



# ETUDES D'ONDES ELECTROMAGNETIQUES

**LE MIRABEAU - MARSEILLE**  
HQE BATIMENT DURABLE 2016

| INDICE | DATE       | Réalisé par             | COMMENTAIRES     |
|--------|------------|-------------------------|------------------|
| A      | 19/04/2019 | Y. SERGEANT<br>M.ZOUARI | Première version |

# SOMMAIRE

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>PRESENTATION .....</b>   | <b>3</b>  |
| 1.1      | Contexte projet et expression de la demande .....                     | 3         |
| 1.2      | Objectifs de l'études .....   | 3         |
| 1.3      | Certification HQE BD 2016 .....                                       | 4         |
| 1.3.1    | Thème Qualité de vie .....  | 4         |
| 1.3.2    | Niveaux retenus pour le projet .....                                  | 5         |
| <b>2</b> | <b>IDENTIFICATION DES SOURCES RAYONNANTES ELECTROMAGNETIQUES.....</b> | <b>6</b>  |
| 2.1      | Introduction à la notion de rayonnement électromagnétique .....       | 6         |
| 2.2      | Sources hautes fréquences .....                                       | 7         |
| 2.2.1    | Sources environnantes .....   | 7         |
| 2.3      | Sources basses fréquences .....                                       | 11        |
| 2.3.1    | Sources environnantes .....   | 11        |
| 2.3.2    | Sources au sein du bâtiment .....                                     | 11        |
| <b>3</b> | <b>SYNTHESE DES RESULTATS.....</b>                                    | <b>13</b> |
| <b>4</b> | <b>MESURES IN SITU .....</b>  | <b>14</b> |
| 4.1      | Méthode de mesure et appareils utilisés .....                         | 14        |
| 4.1.1    | Protocoles suivis mesures radiofréquences .....                       | 14        |
| 4.1.1    | Protocoles suivis mesures basses fréquences .....                     | 15        |
| 4.1.2    | Appareils utilisés .....  | 15        |
| 4.2      | Mesures des CEM ambiant .....   | 16        |
| 4.2.1    | Seuils à respecter .....  | 16        |
| 4.2.2    | Emplacement des mesures réalisées .....                               | 16        |
| 4.2.3    | Relevé de mesures (hautes et basses fréquences) .....                 | 17        |
| 4.3      | Mesures des CEM projet .....  | 19        |
| 4.3.1    | Seuils à respecter .....  | 19        |
| 4.3.2    | Emplacement des mesures réalisées .....                               | 19        |
| 4.3.3    | Relevé de mesures (hautes et basses fréquences) .....                 | 19        |
| <b>5</b> | <b>PRECONISATIONS.....</b>  | <b>20</b> |
| 5.1      | Préconisations relatives aux CEM hautes fréquences .....              | 20        |
| 5.1.1    | Sources Télécom .....   | 20        |
| 5.1.1    | Sources WiFi .....  | 20        |
| 5.2      | Préconisations relatives aux CEM basses fréquences .....              | 21        |
| <b>6</b> | <b>ANNEXES – EXIGENCES REGLEMENTAIRES.....</b>                        | <b>23</b> |
|          | <b>Annexe 1</b> : Exigences réglementaires .....                      | 23        |
|          | <b>Annexe 2</b> : Protocoles suivis .....                             | 25        |
|          | <b>Annexe 3</b> : Certificats d'étalonnage appareils de mesure .....  | 26        |

# 1 PRESENTATION

## 1.1 Contexte projet et expression de la demande

La SCCV Mirabeau développe une opération de bureaux d'environ 21 500 m<sup>2</sup> au cœur du projet de renouvellement urbain Euroméditerranée . Cette opération « Le Mirabeau » est engagée dans une démarche environnementale dont les objectifs de certifications sont les suivants :

- ▶ HQE® Bâtiment Durable 2016, passeport Excellent
- ▶ BREEAM New Construction 2016, niveau Very Good

La présente étude intervient dans le cadre de la certification HQE Bâtiment Durable 2016 et vise à limiter l'exposition des personnes aux champs électromagnétiques.

