



Campagne nationale de mesure des radiofréquences dans les collèges

Convention DGPR-CSTB n°2201070605

Sutharsini SIVANANTHAM, Ingrid SCHNEIDER, Corinne MANDIN
Direction Santé – Confort

Rapport référencé CSTB-DSC/2020-005
Rapport final – Juin 2020

SOMMAIRE

1	Introduction	5
2	Méthode de collecte et d'exploitation des données	6
2.1	Constitution de l'échantillon	6
2.2	Réalisation des mesures de radiofréquences	6
2.3	Extrapolation des résultats bruts au parc national des collèges	7
2.4	Base de données fournie par l'Agence nationale des fréquences (ANFR)	7
2.5	Mise en perspective par rapport aux valeurs limites réglementaires	9
2.6	Méthodes statistiques utilisées	9
3	Niveaux de radiofréquences dans les collèges en France	10
3.1	Niveaux de radiofréquences globaux (cas A)	11
3.2	Niveaux de radiofréquences détaillés par type d'émetteur et bande de fréquences (cas B)	11
4	Déterminants des niveaux de radiofréquences dans les collèges	13
4.1	Identification des potentiels facteurs explicatifs	13
4.2	Analyse des corrélations entre les niveaux de radiofréquences et les variables explicatives	15
4.3	Modèle explicatif du niveau de radiofréquences	16
5	Conclusion.....	17
5.1	Niveaux de radiofréquences	17
5.2	Analyse des radiofréquences par service	17
5.3	Déterminants des niveaux de radiofréquences	17
6	Références	18
	ANNEXES	19

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Liste des données fournies par l'ANFR.....	7
Tableau 2. Distribution des niveaux de radiofréquences dans les collèges en France métropolitaine (N = 6 916).....	11
Tableau 3. Distribution des niveaux de radiofréquences détaillés par type d'émetteur et bande de fréquences dans les collèges en France métropolitaine (N = 5 506)	12
Tableau 4. Niveaux médians de radiofréquences selon les variables explicatives, dans le parc national des collèges en France métropolitaine (N = 6 916) (cas A du protocole de mesure de l'ANFR (ANFR, DR15))	14
Tableau 5. Synthèse des corrélations entre le niveau de radiofréquences et ses facteurs explicatifs (N = 6 916).....	16
Tableau 6. Modèle de régression linéaire multivariée du niveau de radiofréquences dans les collèges en France métropolitaine (N = 6 916)	16
Tableau 7. Taille de l'échantillon estimée pour différentes valeurs de la précision relative	20
Tableau 8. Plan de sondage, nombre de collèges instrumentés et restant à instrumenter	21
Tableau 9. Comparaison de la répartition par strate des collèges en France et dans l'échantillon pour le calcul des poids de redressement	24
Tableau 10. Distribution des variables explicatives quantitatives (N = 6 916).....	26
Tableau 11. Distribution des variables explicatives qualitatives (N = 6 916)	26
Tableau 12. Corrélations entre le niveau global de radiofréquences et les variables explicatives quantitatives (test de Pearson) (N = 6 916).....	28
Tableau 13. Corrélations entre le niveau global de radiofréquences et les variables explicatives qualitatives (ANOVA) (N = 6 916)	28

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Valeurs limites réglementaires fixées en France par le décret du 3 mai 2002 n° 2002-7759	
Figure 2. Répartition géographique des 141 collèges ayant participé à la campagne de mesure des radiofréquences selon leur densité urbaine (rurale/urbaine)10	10
Figure 3. Synthèse des contributeurs principaux des niveaux de radiofréquences dans les collèges en France métropolitaine selon la typologie de l’environnement (N = 5 506)12	12
Figure 4. Zones climatiques de la France métropolitaine (RT 2012).....22	22

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1. Échantillonnage des collèges20	20
Annexe 2. Zones climatiques de la France métropolitaine22	22
Annexe 3. Définition du niveau d’atypicité des champs électromagnétiques (ANFR, 2018)23	23
Annexe 4. Redressement de l’échantillon24	24
Annexe 5. Méthodes d’analyse statistique pour la recherche des déterminants.....25	25
Annexe 6. Sélection des variables explicatives du niveau de radiofréquences26	26

LISTE DES ABREVIATIONS

ANFR : Agence nationale des fréquences
CEM : champs électromagnétiques
DECT : téléphonie fixe sans fil
EHPA : établissement d’hébergement pour personnes âgées
HF : hautes fréquences (ondes courtes, moyennes et longues)
OQAI : Observatoire de la qualité de l’air intérieur
PMR : réseaux radio professionnels
Radiodiffusion FM : radiodiffusion en modulation de fréquences
RNT : radio numérique terrestre
TM : téléphonie mobile (TM « downlink » : émission des antennes vers les terminaux mobiles) dans les différentes bandes de fréquences
TV : télévision

1 Introduction

Un dispositif gratuit de mesure des ondes électromagnétiques dans différents lieux de vie (écoles, logements, hôpitaux, etc.) et espaces extérieurs publics visant à améliorer les connaissances sur l'exposition des personnes aux champs électromagnétiques a été mis en place le 1er janvier 2014.

Afin d'évaluer l'exposition de la population à l'échelle nationale, des mesures dans des **échantillons représentatifs du parc des établissements recevant du public (ERP)** ont été réalisées. Une première campagne de mesure a été conduite dans un échantillon d'écoles de France métropolitaine. Cet échantillon est celui de la campagne nationale « écoles » de l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur (OQAI) (CSTB, 2018).

Pour poursuivre l'étude des niveaux d'exposition de la population aux radiofréquences dans les environnements intérieurs, le ministère en charge de l'environnement a souhaité s'intéresser aux autres établissements accueillant des populations sensibles. Il a ainsi été décidé d'investiguer **les collèges, les lycées, les établissements d'hébergement pour personnes âgées et les hôpitaux**. Des mesures intérieures de radiofréquences y ont été effectuées selon le protocole de mesure de l'ANFR (ANFR, DR15) par des laboratoires accrédités.

Le présent document décrit **l'étude des mesures de radiofréquences réalisées dans les collèges**. Cette étude a pour objectifs de :

- réaliser un état descriptif des niveaux d'exposition aux radiofréquences dans les collèges en France métropolitaine ;
- mettre en perspective ces niveaux d'exposition avec les valeurs limites réglementaires ;
- rechercher les déterminants de ces niveaux à partir des caractéristiques des bâtiments, de leur environnement et des émetteurs de radiofréquences situés autour des collèges.

2 Méthode de collecte et d'exploitation des données

2.1 Constitution de l'échantillon

La taille de l'échantillon d'établissements nécessaire à la campagne de mesure, parmi les 6 916 collèges de France métropolitaine au démarrage de l'étude, a été estimée à partir de mesures réalisées dans des collèges (en intérieur) par l'ANFR entre janvier 2015 et septembre 2016. Elle est évaluée à 98 établissements pour une précision relative de l'estimateur du niveau moyen de radiofréquences fixée à 20 % (Annexe 1).

Il a été décidé d'intégrer les 115 collèges déjà instrumentés par l'ANFR dans l'échantillon d'étude afin de réduire les coûts de l'étude. L'échantillon répond à la précision souhaitée, toutefois l'analyse de la répartition des collèges par strate, c'est-à-dire selon la zone géographique (Annexe 2) et la densité urbaine, a permis d'identifier les strates sous-représentées par rapport au parc national des 6 916 collèges. Un nombre minimal de deux établissements par strate a été fixé pour pouvoir décrire correctement chaque strate *a minima*. Pour compléter les strates ne répondant pas à ce critère, un objectif de 14 nouveaux collèges à instrumenter a été déterminé.

