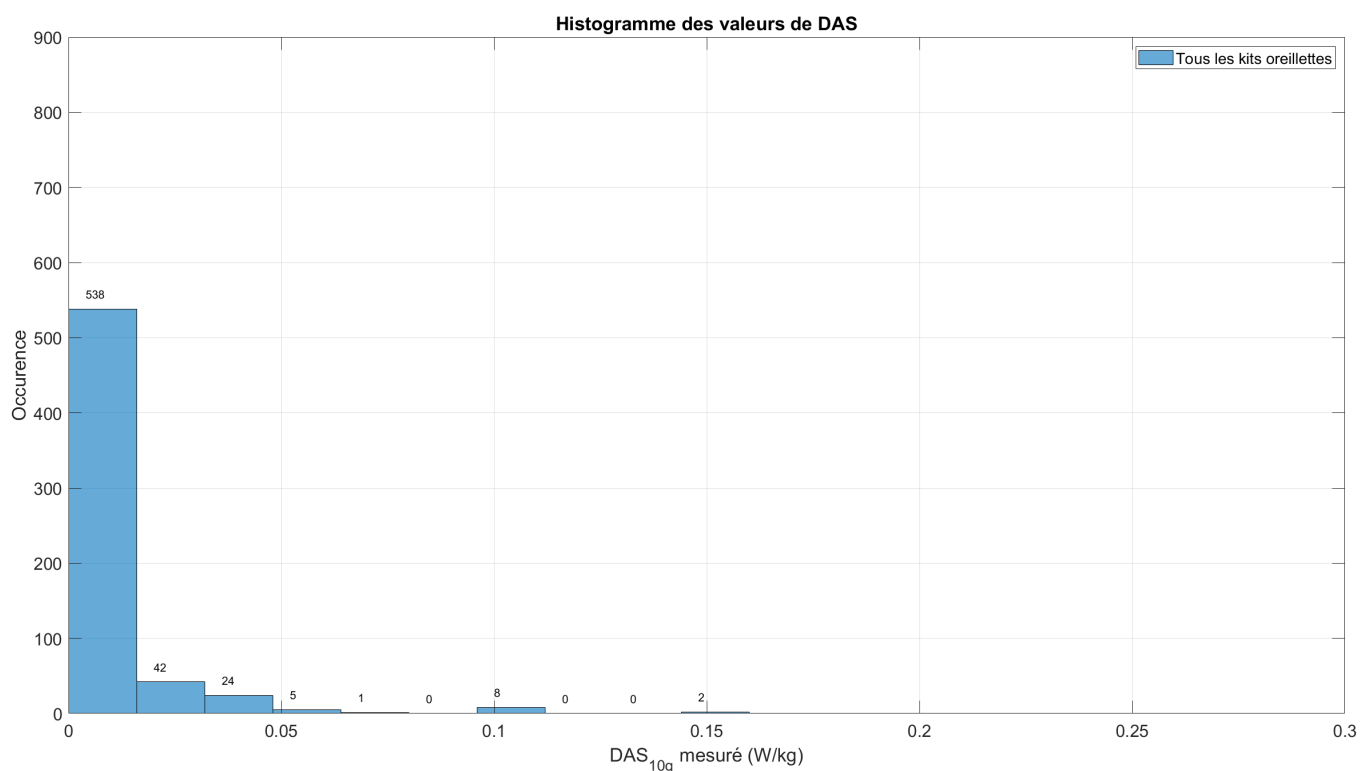


Figure 6: histogramme des valeurs de DAS tête de l'ensemble des kits oreillettes

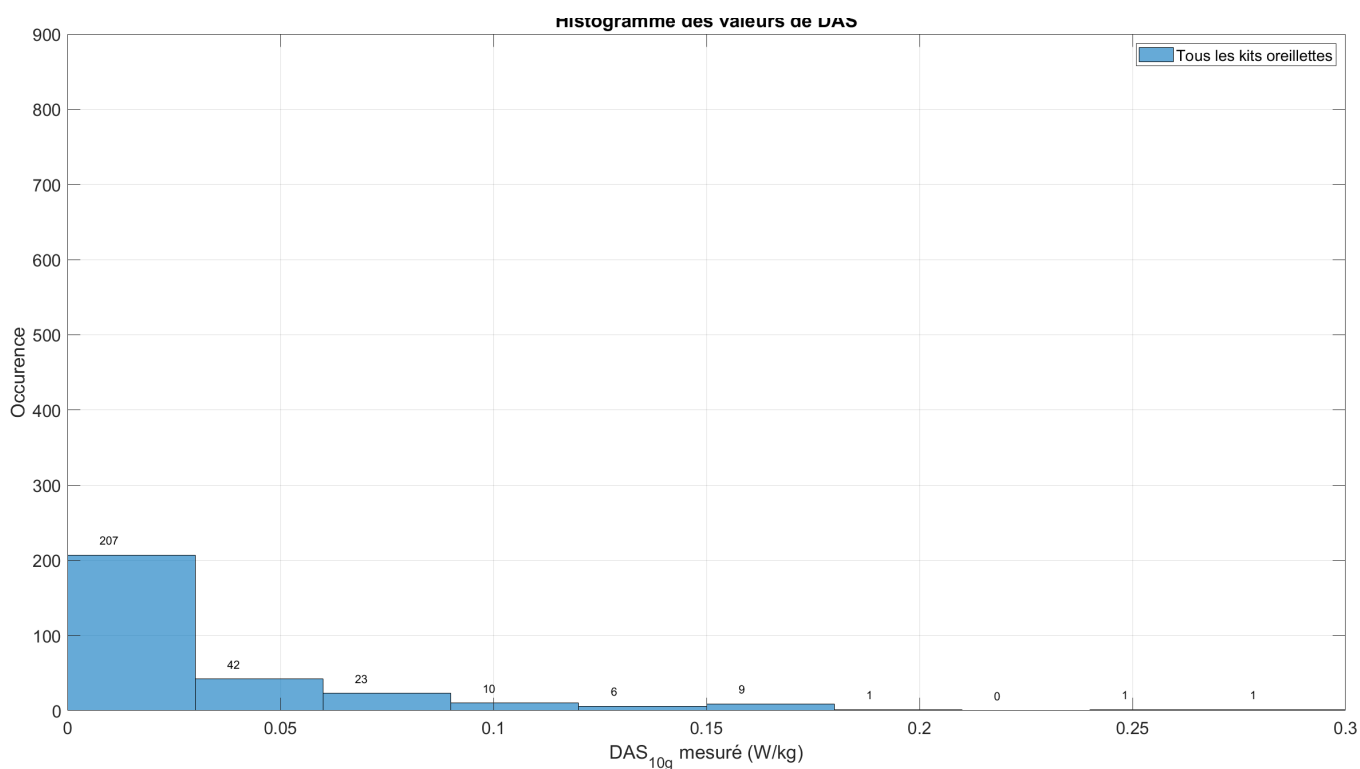