Même s'il n'existe à ce jour pas d'étude scientifique capable de prouver les effets néfastes liés à l'exposition aux ondes électromagnétiques, des réglementations strictes encadrent ce sujet. Certains effets directs sur l'organisme ont toutefois été recensés (échauffement des tissus biologiques, stimulation du système nerveux, troubles visuels et auditifs, etc.). D'autres conséquences indirectes sont également à noter tel que le dysfonctionnement de systèmes électroniques, explosion ou incendie.

Afin de garantir la sécurité du public et des travailleurs, des seuils sont à respecter. L'évaluation du niveau d'exposition aux champs électromagnétiques des salariés par l'employeur est même devenue obligatoire depuis le 01/01/2017 (décret 2016-1074 (*cf annexe 1*)).

Dans cette optique, la prise en compte du phénomène électromagnétique se développe en 3 axes :

- ▶ Identification des sources d'émissions électromagnétiques
- ▶ Détermination des champs électromagnétiques
- ▶ Dispositions prises pour limiter les risques sanitaires sur les personnes

## 1.2 Objectifs de l'études

L'intervention de Greenaffair sur ce thème interviendra en 2 temps. La première a débuté durant la phase APD du projet, comprenant l'identification des sources électromagnétiques ainsi qu'une campagne de mesure pour évaluer le champ ambiant. Ces mesures sont localisées en extérieur et au dernier niveau du bâtiment existant.

Une seconde phase sera effectuée lors de la livraison du projet afin de mesurer le champ électromagnétique (CEM) du projet. Cette caractérisation se fera à l'intérieur des locaux en intégrant les équipements émetteurs d'ondes électromagnétique au sein du bâtiment.

L'ensemble des valeurs relevées sur site seront comparées aux textes réglementaires en vigueur afin de vérifier que les seuils limites d'exposition sont respectés (recommandations du 1999/519/CE).

## 1.3 Certification HQE BD 2016

### 1.3.1 Thème Qualité de vie

L'engagement Qualité de vie traite de l'aspect sanitaire lié aux ondes électromagnétiques afin de sensibiliser l'équipe conception aux risques pouvant survenir par une exposition des utilisateurs à un champ électromagnétique (CEM) supérieur aux normes en vigueur.

La démarche HQE demande le respect des seuils de mesure des radiofréquences dans la gamme hautes fréquences (9kHz-300GHz) et des champs basse fréquence (50Hz) dans le cadre de la recommandation 1999/519/CE. Greenaffair réalise les mesures hautes fréquences en suivant le protocole de l'ANFR (Agence Nationale des Fréquences), conformément à la norme NF EN 50492 de janvier 2009 sur laquelle est basé le protocole. Greenaffair effectue également les mesures basses fréquences en suivant le protocole UTE C99-132.

Les exigences de la certification s'inscrivent également dans la continuité du décret 2016-1074 du 03/08/2016 (*cf annexe 1*), applicable depuis le 01/01/2017 sur la nécessité pour l'employeur d'identifier et de quantifier les objets rayonnants utilisés dans les entreprises. Ces évaluations réalisées, les employeurs devront prendre des dispositions, si nécessaire, pour abaisser les niveaux de rayonnement (sans pour autant affecter la productivité des entreprises).

Pour l'atteinte de l'exigence relative à l'exposition aux champs électromagnétiques, il est nécessaire d'atteindre à minima la classe C du critère Ondes électromagnétiques.