Des établissements non sélectionnés ont eu connaissance de la campagne de mesure et ont souhaité y participer. Ces établissements volontaires ont été instrumentés mais exclus des analyses statistiques. Dans certaines strates, l'objectif de recrutement a été dépassé car des établissements ont donné leur accord de participation tardivement, après que d'autres recrutements aient été réalisés. Malgré ces accords tardifs, il a été décidé d'instrumenter l'ensemble de ces collèges.

Finalement, 26 nouveaux collèges ont été recrutés et instrumentés en 2019, portant à **141 le nombre de collèges dans l'échantillon final**.

2.2 Réalisation des mesures de radiofréquences

Les mesures de radiofréquences ont été réalisées dans 141 collèges par les laboratoires Aexpertise et Exem, entre janvier 2015 et octobre 2019 selon les versions 3.0, 3.1 puis 4.0 du protocole de mesure de l'ANFR (ANFR, DR15). Toutes les mesures ont été réalisées à l'intérieur des bâtiments.

Le protocole de mesure comprend trois étapes. Dans un premier temps, le niveau d'exposition global est mesuré à différents emplacements du collège à l'aide d'une sonde large bande d'une sensibilité de 0,38 V/m. Ce relevé dit intermédiaire est effectué à une hauteur de 150 cm et permet de déterminer le point de niveau de champ électrique maximum. Dans un deuxième temps, le niveau d'exposition global est mesuré à trois hauteurs différentes à l'emplacement du niveau maximum relevé, ou éventuellement à un emplacement pertinent demandé par le collège. Une moyenne spatiale des trois mesures est calculée (cas A). Enfin, une mesure détaillée des niveaux de champ électrique par type d'émetteur et bande de fréquences est réalisée à l'aide d'un analyseur de spectre à l'emplacement défini précédemment (cas B). La mesure selon le cas B du protocole n'est pas systématiquement réalisée, elle n'est obligatoire que lorsque le niveau global mesuré dépasse la valeur d'attention de 6 V/m (Annexe 3).

L'analyseur de spectre utilisé par le laboratoire Aexpertise détecte les niveaux de radiofréquences supérieurs à 0,01 V/m et l'appareil utilisé par le laboratoire Exem détecte les niveaux supérieurs à 0,05 V/m.

Le protocole de mesure couvre l'ensemble des émissions radioélectriques de 100 kHz à 300 GHz. Les principaux services pris en compte sont la téléphonie mobile (TM « downlink » : émission des antennes vers les terminaux mobiles) dans les différentes bandes de fréquences, la radiodiffusion FM, la radio numérique terrestre (RNT), la télévision (TV), les réseaux radio professionnels (PMR), les services HF (ondes courtes, moyennes et longues), les radars, le Wifi et la téléphonie fixe sans fil (DECT).

2.3 Extrapolation des résultats bruts au parc national des collèges

Afin d'exprimer les résultats bruts (mesurés dans l'échantillon) à l'échelle du parc national des collèges, un poids de redressement a été attribué à chaque collège instrumenté. Ce poids correspond au nombre de collèges du parc représenté par chaque collège de l'échantillon. Il tient compte de la stratification nationale des collèges selon la zone géographique et la densité urbaine. Il est calculé selon la formule suivante :

$$poids(x) = \frac{N_{strate}(x)}{n_{strate}(x)}$$

où :

- $poids(x)$ correspond au poids attribué au collège x ;
- la $strate$ correspond au croisement entre la zone géographique et la densité urbaine du collège x ;
- $N_{strate}(x)$ correspond au nombre total de collèges (à l'échelle de la France) dans la strate du collège x ;
- $n_{strate}(x)$ correspond au nombre de collèges instrumentés (à l'échelle de l'échantillon) dans la strate du collège x .

Après pondération des données, les répartitions des collèges selon les strates étudiées sont identiques dans l'échantillon et dans le parc national des collèges (Annexe 4).

2.4 Base de données fournie par l'Agence nationale des fréquences (ANFR)

Les données de mesure ont été collectées et mises à disposition par l'ANFR. Elles sont présentées dans le Tableau 1.

Tableau 1. Liste des données fournies par l'ANFR

Variables
Date de mesure
Nom du laboratoire qui a réalisé les mesures

Variables
Lieu de mesure : intérieur ou extérieur
Adresse du lieu de mesure
Commune du lieu de mesure
Longitude du lieu de mesure
Latitude du lieu de mesure
Environnement du lieu de mesure
Type de résultat : cas A ou cas B
Nombre d'installations visibles
Distance de l'installation visible la plus proche
Hauteur de l'installation visible la plus proche
Type de l'installation visible la plus proche
Distance de l'installation visible la plus loin
Hauteur de l'installation visible la plus loin
Type de l'installation visible la plus loin
Valeur globale de radiofréquence (V/M)
DECT (V/M) : téléphonie fixe sans fil
FM RNT (V/M) : radiodiffusion
HF (V/M) : services hautes fréquences
PMR (V/M) : réseaux radio professionnels
PMR BALISES (V/M) : réseaux radio professionnels
RADAR BALISES (V/M)
RADAR BLR (V/M)
TM 700 (V/M) : téléphonie mobile 700 Mhz
TM 800 (V/M) : téléphonie mobile 800 Mhz
TM 900 (V/M) : téléphonie mobile 900 Mhz
TM 1 800 (V/M) : téléphonie mobile 1 800 Mhz
TM 2 100 (V/M) : téléphonie mobile 2 100 Mhz
TM 2 600 (V/M) : téléphonie mobile 2 600 Mhz
TV (V/M)
WIFI (V/M)

2.5 Mise en perspective par rapport aux valeurs limites réglementaires

La campagne vise également à mettre en perspective les niveaux de radiofréquences dans les collèges par rapport aux valeurs limites réglementaires. Ces valeurs limites sont fixées par le décret n° 2002-775 du 3 mai 2002, qui reprend la recommandation européenne 1999/519/CE du Conseil du 12 juillet 1999. Elles sont comprises entre 28 V/m et 87 V/m selon les fréquences (Figure 1).

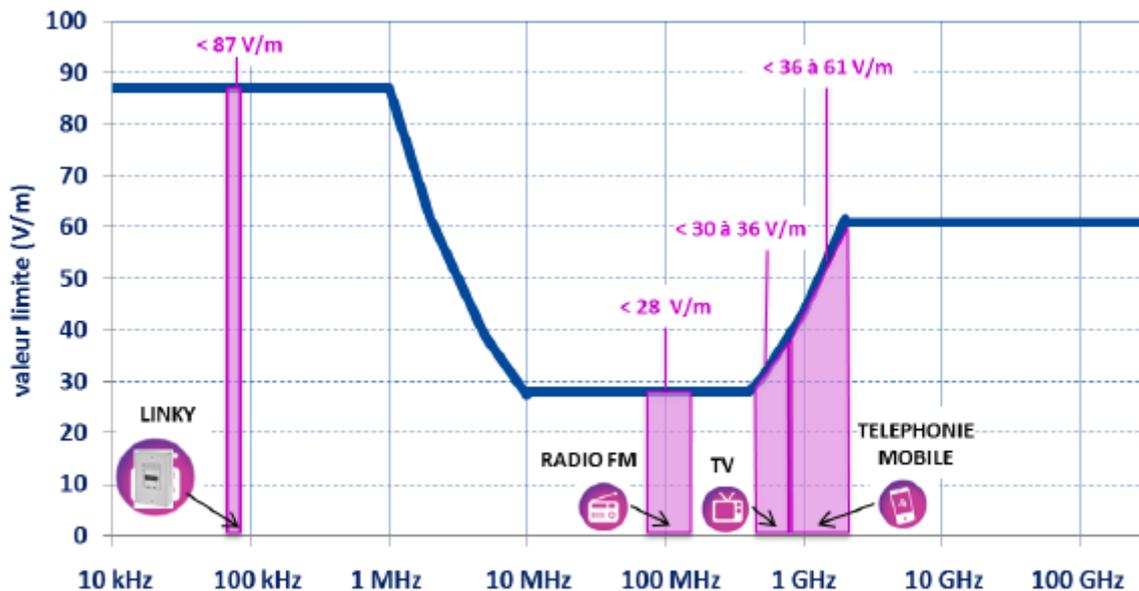


Figure 1. Valeurs limites réglementaires fixées en France par le décret du 3 mai 2002 n° 2002-775

2.6 Méthodes statistiques utilisées

Dans un premier temps, des statistiques descriptives des niveaux intérieurs de radiofréquences ont été calculées : moyenne, écart-type, médiane, 1^{er} et 3^{ème} quartiles, 5^{ème} et 95^{ème} percentiles. Les principaux types d'émetteur et bandes de fréquences contribuant aux niveaux de radiofréquences ont également été identifiés dans chaque type d'environnement (rural et urbain).