Figure 7: histogramme des valeurs de DAS membre de l'ensemble des kits oreillettes

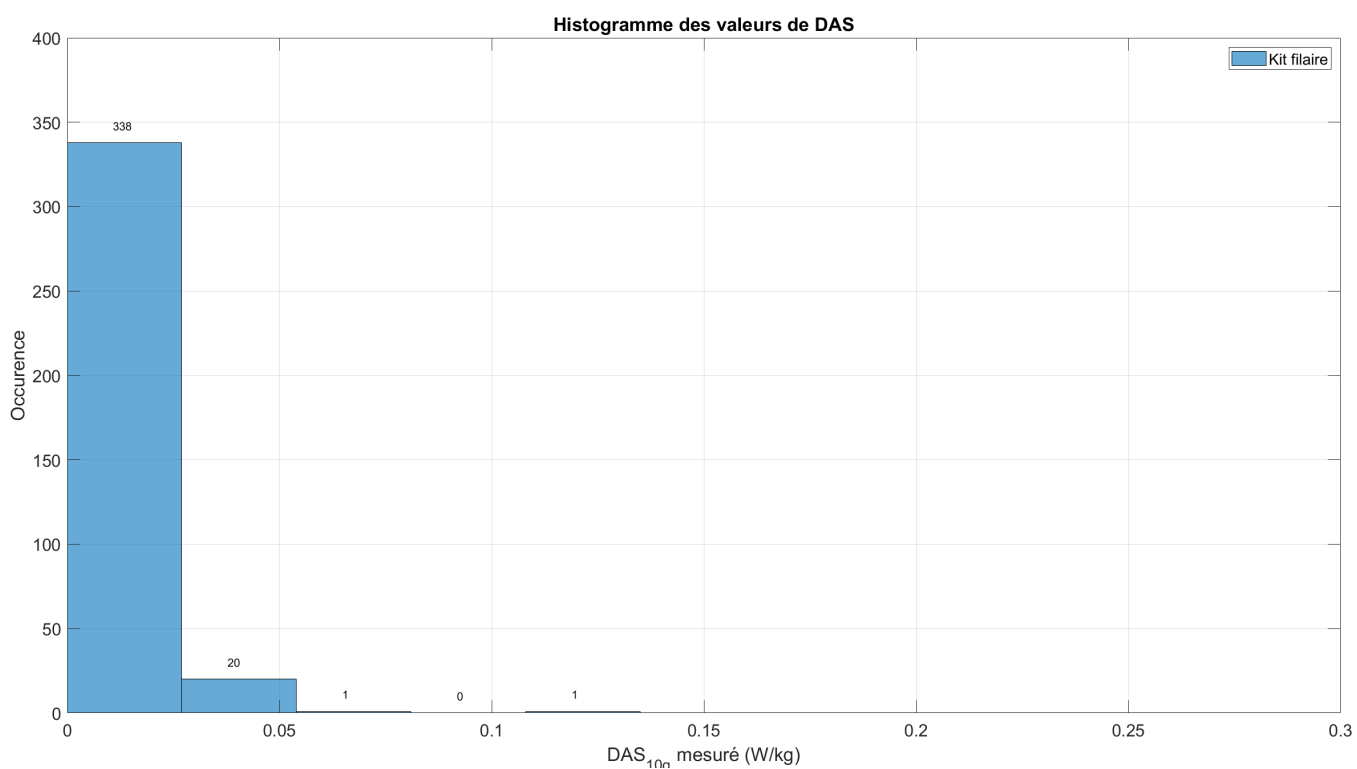


Figure 8: histogramme des valeurs de DAS du kit filaire présenté dans cette étude