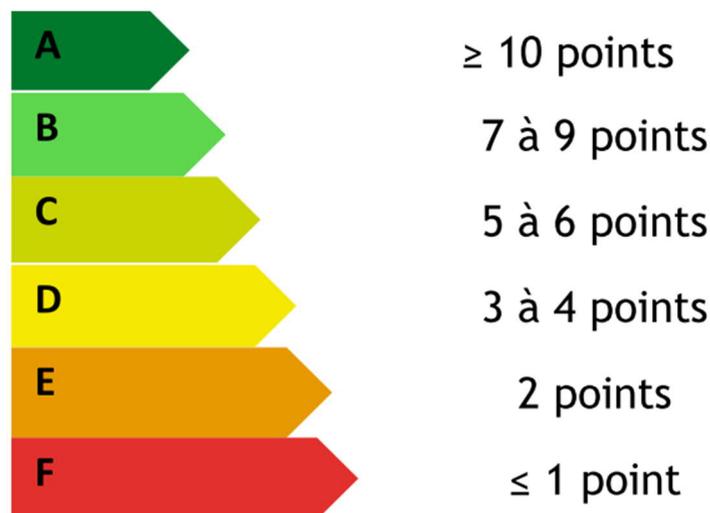


Figure 1: Echelle de l'atteinte des classes (source : plateforme ISIA)

Le critère Ondes électromagnétiques du référentiel se décompose en 3 parties :

- Identification des sources d'ondes électromagnétiques du milieu environnant (extérieur des locaux) et du projet (à l'intérieur des locaux).
- Déterminations des CEM à l'intérieur des locaux et vérification que le niveau atteint respecte les seuils limites d'exposition.
- Dispositions prises sur le choix des équipements techniques et quant à l'aménagement des espaces, positionnement des équipements générateurs de champs

### 1.3.2 Niveaux retenus pour le projet

Il est visé pour le projet 6 points, permettant d'atteindre la classe C. Seul la réalisation complète de l'étude (phase conception et livraison) permettra de valider ce niveau.

| Exigences   | Points<br>Projet visé                    | Points<br>max |
|---|--|---------------|
| <b>Identification des sources</b>   |  |               |
| Identification des sources d'ondes électromagnétiques du milieu environnant (extérieur des locaux)  | <b>1</b>                                 | <b>1</b>      |
| Identification des sources d'ondes électromagnétiques du projet (à l'intérieur des locaux)  | <b>1</b>                                 | <b>1</b>      |
| <b>Evaluation des champs électromagnétiques</b>   |  |               |
| Détermination du champ électromagnétique à l'intérieur des locaux   | <b>3</b>                                 | <b>3</b>      |
| Le niveau atteint respecte les niveaux de référence de la Recommandation 1999/519/CE du Conseil de l'Union Européenne relative à l'exposition du public (dans les lieux où le public et le personnel sont présents) | <b>1</b>                                 | <b>1</b>      |
| Respect des seuils de 5 V/m pour les radiofréquences et 0,4 µT pour les champs 50-60 Hz   | <i>(En attente des résultats finals)</i> | <b>2</b>      |
| Respect des seuils de 1,5 V/m pour les radiofréquences et 0,2 µT pour les champs 50-60 Hz   | <i>(En attente des résultats finals)</i> | <b>3</b>      |
| <b>Dispositions prises</b>  |  |               |
| Choix d'équipements techniques et dispositions architecturales et techniques  | <i>Non visé</i>                          | <b>3</b>      |
| Recommandations d'aménagement et organisationnelles   | <i>Non visé</i>                          | <b>2</b>      |

*Nombre de points disponibles par exigence (source : plateforme ISIA)*

# 2 IDENTIFICATION DES SOURCES RAYONNANTES ELECTROMAGNETIQUES

## 2.1 Introduction à la notion de rayonnement électromagnétique

Les champs électromagnétiques couvrent un vaste domaine de fréquences et d'applications. Le spectre de champs qui sera considéré dans la suite de l'étude est le suivant :

| Type de champ                    | Application génératrice du champ                       | Spectre           |
|----------------------------------|--|-------------------|
| Champ statique (courant continu) | Electrolyse, IRM                                       | 0 – 1 Hz          |
| Champ extrême basse fréquence    | Transport et distribution d'énergie électrique         | 1 – 300 Hz        |
| Champ fréquence intermédiaire    | Certaines application industrielle et médicales        | 300 Hz – 100 kHz  |
| Radiofréquences                  | Antenne Télécom, technologies Wi-Fi, fours à induction | 100 kHz – 300 GHz |