Dans un second temps, une recherche des facteurs influençant les niveaux de radiofréquences parmi les caractéristiques de l'environnement et des émetteurs de radiofréquences à proximité du point de mesure a été réalisée. Des informations détaillées relatives aux méthodes statistiques déployées sont fournies en Annexe 5.

3 Niveaux de radiofréquences dans les collèges en France

Les niveaux de radiofréquences ont été mesurés dans 141 collèges en France. Ces collèges sont répartis sur l'ensemble du territoire métropolitain français comme illustré sur la Figure 2.

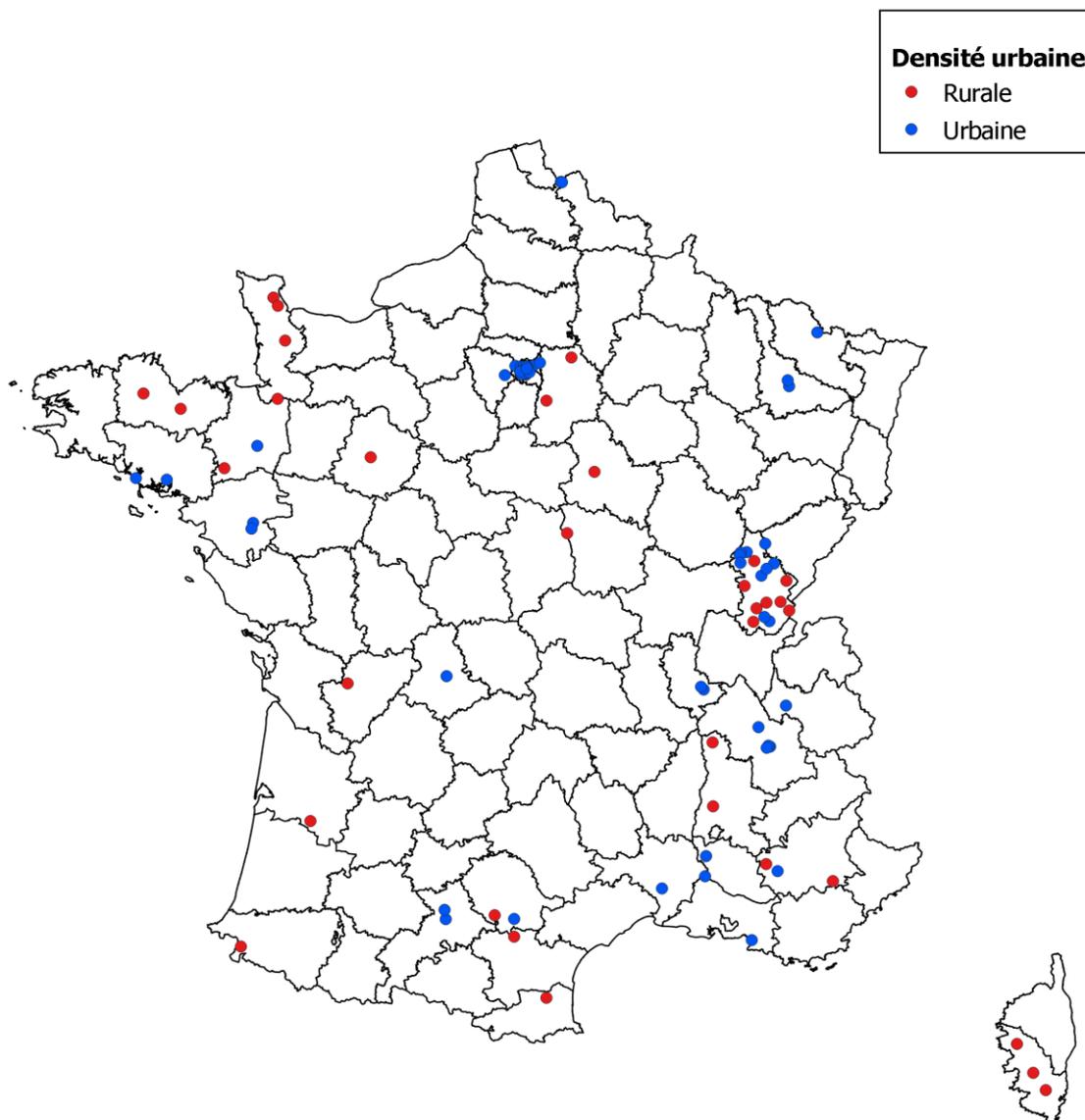


Figure 2. Répartition géographique des 141 collèges ayant participé à la campagne de mesure des radiofréquences selon leur densité urbaine (rurale/urbaine)

L'échantillon des mesures de radiofréquences a été redressé à l'échelle nationale (méthode décrite en Annexe 4). Les statistiques descriptives sont ainsi présentées pour le parc des collèges en France métropolitaine (N = 6 916) (Tableau 2). Les niveaux de radiofréquences par type d'émetteur et bande de fréquences ont été mesurés et analysés uniquement dans les établissements où des mesures selon le cas B du protocole ont été effectuées (N = 5 506) (Tableau 3).

3.1 Niveaux de radiofréquences globaux (cas A)

Le niveau moyen de radiofréquences dans le parc national des collèges est de 0,45 V/m (Tableau 2). **Le niveau médian de radiofréquences est de 0,30 V/m.**

Tableau 2. Distribution des niveaux de radiofréquences dans les collèges en France métropolitaine (N = 6 916)

Niveau mesuré (V/m)	Moyenne +/- écart-type	P5	P25	Médiane	P75	P95
Global	0,45 +/- 0,03	0,11	0,18	0,30	0,53	1,22

Note : seuil de sensibilité typique des sondes large bande = 0,38 V/m ; limite maximale de détection des analyseurs de spectre utilisés (LD) = 0,05 V/m. P5 = 5^{ème} percentile ; P25 = 25^{ème} percentile ; P75 = 75^{ème} percentile ; P95 = 95^{ème} percentile.

Le niveau maximal mesuré dans l'échantillon est de 4,97 V/m : ce niveau est inférieur au niveau d'atypicité de l'ANFR de 6 V/m (Annexe 3) et au seuil limite réglementaire de 28 V/m (Figure 1).

La médiane des niveaux de radiofréquences dans les collèges est comparable à la valeur de 0,33 V/m, médiane des 1 952 mesures intérieures réalisées dans les locaux d'habitation et lieux accessibles au public en 2018 dans le cadre du dispositif de surveillance (ANFR, 2019). Toutefois, ce résultat n'est pas vérifié statistiquement puisque les mesures d'exposition du public réalisées par l'ANFR ne sont pas représentatives du territoire.

En revanche, les niveaux de radiofréquences dans les collèges diffèrent de ceux mesurés dans les écoles et lycées dans le cadre des campagnes nationales de mesure de radiofréquences. En effet, la médiane des mesures réalisées dans les écoles entre 2014 et 2017 est de 0,16 V/m (CSTB, 2018), soit presque deux fois plus faible que dans les collèges. Dans les lycées, le niveau médian des radiofréquences mesurées entre 2015 et 2019 est plus élevé que dans les collèges, avec une valeur de 0,41 V/m (CSTB, 2020).