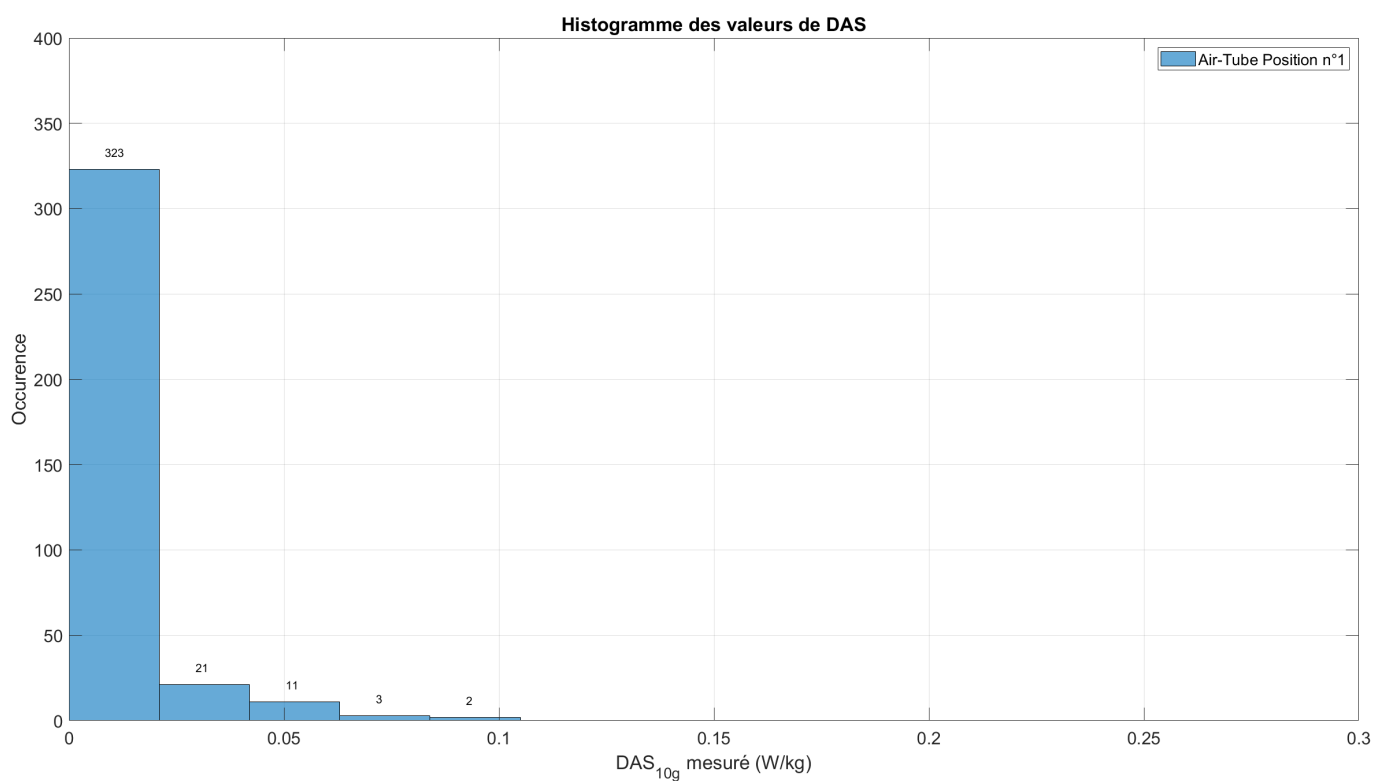


Figure 9: histogramme des valeurs de DAS du kit Air-Tube présenté dans cette étude, incluant la position n°1 à la tête.