Dans le cadre du rayonnement électromagnétique, 3 notions sont à définir :

- Champ électrique** : lié aux charges électriques, c'est-à-dire à la présence de tension.  
*Exemple : un ordinateur éteint mais branché au secteur génère un champ électrique.*  
 Le champ électrique augmente plus la tension est élevée et la distance faible. La composante électrique du champ est mesurée dans le cadre des études électromagnétique, mesurée en V/m (volt par mètre).
- Champ magnétique** : il est engendré par la présence de courant.  
*Exemple : l'ordinateur branché au secteur est allumé.*  
 Le champ est proportionnel à l'intensité du courant et inversement proportionnel à la distance (comme le champ électrique). L'unité de la composante magnétique s'évalue en A/m (ampère par mètre). Difficile à mesurer, une analogie est généralement faite avec l'induction magnétique qui est mesurée en  $\mu T$  (microtesla). Les valeurs de champ magnétique mesurées dans la présente mission seront exprimées dans cette unité.
- Champ électromagnétique** : correspond à l'évaluation du champ électrique et magnétique. Il s'évalue en fonction de l'intensité des ondes émises, leur fréquence et leur oscillation (par seconde). Il concerne principalement les ondes à haute fréquence comme celles employées dans les télécommunications.

Les champs électriques et magnétiques décroissent rapidement avec la distance. Pour les champs de basse fréquence (inférieur à 300 Hz), le champ électrique peut être rapidement interrompu par la plupart des matériaux. En revanche, cette propriété ne s'applique pas aux champs magnétiques. Il sera donc effectué une mesure du champ électrique et magnétique pour évaluer le champ électromagnétique (CEM) à proximité des équipements émettant dans cette gamme de fréquence.

En ce qui concerne les radiofréquences, le champ est mesuré en général dans une zone appelée champ lointain, c'est-à-dire éloigné, à minima, de quelques dizaines de mètres de la source d'émission. Dans cette zone, les champs électriques et magnétiques sont en phase et proportionnels ; la mesure d'une des grandeurs est en réalité suffisante.

L'ensemble de ces champs produit un rayonnement non ionisant cités précédemment, c'est-à-dire incapable de transformer les atomes qu'ils traversent en ions (ce qui pourrait rendre la matière instable après pénétration dans les tissus du corps humain par exemple). Si les seuils réglementaires sont respectés, ce type de rayonnement ne devrait pas, aux vues des avancées scientifiques actuelles, présenter de risque pour la santé des personnes. Il convient donc d'identifier les sources d'émissions dans un premier temps et de vérifier par la mesure que les seuils sont respectés.



## 2.2 Sources hautes fréquences

### 2.2.1 Sources environnantes

Les sources TELECOM extérieures recensées autour du projet sont présentées sur l'extrait du site de l'AFNR ci-dessous. Les émetteurs présents à proximité sont des émetteurs de téléphonie mobile, tous services confondus, ainsi que des faisceaux hertziens.

La figure ci-dessous permet d'identifier l'emplacement des sources d'émission, dans une zone 500m\*500m autour du projet, où sont implantées 7 antennes relais.