3.2 Niveaux de radiofréquences détaillés par type d'émetteur et bande de fréquences (cas B)

Les niveaux de radiofréquences les plus élevés proviennent de la téléphonie mobile (TM) (Tableau 3). Parmi les différentes bandes de fréquences de la téléphonie mobile, la bande 900 MHz (TM 900), correspondant aux technologies 2G, 3G et 4G, est la plus détectée (dans 3 328 collèges sur 5 506, soit 60 % des collèges), comme cela avait également été observé dans les écoles et lycées.

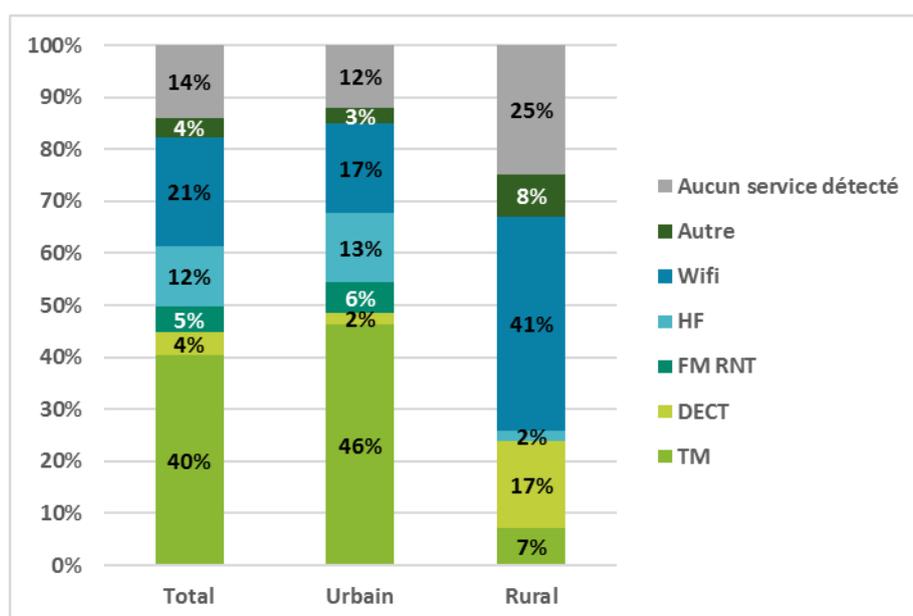
L'analyse détaillée des contributeurs principaux des niveaux de radiofréquences est présentée sur la Figure 3. Dans 14 % des cas, aucune source de radiofréquences significative n'a été détectée (niveaux inférieurs au seuil de détection de l'appareil de mesure). Cette tendance est plus marquée en milieu rural (25 %) qu'en milieu urbain (12 %). Comme dans les écoles, **la téléphonie mobile est le contributeur principal de l'exposition détectée dans les collèges en milieu urbain (46 %) tandis que le Wifi est le contributeur principal de l'exposition détectée en milieu rural (41 %)**. Le contributeur principal de l'exposition détectée dans les lycées, majoritairement situés en milieu urbain (98 %), est également la téléphonie mobile.

Tableau 3. Distribution des niveaux de radiofréquences détaillés par type d'émetteur et bande de fréquences dans les collèges en France métropolitaine (N = 5 506)

Niveau mesuré (V/m)	Effectif	Moyenne +/- écart-type	P5	P25	Médiane	P75	P95
TM 700	53	0,24 +/- 0,00	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
TM 800	2 322	0,18 +/- 0,02	< LD	0,07	0,13	0,17	0,56
TM 900	3 328	0,31 +/- 0,04	< LD	0,10	0,20	0,34	0,96
TM 1800	2 049	0,21 +/- 0,04	< LD	0,05	0,12	0,22	0,50
TM 2100	2 925	0,23 +/- 0,03	0,06	0,08	0,13	0,26	0,65
TM 2600	530	0,09 +/- 0,02	0,06	0,06	0,07	0,07	0,17
FM RNT	1 522	0,18 +/- 0,03	< LD	< LD	0,10	0,16	0,63
TV	391	0,1 +/- 0,01	0,06	0,07	0,09	0,12	0,17
DECT	338	0,21 +/- 0,09	< LD	< LD	0,10	0,24	0,56
HF	1 579	0,14 +/- 0,01	< LD	0,06	0,10	0,12	0,35
PMR	-	-	-	-	-	-	-
PMR balises	211	0,18 +/- 0,05	< LD	< LD	0,11	0,24	0,38
Radars balises	-	-	-	-	-	-	-
Radars BLR	1 636	0,12 +/- 0,01	< LD	0,06	0,08	0,12	0,27
Wifi	2 022	0,2 +/- 0,02	< LD	< LD	0,12	0,20	0,60

Note : seuil de sensibilité typique des sondes large bande = 0,38 V/m ; limite maximale de détection des analyseurs de spectre utilisés (LD) = 0,05 V/m. P5 = 5^{ème} percentile ; P25 = 25^{ème} percentile ; P75 = 75^{ème} percentile ; P95 = 95^{ème} percentile ; TM = téléphonie mobile ; FM RNT = radiodiffusion en modulation de fréquences et radio numérique terrestre ; DECT = téléphonie fixe sans fil ; HF = services hautes fréquences (ondes courtes, moyennes et longues) ; PMR = réseaux radio professionnels.

Figure 3. Synthèse des contributeurs principaux des niveaux de radiofréquences dans les collèges en France métropolitaine selon la typologie de l'environnement (N = 5 506)



Note : TM = téléphonie mobile ; DECT = téléphonie fixe sans fil ; FM RNT = radiodiffusion en modulation de fréquences et radio numérique terrestre ; HF = services hautes fréquences (ondes courtes, moyennes et longues) ; autre = TV, réseaux radio professionnels (PMR) et radars.

4 Déterminants des niveaux de radiofréquences dans les collèges

4.1 Identification des potentiels facteurs explicatifs

Les potentiels facteurs explicatifs du niveau de radiofréquences ont été présélectionnés à dire d'expert sur la base des données disponibles. Ces facteurs sont les suivants :

- caractéristiques de l'environnement :
 - zone climatique au sens de la réglementation thermique 2012. Cette variable est utilisée ici pour étudier l'influence de la zone géographique (Annexe 2) ;
 - densité urbaine (rurale/urbaine) ;

- caractéristiques des émetteurs de radiofréquences (= supports radioélectriques) :
 - distance à l'émetteur de radiofréquences le plus proche ;
 - hauteur de l'émetteur de radiofréquences le plus proche ;
 - nombre d'émetteurs dans un rayon de 5 km autour de l'établissement ;
 - présence d'au moins un émetteur dans un rayon de 1 km autour de l'établissement ;
 - technologie de l'émetteur le plus proche ;
 - orientation horizontale de l'émetteur le plus proche (azimut) ;
 - service détecté (téléphonie mobile, radiodiffusion, TV, etc.) ;
 - présence d'émetteurs visibles depuis le point de mesure (oui/non) ;
 - type de l'émetteur visible le plus proche ;
 - type de l'émetteur visible le plus éloigné.

Les niveaux médians de radiofréquences en fonction de chaque variable explicative sont présentés dans le Tableau 4. Dans ce tableau, les variables quantitatives ont été catégorisées en variables binaires avec des classes d'amplitude similaire. Par exemple, environ 50 % des collèges sont situés à une distance inférieure ou égale à 250 m d'un émetteur de radiofréquences et environ 50 % des établissements sont situés à plus de 250 m d'un émetteur. La variable de distance a donc été catégorisée en deux classes en fonction du seuil de 250 m, il y a ainsi un nombre équivalent d'établissements dans chacune des deux classes. Il est à noter qu'il n'y a aucun émetteur à moins de 100 m pour 81 % des collèges et à moins de 200 m pour 60 % des collèges. Pour ces périmètres, le nombre d'émetteurs n'a pas été catégorisé ; en revanche l'indicateur de présence d'émetteurs est présenté dans le Tableau 4.