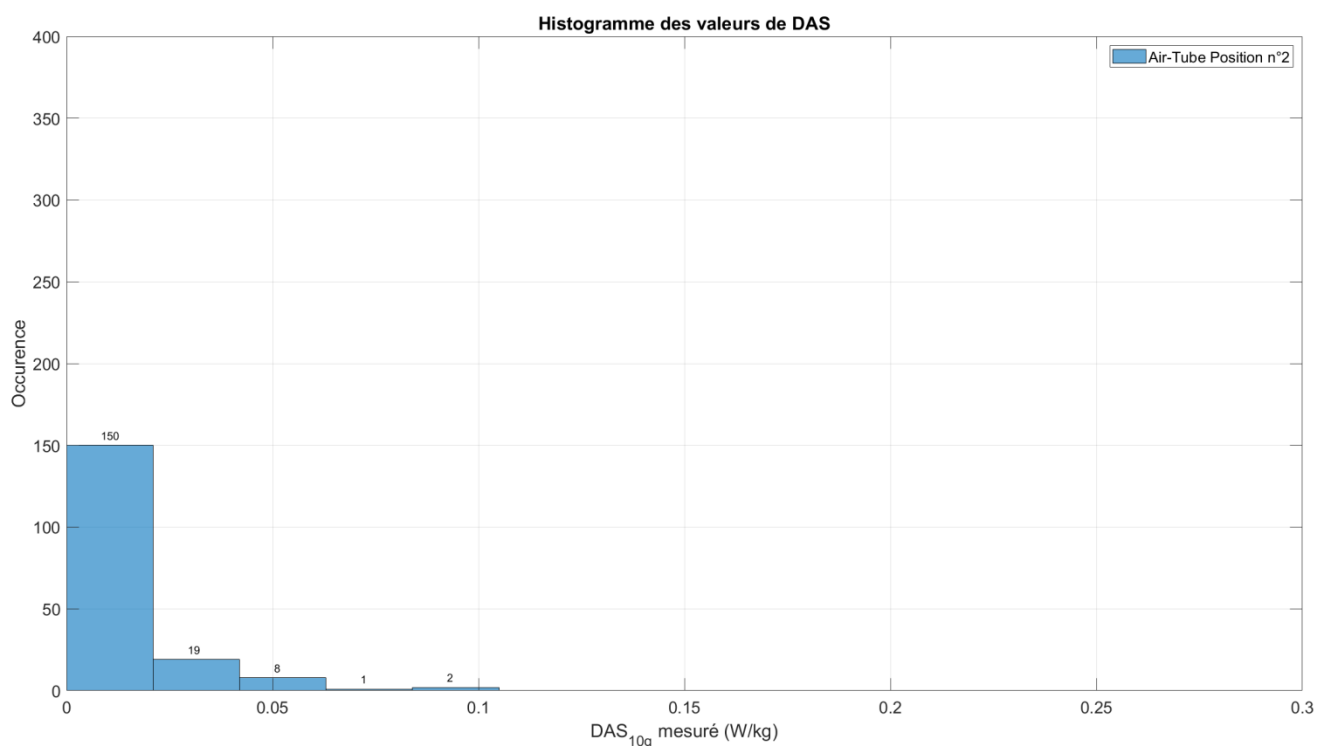


Figure 10: histogramme des valeurs de DAS du kit Air-Tube présenté dans cette étude, incluant la position n°1 à la tête.