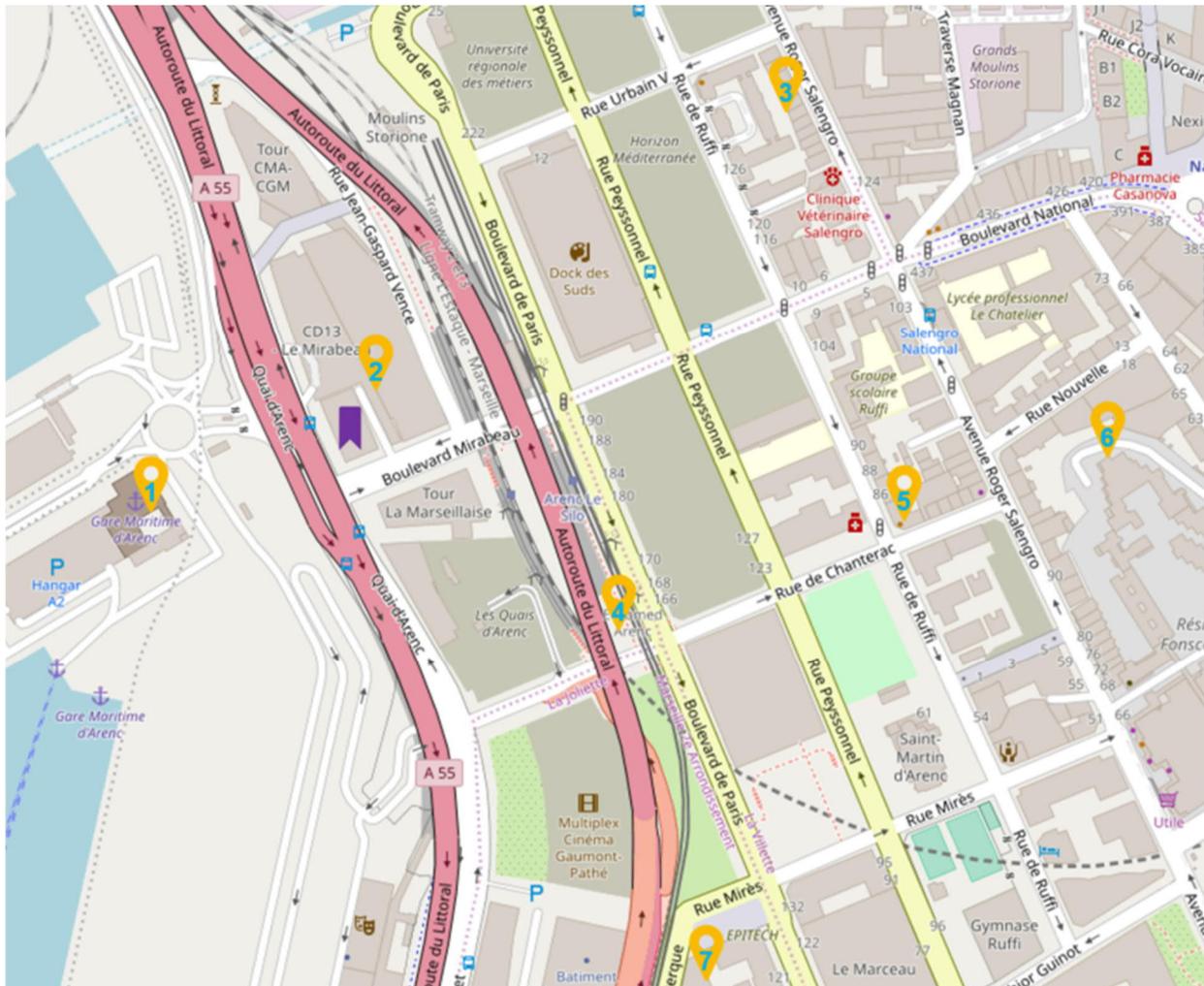


Figure 2: Cartographie des antennes fixes à proximité du site



Emplacement source électromagnétique haute fréquence



Emplacement projet

Le tableau ci-dessous regroupe les relevés globaux des émissions de téléphonie mobile et les faisceaux hertziens à proximité du projet pour chaque station identifiée sur la figure 2.