Tableau 4. Niveaux médians de radiofréquences selon les variables explicatives, dans le parc national des collèges en France métropolitaine (N = 6 916) (cas A du protocole de mesure de l'ANFR (ANFR, DR15))

Variable explicative	Modalité	Nombre d'établissements	Pourcentage d'établissements	Niveau médian de radiofréquences (V/m)
Zone climatique (Annexe 2)	H1a	2 241	32%	0,43
	H1b	794	11%	0,41
	H1c	1 072	16%	0,47
	H2a	465	7%	0,65
	H2b	808	12%	0,31
	H2c	676	10%	0,19
	H2d	191	3%	0,17
	H3	669	10%	0,15
Densité urbaine	Rurale	905	13%	0,24
	Urbaine	6 011	87%	0,31
Technologie	2-3G	86	1%	0,90
	4G	5 588	81%	0,32
	Non renseignée	1 242	18%	0,21
Détection de radiofréquences provenant de la téléphonie mobile	Oui	3 449	50%	0,41
	Non	2 056	30%	0,21
	Cas A	1 410	20%	0,31
Détection de radiofréquences provenant de la radio ou la TV	Oui	1 656	24%	0,63
	Non	3 850	56%	0,27
	Cas A	1 410	20%	0,31
Détection de radiofréquences provenant d'un autre service	Oui	3 655	53%	0,41
	Non	1 851	27%	0,24
	Cas A	1 410	20%	0,31
Présence d'émetteurs visibles depuis le point de mesure	Oui	3 379	49%	0,42
	Non	3 537	51%	0,23
Type de l'émetteur visible le plus proche	Téléphonie mobile	3 056	44%	0,42
	Radio ou TV	29	0%	1,24
	Autre	294	4%	0,30
	Installation non visible	3 537	51%	0,23
Type de l'émetteur visible le plus éloigné	Téléphonie mobile	2 975	43%	0,41
	Radio ou TV	106	2%	0,70
	Autre	299	4%	0,30
	Installation non visible	3 537	51%	0,23
Distance à l'émetteur le plus proche (m)	<= 250 m	3 577	52%	0,36
	> 250 m	3 339	48%	0,26
Hauteur de l'émetteur le plus proche (m)	< 30 m	3 854	56%	0,26
	>= 30 m	3 062	44%	0,36

Variable explicative	Modalité	Nombre d'établissements	Pourcentage d'établissements	Niveau médian de radiofréquences (V/m)
Angle entre l'établissement et l'orientation horizontale de l'émetteur (azimut en degrés)	<= 20°	3 632	53%	0,36
	> 20°	3 105	45%	0,24
	Émetteur non directif	179	3%	0,25
Nb émetteurs à moins de 500 m	<= 1	3 372	49%	0,26
	> 1	3 544	51%	0,36
Nb émetteurs à moins de 1 km	<= 5	3 638	53%	0,26
	> 5	3 278	47%	0,32
Nb émetteurs à moins de 2 km	<= 20	3 499	51%	0,30
	> 20	3 417	49%	0,30
Nb émetteurs à moins de 3 km	<= 30	3 150	46%	0,27
	> 30	3 766	54%	0,31
Nb émetteurs à moins de 5 km	<= 100	3 328	48%	0,30
	> 100	3 588	52%	0,31
Présence d'au moins un émetteur à moins de 100 m	Oui	1 316	19%	0,54
	Non	5 600	81%	0,27
Présence d'au moins un émetteur à moins de 200 m	Oui	2 779	40%	0,54
	Non	4 137	60%	0,26
Présence d'au moins un émetteur à moins de 500 m	Oui	4 930	71%	0,31
	Non	1 986	29%	0,24
Présence d'au moins un émetteur à moins de 1 km	Oui	6 012	87%	0,32
	Non	904	13%	0,15

Note : ldf = Ile-de-France ; Nb = nombre. L'émetteur est un support radioélectrique.

Parmi ces variables, certaines ne sont pas exploitables à cause de valeurs manquantes et/ou d'une mauvaise répartition des effectifs. Une sélection de variables a été réalisée sur la base de ces critères et est disponible en Annexe 6.

4.2 Analyse des corrélations entre les niveaux de radiofréquences et les variables explicatives

Les liens statistiques entre les niveaux de radiofréquences et les variables explicatives ont été explorés par le biais d'analyses de corrélations. Les méthodes appliquées sont présentées en Annexe 5. Les résultats montrent que les niveaux de radiofréquences sont significativement corrélés :

- à la distance à l'émetteur le plus proche ;
- au nombre d'émetteurs à moins de 5 km de l'établissement ;
- à la présence d'émetteurs visibles depuis le point de mesure ;
- à la présence d'au moins un émetteur à moins de 1 km de l'établissement ;
- aux services à l'origine des radiofréquences.

La nature et la force de leurs liens statistiques sont détaillées dans le Tableau 5 et en Annexe 6.

Tableau 5. Synthèse des corrélations entre le niveau de radiofréquences et ses facteurs explicatifs (N = 6 916)

Facteur explicatif	Nature de la corrélation	Force du lien statistique
Distance à l'émetteur de radiofréquences le plus proche	Plus l'émetteur est proche du collège et plus le niveau de radiofréquences est élevé.	Très forte corrélation
Nombre d'émetteurs à moins de 5 km du collège	Plus le nombre d'émetteurs proches du collège est important et plus le niveau de radiofréquences est élevé.	Très forte corrélation
Présence d'émetteurs visibles depuis le point de mesure	Les niveaux de radiofréquences mesurés sont significativement plus élevés lorsqu'il existe des émetteurs visibles depuis le point de mesure.	Très forte corrélation
Présence d'au moins un émetteur à moins de 1 km du collège	Les niveaux de radiofréquences mesurés sont significativement plus élevés lorsqu'il y a au moins un émetteur dans un rayon de 1 km autour du collège.	Forte corrélation
Service détecté	La téléphonie mobile, la radio et la télévision sont les principaux contributeurs des niveaux de radiofréquences.	Forte corrélation

Note : L'émetteur est un support radioélectrique.

4.3 Modèle explicatif du niveau de radiofréquences

Deux variables très fortement corrélées aux niveaux de radiofréquences ont été retenues dans le modèle explicatif du niveau de radiofréquences, obtenu par régression linéaire multivariée (méthode décrite en Annexe 5). Ce modèle est présenté dans le Tableau 6.

Tableau 6. Modèle de régression linéaire multivariée du niveau de radiofréquences dans les collèges en France métropolitaine (N = 6 916)

Variable	Coefficient estimé	Écart-type	p-value
Constante	0,15	0,06	0,0091
Émetteurs visibles depuis le point de mesure	0,39	0,07	<,0001
Nb d'émetteurs à moins de 500 m	0,02	0,00	<,0001

Note : Nb = nombre. L'émetteur est un support radioélectrique.

Le coefficient de détermination R^2 ajusté du modèle, qui en définit sa performance, est de 0,24. Ce paramètre, compris entre 0 et 1, mesure l'adéquation du modèle avec les données qui ont permis de l'établir. Dans le contexte des évaluations des déterminants environnementaux des expositions humaines, un R^2 ajusté égal à 0,24 est considéré comme indicateur d'un modèle correct.