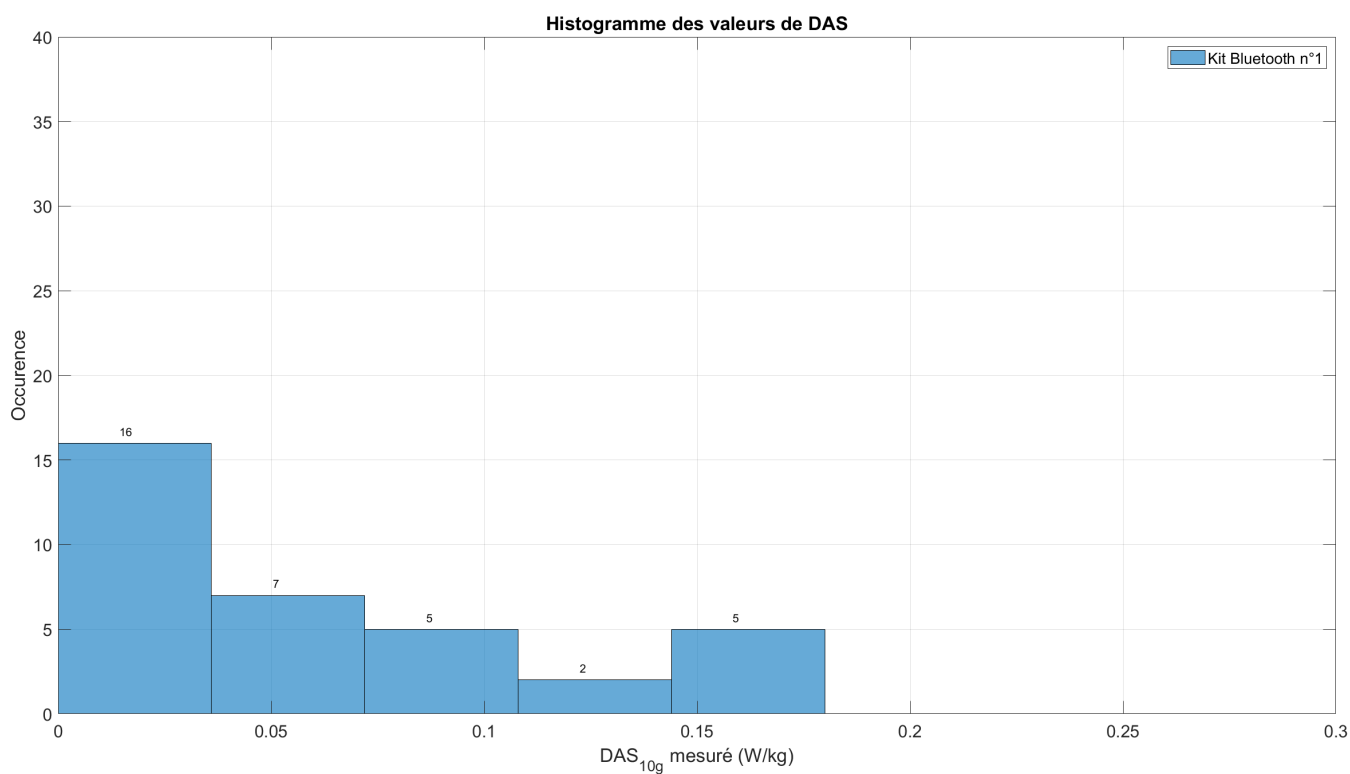


Figure 11: histogramme des valeurs de DAS du kit Bluetooth n°1 présenté dans cette étude

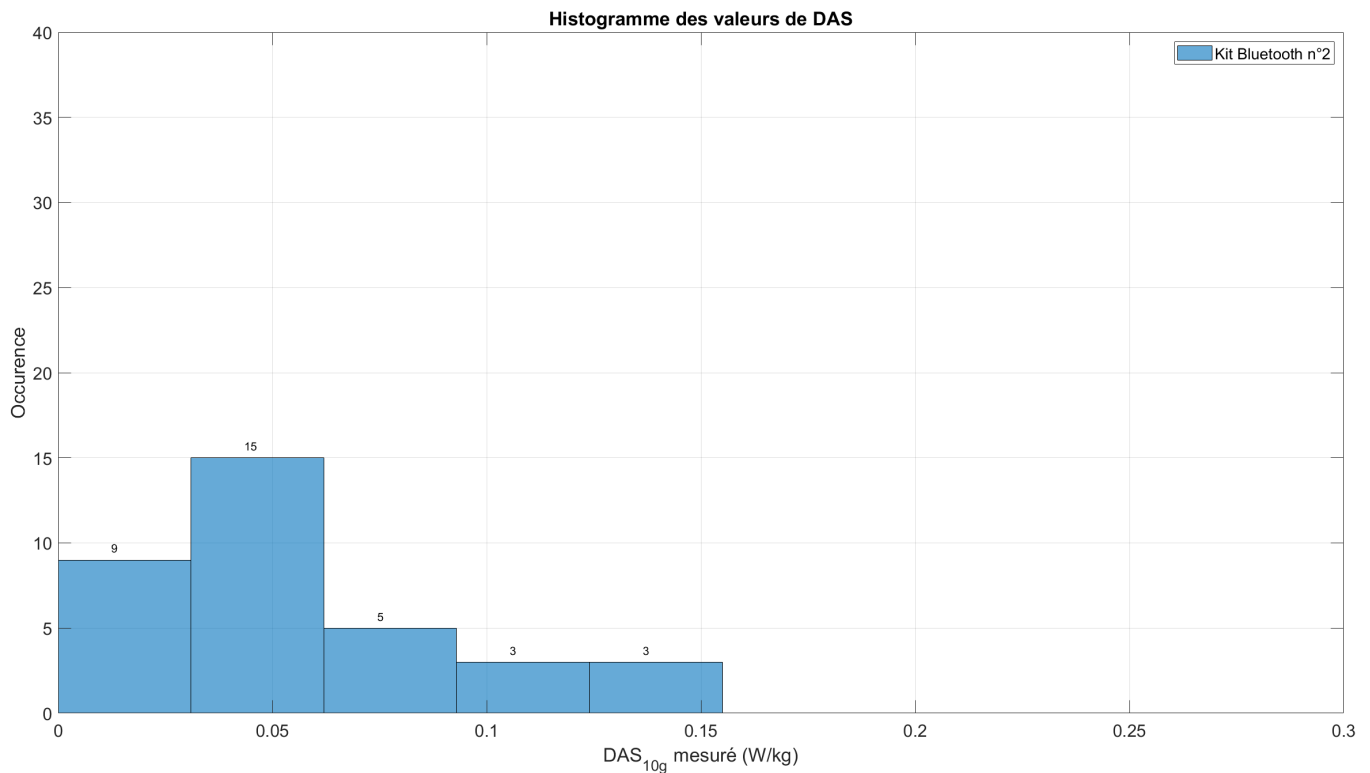


Figure 12: histogramme des valeurs de DAS du kit Bluetooth n° 2 présenté dans cette étude