| Repérage | Référence de support | Situation   | Hauteur (m) | Distance (m) | Type d'émission     | Fréquence (MHz)  |
|----------|----------------------|---|-------------|--------------|---------------------|------------------|
| 1        | 2034041              | Traverse d'Arenc quai d'Arenc quai port de Marseille                | 8           | 430          | PMR                 | 414.5 - 470.0    |
| 2        | 1477892              | 4 Quai d'Arenc  | 10          | 100          | PMR                 | 406.1 - 408.0    |
| 3        | 543329               | 128, rue Ruffi  | 25.5        | 250          | LTE 800 (4G)        | 801.0 - 852.0    |
|          |                      |   |             |              | GSM 900 (2G)        | 904.9 - 959.9    |
|          |                      |   |             |              | UMTS 900 (3G)       | 904.9 - 959.9    |
|          |                      |   |             |              | LTE 1800 (4G)       | 1730.0 - 1845.0  |
|          |                      |   |             |              | UMTS 2100 (3G)      | 1915.1 - 2154.9  |
|          |                      |   |             |              | LTE 2100 (4G)       | 1920.5 - 2154.9  |
|          |                      |   | 25.1        |              | LTE 2600 (4G)       | 2500.0 - 2635.0  |
|          |                      |   |             |              | LTE 800 (4G)        | 801.0 - 852.0    |
|          |                      |   |             |              | GSM 900 (2G)        | 904.9 - 959.9    |
|          |                      |   |             |              | UMTS 900 (3G)       | 904.9 - 959.9    |
|          |                      |   |             |              | LTE 1800 (4G)       | 1730 - 1845      |
|          |                      |   |             |              | UMTS 2100 (3G)      | 1915.1 - 2154.9  |
|          |                      |   |             |              | LTE 2100 (4G)       | 1920.5 - 2154.9  |
|          |                      |   |             |              | LTE 2600 (4G)       | 2500 - 2635      |
| 3        | 543329               | 128, rue Ruffi  | 23.2        | 250          | Faisceau hertzien   | 38.50 - 39.50GHz |
| 4        | 1512886              | 18 Rue Cazemajou  | 5           | 160          | Réseau SNCF : GSM R | 876 - 925        |
| 5        | 823860               | 12 rue Chanterac  | 27.3        | 300          | LTE 800 (4G)        | 791 - 842        |
|          |                      |   |             |              | GSM 900 (2G)        | 880.1 - 934.9    |
|          |                      |   |             |              | UMTS 900 (3G)       | 880.1 - 934.9    |
|          |                      |   |             |              | GSM 1800 (2G)       | 1765 - 1880      |
|          |                      |   |             |              | LTE 1800 (4G)       | 1765 - 1880      |
|          |                      |   |             |              | UMTS 2100 (3G)      | 1900.1 - 2140.1  |
| 5        | 823860               | 12 rue Chanterac  | 27.5        | 300          | LTE 2600 (4G)       | 2535 - 2670      |
|          |                      |   |             |              | Faisceau hertzien   | 37.3 - 37.5GHz   |
| 6        | 763612               | Traverse du Moulin de la Villette résidence Fonscolombel a villette | 22 (Free)   | 470          | LTE 700 (4G)        | 723 - 788        |
|          |                      |   |             |              | UMTS 900 (3G)       | 899.9 - 949.9    |
|          |                      |   |             |              | LTE 1800 (4G)       | 1750 - 1860      |
|          |                      |   |             |              | UMTS 2100 (3G)      | 1954.9 - 2149.9  |