Comme dans les écoles et lycées, **la présence d'émetteurs visibles depuis le point de mesure est un bon indicateur du niveau élevé de radiofréquences. Par ailleurs, plus le nombre d'émetteurs de radiofréquences à moins de 500 mètres est élevé, plus le niveau de radiofréquences sera élevé dans l'établissement**, comme il avait été également constaté dans les écoles.

Ces résultats sont à considérer avec précaution en raison du nombre limité de variables explicatives testées. Concernant l'orientation de l'émetteur, seul son azimut (orientation horizontale) est disponible tandis que son inclinaison (orientation verticale ou tilt global en degrés) est une donnée manquante. Ainsi, cette variable d'influence potentiellement majeure n'a pas pu être introduite dans le modèle (Annexe 6).

5 Conclusion

5.1 Niveaux de radiofréquences

Les niveaux de radiofréquences dans les collèges en France métropolitaine sont faibles et en deçà des valeurs limites réglementaires. Le niveau médian est de 0,30 V/m. Il représente 1 % de la valeur limite d'exposition (28 V/m).

5.2 Analyse des radiofréquences par service

L'analyse détaillée des principaux contributeurs montre qu'en milieu rural, aucun service n'est détecté à l'intérieur d'un quart des collèges. Lorsqu'un service est détecté, il s'agit principalement du Wifi. En milieu urbain, aucun service n'est détecté dans 12% des bâtiments. Le principal contributeur des niveaux de radiofréquences est la téléphonie mobile.

5.3 Déterminants des niveaux de radiofréquences

Il ressort de la recherche des déterminants que les niveaux intérieurs élevés de radiofréquences sont corrélés à la présence d'émetteurs radioélectriques visibles depuis le point de mesure et au nombre d'émetteurs situés à moins de 500 mètres du collège. Il aurait été intéressant de pouvoir compléter ces variables avec l'information sur l'orientation des émetteurs mais celle-ci étant incomplète, elle n'a pas pu être intégrée aux analyses.

Les auteurs remercient monsieur Dragan JOVANOVIC (ANFR) pour son appui à la fourniture et à l'exploitation des données.

6 Références

ANFR (Agence nationale des fréquences). Document ANFR/DR-15-3. Protocole de mesure visant à vérifier pour les stations émettrices fixes, le respect des limitations, en termes de niveaux de référence, de l'exposition du public aux champs électromagnétiques prévues par le décret n° 2002-775 du 3 mai 2002. Mai 2011. Version 3. 19 p.

ANFR (Agence nationale des fréquences). Document ANFR/DR-15-3.1. Protocole de mesure visant à vérifier sur site pour les stations émettrices fixes, le respect des limitations, en termes de niveaux de référence, de l'exposition du public aux champs électromagnétiques prévues par le décret n° 2002-775 du 3 mai 2002. Juillet 2015. Version 3.1. 16 p.

ANFR (Agence nationale des fréquences). Document ANFR/DR-15-4. Protocole de mesure visant à vérifier sur site, pour les équipements fixes utilisés dans les réseaux de télécommunication ou pour les installations radioélectriques, le respect des niveaux de référence de l'exposition du public aux champs radioélectriques prévus par le décret n° 2002-775 du 3 mai 2002. Août 2017. Version 4. 17 p.

ANFR (Agence nationale des fréquences). Étude de l'exposition du public aux ondes radioélectriques. Analyse des résultats de mesures d'exposition du public aux ondes électromagnétiques réalisées en 2018 dans le cadre du dispositif national de surveillance. Avril 2019. 20 p.

ANFR (Agence nationale des fréquences). Recensement des points atypiques. Décembre 2018. 15 p.

CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment). Campagne nationale de mesure des radiofréquences dans les écoles. Décembre 2018. 34 p.

CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment). Campagne nationale de mesure des radiofréquences dans les lycées. Juin 2020. 29 p.

Décret n°2002-775 du 3 mai 2002 pris en application du 12° de l'article L. 32 du code des postes et télécommunications et relatif aux valeurs limites d'exposition du public aux champs électromagnétiques émis par les équipements utilisés dans les réseaux de télécommunication ou par les installations radioélectriques.

ANNEXES

Annexe 1. Échantillonnage des collègues

1) Calcul de la taille de l'échantillon

La taille de l'échantillon a été calculée à partir de 111 mesures réalisées dans des collèges et disponibles auprès de l'ANFR au démarrage de l'étude. L'objectif est de constituer un échantillon qui permet d'atteindre une précision fixée pour le paramètre θ que l'on souhaite étudier. Pour obtenir une bonne précision de ce paramètre, il faut qu'il se trouve dans un intervalle de confiance défini autour de ce paramètre estimé ($\hat{\theta}$) avec une probabilité $1-\alpha$. La formule est la suivante :

$$\Pr \left\{ \theta \in \left[\hat{\theta} - z_{1-\alpha/2} \sqrt{\text{Var}(\hat{\theta})}, \hat{\theta} + z_{1-\alpha/2} \sqrt{\text{Var}(\hat{\theta})} \right] \right\} = 1 - \alpha$$

Avec, $z_{1-\alpha/2}$ le quantile d'ordre $1-\alpha/2$ d'une variable aléatoire normale centrée réduite.

Ici, l'objectif est d'obtenir une bonne précision de la moyenne du niveau de radiofréquences. Le niveau de confiance, noté α , a été fixé à 5 %. Les calculs ont été réalisés pour différentes valeurs de la précision relative, notée p , de l'estimateur de la moyenne : 20 %, 10 %, 5 % et 1 %. La formule pour le calcul de la taille de l'échantillon, notée n_E , est la suivante :

$$n_E \geq \left(\frac{1,96 \times \hat{\sigma}}{p \times \hat{m}} \right)^2$$

Avec, p la précision relative, \hat{m} la moyenne estimée et $\hat{\sigma}$ l'écart-type estimé.

La taille de l'échantillon a été estimée pour différentes valeurs de la précision relative (Tableau 7). Les résultats montrent que la taille de l'échantillon varie très fortement selon la précision relative de l'estimateur de la moyenne utilisée. Il a été décidé de retenir la valeur de 20 % car l'incertitude de mesure avec une sonde large bande est également de l'ordre de 20 %, il est inutile d'être plus précis.

Tableau 7. Taille de l'échantillon estimée pour différentes valeurs de la précision relative

	$p = 20 \%$	$p = 10 \%$	$p = 5 \%$	$p = 1 \%$
Taille de l'échantillon (n_E)	98	392	1 569	39 216

2) Définition du plan de sondage

L'échantillon est stratifié selon la zone climatique (Annexe 2) et la densité urbaine (rurale/urbaine). Pour réduire le coût de l'étude, il a été décidé d'intégrer dans l'échantillon 111 collèges instrumentés par l'ANFR entre 2015 et 2016, soit avant le démarrage de l'étude, et 4 collèges instrumentés entre 2017 et 2018, lors de la préparation de la campagne de mesure des radiofréquences. Des recrutements ont été réalisés pour compléter les strates dans lesquelles aucune mesure n'était déjà disponible. Un nombre minimal de deux observations par strate a été fixé afin de pouvoir décrire correctement chaque strate *a minima*. Ainsi, le nombre total de collèges restant à recruter et instrumenter est de 14 (Tableau 8).

Tableau 8. Plan de sondage, nombre de collèges instrumentés et restant à instrumenter

Densité urbaine	Zone climatique	Nombre de collèges en France (total = 6 916)	Extrapolation de la répartition nationale à l'échantillon	Nombre de collèges déjà instrumentés	Nombre de collèges à recruter
Rurale	H1a	128	2	1	1
Urbaine	H1a	2113	30	74	0
Rurale	H1b	136	2	0	2
Urbaine	H1b	658	9	3	0
Rurale	H1c	200	3	8	0
Urbaine	H1c	872	12	18	0
Rurale	H2a	87	1	0	2
Urbaine	H2a	378	5	3	0
Rurale	H2b	147	2	1	1
Urbaine	H2b	661	9	2	0
Rurale	H2c	140	2	0	2
Urbaine	H2c	536	8	3	0
Rurale	H2d	33	1	0	2
Urbaine	H2d	158	2	0	2
Rurale	H3	34	1	0	2
Urbaine	H3	635	9	2	0
TOTAL			98	115	14

Annexe 2. Zones climatiques de la France métropolitaine

La campagne nationale de mesure des radiofréquences dans les collèges couvre les 8 zones climatiques de la France métropolitaine illustrées sur la Figure 4.