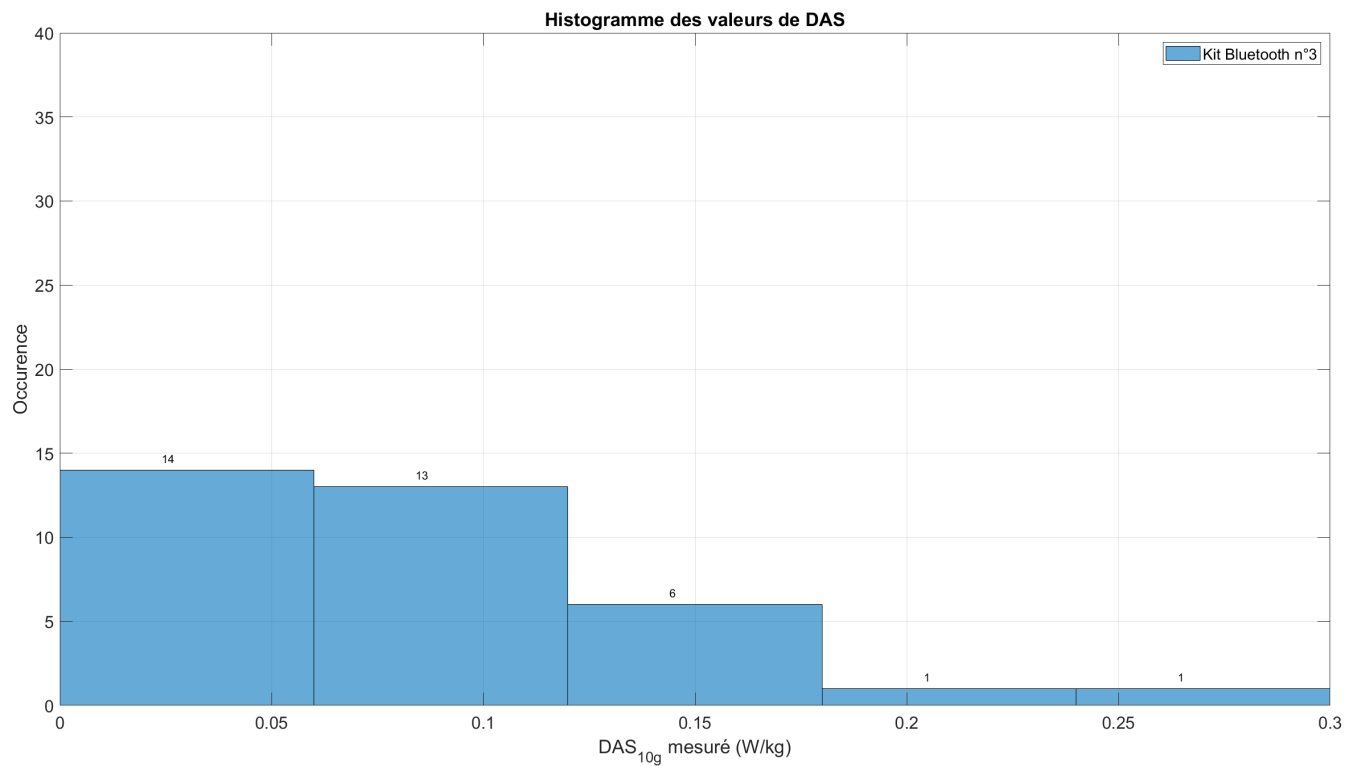


Figure 13: histogramme des valeurs de DAS du kit Bluetooth n° 3 présenté dans cette étude