| Repérage      | Référence de support | Situation       | Hauteur (m)    | Distance (m) | Type d'émission | Fréquence (MHz)                          |
|---------------|----------------------|-----------------|----------------|--------------|-----------------|--|
|               |                      |                 | 24.2 (Orange)  |              | LTE 2600 (4G)   | 2550 - 2690                              |
|               |                      |                 |                |              | LTE 800 (4G)    | 811 - 862                                |
|               |                      |                 |                |              | UMTS 900 (3G)   | 889.9 - 944.9                            |
|               |                      |                 |                |              | GSM 1800 (2G)   | 1710 - 1825                              |
|               |                      |                 |                |              | UMTS 2100 (3G)  | 1910.1 - 2169.7                          |
|               |                      |                 |                |              | LTE 2600 (4G)   | 2515 - 2655                              |
|               |                      |                 | 22 (Orange)    |              | LTE 800 (4G)    | 811 - 862                                |
|               |                      |                 |                |              | UMTS 900 (3G)   | 889.9 - 944.9                            |
|               |                      |                 |                |              | GSM 1800 (2G)   | 1710 - 1825                              |
|               |                      |                 |                |              | UMTS 2100 (3G)  | 1910.1 - 2169.7                          |
|               |                      |                 |                |              | LTE 2600 (4G)   | 2515 - 2655                              |
|               |                      |                 |                |              | 2.37 (SFR)      | LTE 800 (4G)                             |
|               |                      |                 | GSM 900 (2G)   |              |                 | 904.9 - 959.9                            |
|               |                      |                 | UMTS 900 (3G)  |              |                 | 904.9 - 959.9                            |
|               |                      |                 | GSM 1800 (2G)  |              |                 | 1730.0 - 1845.0                          |
|               |                      |                 | LTE 1800 (4G)  |              |                 | 1730.0 - 1845.0                          |
|               |                      |                 | UMTS 2100 (3G) |              |                 | 1915.1 - 2154.9                          |
|               |                      |                 | 7              |              | 1433875         | 78/88/90, boulevard de Dunkerque Ilot M1 |
| LTE 800 (4G)  | 791.0 - 842.0        |                 |                |              |                 |  |
| GSM 900 (2G)  | 880.1 - 934.9        |                 |                |              |                 |  |
| UMTS 900 (3G) | 880.1 - 934.9        |                 |                |              |                 |  |
| GSM 1800 (2G) | 1765.0 - 1880.0      |                 |                |              |                 |  |
| LTE 1800 (4G) | 1765.0 - 1880.0      |                 |                |              |                 |  |
| 43.7 (ORANGE) | UMTS 2100 (3G)       | 1900.1 - 2140.1 |                |              |                 |  |
|               | LTE 2100 (4G)        | 1935.3 - 2140.1 |                |              |                 |  |
|               | LTE 2600 (4G)        | 2535.0 - 2670.0 |                |              |                 |  |
|               | LTE 800 (4G)         | 811.0 - 862.0   |                |              |                 |  |
|               | GSM 900 (2G)         | 889.9 - 944.9   |                |              |                 |  |
|               | UMTS 900 (3G)        | 889.9 - 944.    |                |              |                 |  |
|               | GSM 1800 (2G)        | 1710.0 - 1825.0 |                |              |                 |  |
|               | LTE 1800 (4G)        | 1710.0 - 1825.  |                |              |                 |  |
|               | LTE 2100 (4G)        | 1950.1 - 2169.7 |                |              |                 |  |
|               | UMTS 2100            | 1950.1 - 2169.7 |                |              |                 |  |
|               |                      |                 |                |              |                 |  |
|               |                      |                 |                |              |                 |  |

| Repérage | Référence de support | Situation | Hauteur (m) | Distance (m) | Type d'émission | Fréquence (MHz) |
|----------|----------------------|-----------|-------------|--------------|-----------------|-----------------|
|          |                      |           | 32.7 (FREE) |              | (3G)            |                 |
|          |                      |           |             |              | LTE 2600 (4G)   | 2515.0 - 2655.0 |
|          |                      |           |             |              | LTE 700 (4G)    | 718.0 - 788.0   |
|          |                      |           |             |              | UMTS 900 (3G)   | 899.9 - 949.9   |
|          |                      |           |             |              | LTE 1800 (4G)   | 1750.0 - 1860.0 |
|          |                      |           |             |              | UMTS 2100 (3G)  | 1954.9 - 2149.9 |
|          |                      |           |             |              | LTE 2600 (4G)   | 2550-2690       |

- ▶ **GSM** : Global System for Mobile, correspond au réseau mobile 1G et 2G. Permet aux utilisateurs de passer des appels et envoyer des sms. Le débit de ce réseau est limité à quelques kb/s.
- ▶ **UMTS** : Universal Mobile Telecommunication System, correspond à la 3G. La largeur de bande de ce réseau est plus étendue que le GSM permettant ainsi un envoi de données en simultané et à plus haut débit (1,9 Mb/s en théorie).
- ▶ **PMR** : Private Mobile Radio, il s'agit d'un type de réseau privé de radiocommunication sécurisé indépendant des autres réseaux de communication, avec un objectif de fonctionnement ininterrompu. Outre des utilisateurs privés, ce réseau s'adresse généralement aux systèmes de secours.
- ▶ **LTE** : Long Term Evolution, correspond à la 4G. Il s'agit d'une technologie cellulaire améliorée par rapport aux réseaux GSM et UMTS puisque les transports de données s'effectuent à débit fixe ou variable avec une rapidité de transmission supérieure aux autres réseaux (supérieur à 500 Mb/s). Ses applications sont multiples : téléphonie, internet, cartographie, ...