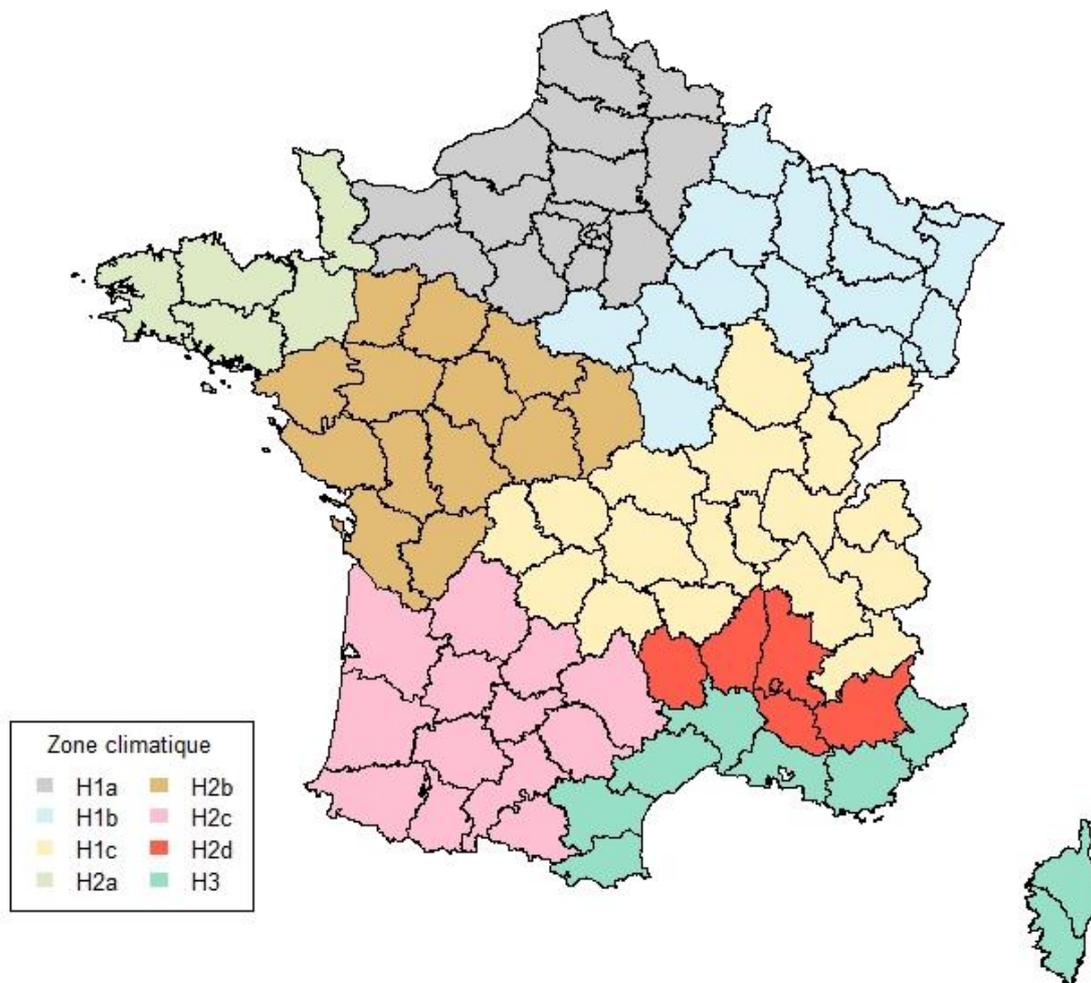


Figure 4. Zones climatiques de la France métropolitaine (RT 2012)

Annexe 3. Définition du niveau d'atypicité des champs électromagnétiques (ANFR, 2018)

Les points atypiques sont définis par la loi n° 2015-136 du 9 février 2015 comme les lieux dans lesquels le niveau d'exposition aux champs électromagnétiques dépasse substantiellement celui généralement observé à l'échelle nationale, conformément aux critères, y compris techniques, déterminés par l'ANFR et révisés régulièrement.

Dans cette démarche initiale, l'ANFR a retenu comme critère un niveau global d'exposition de 6 V/m en se fondant sur les éléments suivants :

- c'est le niveau retenu à partir du protocole ANFR DR 15 v3 pour déclencher un cas B, c'est-à-dire une mesure détaillée de l'exposition, par bande de fréquence, avec un analyseur de spectre. Cette valeur de 6 V/m, correspondant en champ lointain à environ 100 mW/m², est mentionnée également dans la norme NF EN 50492 ;
- l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) indique également sur son site web que l'exposition maximale typique induite par les antennes de la téléphonie mobile ou la radiodiffusion est de 100 mW/m² (soit environ 6 V/m en champ lointain) ;
- ce niveau dépasse substantiellement celui généralement mesuré à l'échelle nationale.

L'ANFR a par ailleurs retenu, concernant les environnements considérés pour les points atypiques, les lieux éligibles au financement par le fonds de mesure prévu par le décret n°2013-1162 du 14 décembre 2013 relatif au dispositif de surveillance et de mesure des ondes électromagnétiques. Il s'agit des locaux d'habitation, des lieux ouverts au public et des lieux accessibles au public se trouvant dans des établissements recevant du public au sens de l'article R. 123-2 du code de la construction et de l'habitation.

Annexe 4. Redressement de l'échantillon

L'échantillon des collèges (n = 141) a été redressé selon deux variables de stratification : la zone géographique définie par la zone climatique et la densité urbaine. Pour ce faire, un poids de redressement a été attribué à chaque collège de l'échantillon (Tableau 9). L'échantillon redressé est représentatif du parc national des collèges au regard de la zone climatique et de la densité urbaine.

Tableau 9. Comparaison de la répartition par strate des collèges en France et dans l'échantillon pour le calcul des poids de redressement

Strate		En France (N = 6 916)		Dans l'échantillon (n = 141)		Poids d'un collège de l'échantillon
Zone climatique	Densité urbaine	Nombre de collèges	Pourcentage de collèges	Nombre de collèges	Pourcentage de collèges	
H1a	RURAL	128	2%	2	1%	64
	URBAIN	2 113	31%	74	52%	29
H1b	RURAL	136	2%	2	1%	68
	URBAIN	658	10%	3	2%	219
H1c	RURAL	200	3%	8	6%	25
	URBAIN	872	13%	18	13%	48
H2a	RURAL	87	1%	7	5%	12
	URBAIN	378	5%	3	2%	126
H2b	RURAL	147	2%	2	1%	74
	URBAIN	661	10%	2	1%	331
H2c	RURAL	140	2%	3	2%	47
	URBAIN	536	8%	3	2%	179
H2d	RURAL	33	0%	4	3%	8
	URBAIN	158	2%	3	2%	53
H3	RURAL	34	0%	5	4%	7
	URBAIN	635	9%	2	1%	318

Annexe 5. Méthodes d'analyse statistique pour la recherche des déterminants

Le niveau global de radiofréquences est modélisé par régression linéaire multivariée en fonction des caractéristiques de l'environnement et des caractéristiques des émetteurs de radiofréquences à proximité du point de mesure.