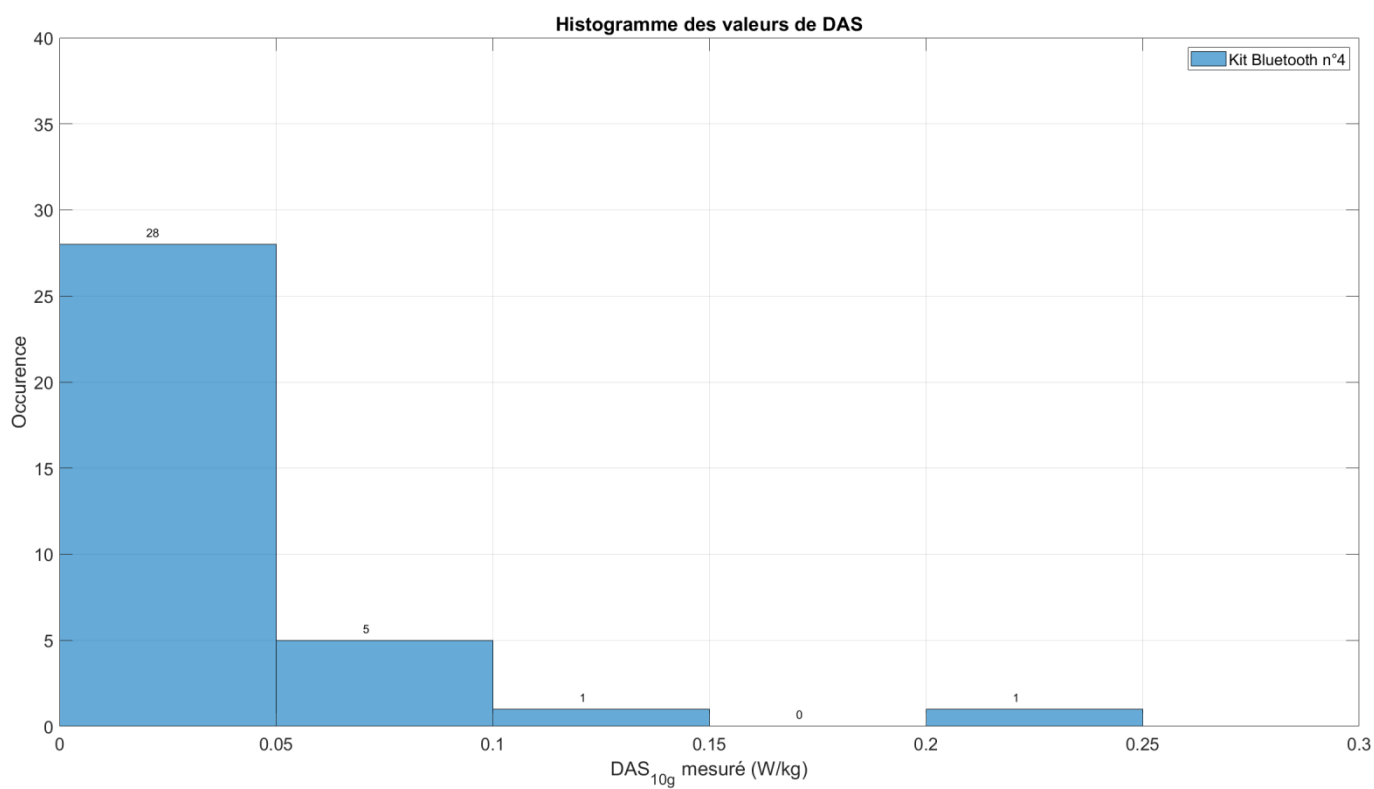


Figure 14: histogramme des valeurs de DAS du kit Bluetooth n° 4 présenté dans cette étude

ANNEXE 2 : EVOLUTION DU DAS DES KITS OREILLETTES EN FONCTION DE LA FREQUENCE

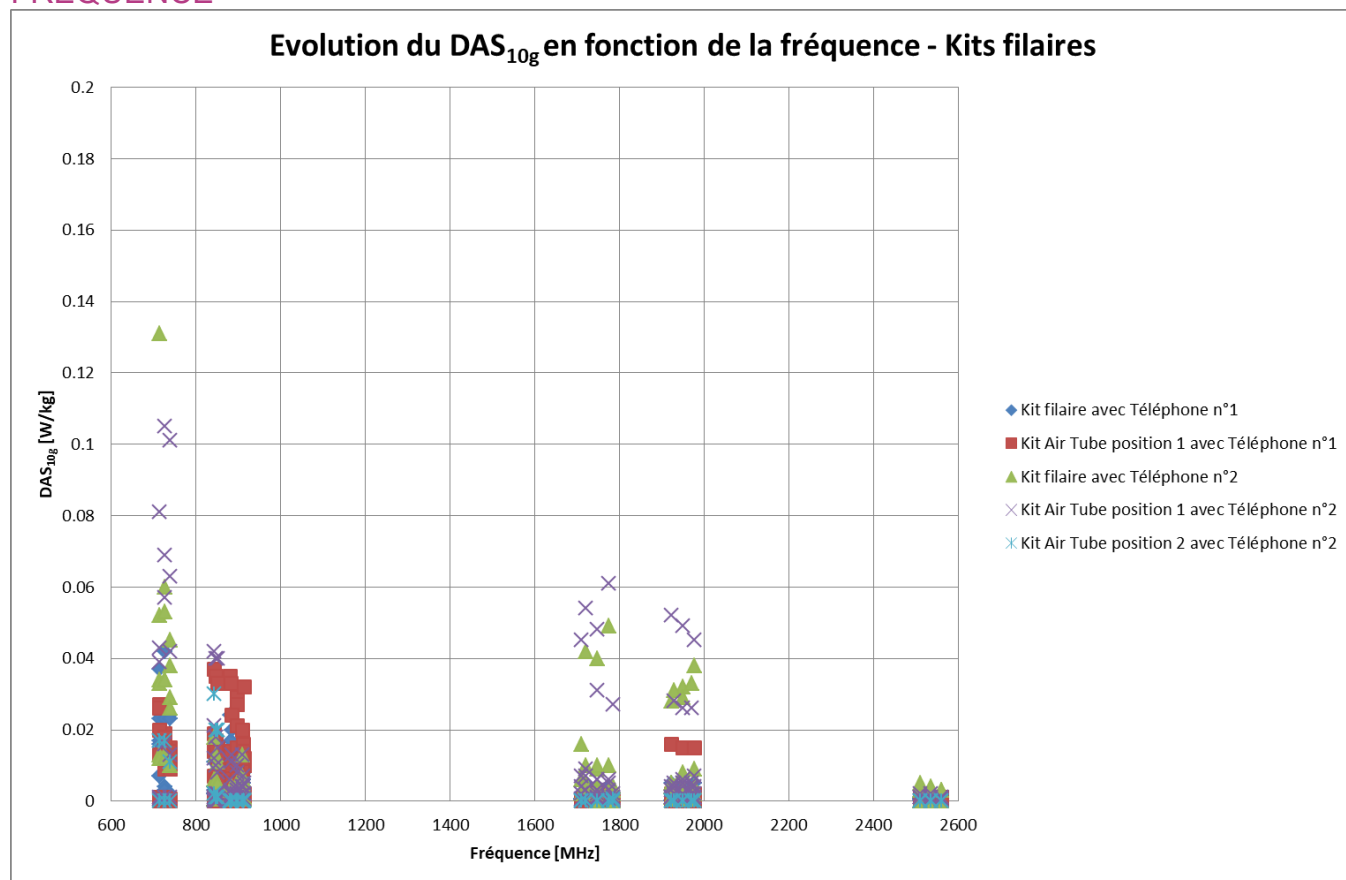


Figure 15: évolution du DAS des kits filaires dans la bande de fréquence [700 - 2600] MHz

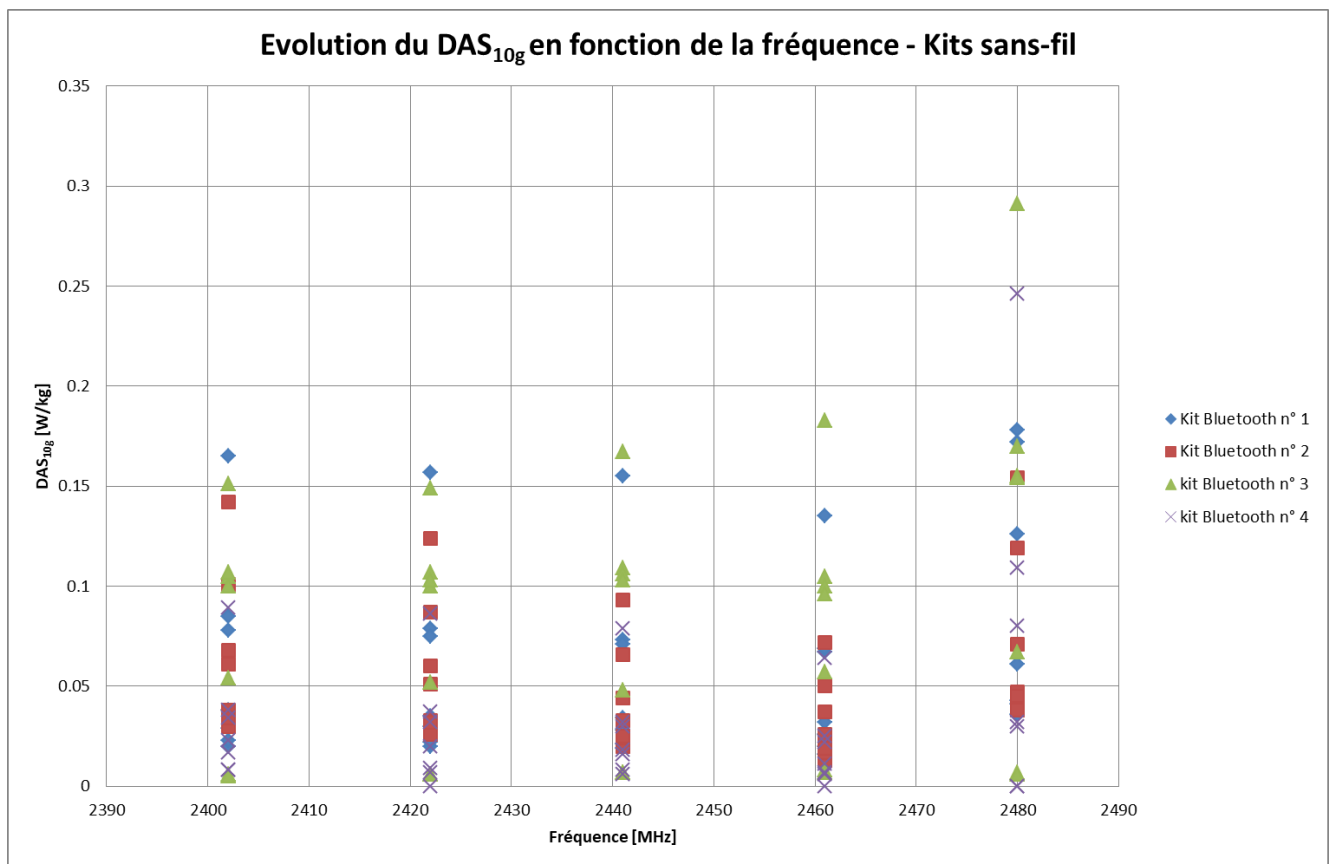


Figure 16: évolution du DAS des kits sans fil dans la bande de fréquence [2400 -2480] MHz