Le modèle est construit en plusieurs étapes :

- **Pré-sélection *a priori*** des variables explicatives. Les variables avec plus de 15% de valeurs manquantes et les variables avec une mauvaise répartition des effectifs (modalité avec un effectif < 5%) ne sont pas prises en compte dans la recherche des déterminants.
- **Pré-sélection statistique** des variables explicatives. Cette étape consiste à tester individuellement la corrélation entre chaque variable explicative et le niveau global de radiofréquences. Pour les variables explicatives quantitatives, un test de corrélation de Pearson a été réalisé. Pour les variables explicatives qualitatives, une analyse de la variance (ANOVA) a été réalisée. Si le test de corrélation est significatif relativement au seuil d'erreur de 0,05 alors la variable est introduite dans le modèle sous réserve qu'elle ne génère pas de problème de multicolinéarité.
- **Sélection de variables « pas-à-pas » (STEPWISE)**, selon le critère du R^2 ajusté (mesure de l'adéquation du modèle avec les données qui ont permis de l'établir, comprise entre 0 et 1). L'objectif de cette recherche est de déterminer par régression linéaire multivariée le modèle explicatif le plus optimal, en tenant compte de la corrélation entre les variables explicatives.

Annexe 6. Sélection des variables explicatives du niveau de radiofréquences

1. Pré-sélection a priori

Les distributions des variables explicatives du niveau de radiofréquences sont présentées dans les Tableau 10 et Tableau 11. Les variables avec plus de 15% de valeurs manquantes ou avec une mauvaise répartition des effectifs (modalité avec un effectif < 5%) n'ont pas été prises en compte dans la recherche des déterminants. Ainsi, les variables suivantes ont été ôtées de l'étude :

- la zone climatique ;
- la technologie de l'émetteur le plus proche ;
- le type de l'installation visible la plus proche ;
- le type de l'installation visible la plus éloignée.

Tableau 10. Distribution des variables explicatives quantitatives (N = 6 916)

Variable	Moyenne +/- écart-type	P5	P25	Médiane	P75	P95
Distance à l'émetteur le plus proche (m)	414 +/- 52	53	122	229	628	1 133
Hauteur de l'émetteur le plus proche (m)	31 +/- 3	11	23	28	36	66
Angle entre l'établissement et l'orientation horizontale de l'émetteur (azimut en degrés)	31 +/- 3	2	8	18	41	83
Nb émetteurs à moins de 100 m	0 +/- 0	0	0	0	0	1
Nb émetteurs à moins de 200 m	1 +/- 0	0	0	0	1	4
Nb émetteurs à moins de 500 m	6 +/- 0	0	0	1	13	21
Nb émetteurs à moins de 1 km	25 +/- 2	0	1	4	55	85
Nb émetteurs à moins de 2 km	97 +/- 7	1	3	18	206	326
Nb émetteurs à moins de 3 km	210 +/- 18	1	6	33	454	740
Nb émetteurs à moins de 5 km	501 +/- 35	3	11	119	1 164	1 796

Note : P5 = 5^{ème} percentile ; P25 = 25^{ème} percentile ; P75 = 75^{ème} percentile ; P95 = 95^{ème} percentile ; Nb = nombre. L'émetteur est un support radioélectrique.

Tableau 11. Distribution des variables explicatives qualitatives (N = 6 916)

Variable explicative	Modalité	Nombre d'établissements	Pourcentage d'établissements
Zone climatique (Annexe 2)	H1a	2 241	32%
	H1b	794	11%
	H1c	1 072	16%

Variable explicative	Modalité	Nombre d'établissements	Pourcentage d'établissements
	H2a	465	7%
	H2b	808	12%
	H2c	676	10%
	H2d	191	3%
	H3	669	10%
Densité urbaine	Rurale	905	13%
	Urbaine	6 011	87%
Technologie	2-3G	86	1%
	4G	5 588	81%
	Non renseignée	1 242	18%
Détection de radiofréquences provenant de la téléphonie mobile	Oui	3 449	50%
	Non	2 056	30%
	Cas A	1 410	20%
Détection de radiofréquences provenant de la radio ou la TV	Oui	1 656	24%
	Non	3 850	56%
	Cas A	1 410	20%
Détection de radiofréquences provenant d'un autre service	Oui	3 655	53%
	Non	1 851	27%
	Cas A	1 410	20%
Présence d'émetteurs visibles depuis le point de mesure	Oui	3 379	49%
	Non	3 537	51%
Type de l'émetteur visible le plus proche	Téléphonie mobile	3 056	44%
	Radio ou TV	29	0%
	Autre	294	4%
	Installation non visible	3 537	51%
Type de l'émetteur visible le plus éloigné	Téléphonie mobile	2 975	43%
	Radio ou TV	106	2%
	Autre	299	4%
	Installation non visible	3 537	51%
Présence d'au moins un émetteur à moins de 100 m	Oui	1 316	19%
	Non	5 600	81%
Présence d'au moins un émetteur à moins de 200 m	Oui	2 779	40%
	Non	4 137	60%
Présence d'au moins un émetteur à moins de 500 m	Oui	4 930	71%
	Non	1 986	29%
Présence d'au moins un émetteur à moins de 1 km	Oui	6 012	87%
	Non	904	13%

Note : L'émetteur est un support radioélectrique.

2. Pré-sélection statistique

Un test de corrélation est réalisé entre chaque variable explicative et le niveau global de radiofréquences. Si la p-value du test est inférieure à 0,05, la corrélation entre les variables est significative et la variable explicative est pré-sélectionnée, sous réserve qu'elle ne génère pas de problème de multicolinéarité. Le Tableau 12 et le Tableau 13 présentent cette deuxième étape de construction du modèle.

Tableau 12. Corrélations entre le niveau global de radiofréquences et les variables explicatives quantitatives (test de Pearson) (N = 6 916)

Variable	Coefficient de corrélation de Pearson	p-value
Distance à l'émetteur le plus proche (m)	-0,26	0,0016
Hauteur de l'émetteur le plus proche (m)	0,02	0,8037
Angle entre l'établissement et l'orientation horizontale de l'émetteur (azimut en degrés)	0,04	0,6670
Nb émetteurs à moins de 100 m	0,15	0,0718
Nb émetteurs à moins de 200 m	0,25	0,0031
Nb émetteurs à moins de 500 m	0,27	0,0013
Nb émetteurs à moins de 1 km	0,27	0,0014
Nb émetteurs à moins de 2 km	0,24	0,0039
Nb émetteurs à moins de 3 km	0,23	0,0065
Nb émetteurs à moins de 5 km	0,25	0,0026

Note : Nb = nombre. L'émetteur est un support radioélectrique.

Les variables significativement corrélées au niveau global de radiofréquences, relativement au seuil d'erreur de 5 %, sont grisées dans le tableau.

Tableau 13. Corrélations entre le niveau global de radiofréquences et les variables explicatives qualitatives (ANOVA) (N = 6 916)

Variable	Statistique de test de Fisher	DDL	p-value
Densité urbaine	3,15	1	0,0782
Détection de radiofréquences provenant de la téléphonie mobile	7,50	2	0,0008
Détection de radiofréquences provenant de la radio ou la TV	8,74	2	0,0003
Détection de radiofréquences provenant d'un autre service	1,83	2	0,1650
Présence d'émetteurs visibles depuis le point de mesure	23,98	1	< 0,0001
Présence d'au moins un émetteur à moins de 100 m	4,73	1	0,0314
Présence d'au moins un émetteur à moins de 200 m	20,86	1	< 0,0001
Présence d'au moins un émetteur à moins de 500 m	3,98	1	0,0481
Présence d'au moins un émetteur à moins de 1 km	5,90	1	0,0164

Note : DDL = degrés de liberté. L'émetteur est un support radioélectrique.

Les variables significativement corrélées au niveau global de radiofréquences, relativement au seuil d'erreur de 5 %, sont grisées dans le tableau.