L'environnement à proximité de la Tour Mirabeau présente une couverture mobile dense (l'ensemble des opérateurs sont représentés) ainsi que des réseaux privés (PMR).

Il est à noter que chaque antenne mobile recensée n'émet pas dans toutes les directions : l'impact du rayonnement électromagnétique ne dépend donc pas seulement de la distance antenne-projet mais également de la direction de propagation imposée par les lobes de rayonnement des antennes. En effet, ceux-ci sont directifs et généralement dirigés vers le bas afin de permettre la communication aux utilisateurs des réseaux.

L'exposition aux CEM d'un bâtiment est donc fonction de la présence ou non d'émetteurs radios à proximité et de l'orientation des lobes des antennes. Si une antenne se situe en toiture d'un bâtiment à proximité, l'exposition n'est donc pas la même d'un étage à l'autre (figure 3).



Figure 3: Bâtiment situé dans le faisceau de rayonnement d'une antenne

## 2.3 Sources basses fréquences

Les sources basses fréquences sont les sources avec une plage de fréquences entre 1 Hz et 100 KHz. Elles sont aussi appelées sources Energie puisque leur rayonnement provient principalement des appareils électriques, des réseaux de fils électriques sous tension, des lignes électriques, des transformateurs, des moteurs électriques à proximité.

L'exposition au rayonnement électromagnétique à considérer est celle provenant principalement du champ magnétique, le champ électrique s'atténuant très rapidement avec la distance.

### 2.3.1 Sources environnantes

La visite sur site a permis de vérifier qu'aucune ligne électrique haute tension aérienne ne se situait à proximité du site. Au nord-ouest du bâtiment, on note la présence de voies ferrées électriques (tramway, lignes ferroviaires) à environ 300 m du projet.

Le réseau électrique du tramway ne pose pas de problème d'exposition des personnes puisque fonctionnant en tension continue. En effet, un courant continu délivrera un champ magnétique statique, c'est à dire constant, similaire au champ magnétique naturel délivré par la Terre, ne présentant pas de risque pour les personnes.

Les lignes ferroviaires fonctionnent quant à elles en tension alternative, générant ainsi un champ magnétique variable, oscillant à une fréquence de 50Hz. Ce champ doit être mesuré puisqu'il est susceptible d'induire des perturbations dans tout corps conducteur, donc celui de l'être humain. Les mesures in situ ayant été réalisées à l'extérieur du bâtiment ont montré que la contribution de cette source est quasi nulle puisqu'éloignée.

### 2.3.2 Sources au sein du bâtiment

Les sources Energie listées dans le tableau ci-dessous, sont issues des notices CFO/CFA (10609\_MIR\_BAR\_APD\_CFO\_41\_NTC\_TNX\_TTZ\_000\_0.pdf/10609\_MIR\_BAR\_APD\_CFA\_42\_NT C\_TNX\_TTZ\_001\_0.pdf) de la phase APD. Ces sources sont répertoriées en courant fort et courant faible.

- ▶ Pour les sources Energie courant faible, leur impact étant négligeable par nature face aux autres contributeurs de champs électromagnétique, aucune campagne mesure ne sera nécessaire. D'autre part, le rayonnement électromagnétique décroît rapidement avec la distance puisque le champ généré de base est faible.
- ▶ Pour les équipements de courant fort, l'intensité en jeu implique la génération d'un champ magnétique pouvant impacter l'exposition globale des personnes du site, puisqu'alimentés en tension alternative.

Une seconde campagne de mesures sera réalisée durant la phase livraison, pour s'assurer que les seuils réglementaires d'exposition du public et des personnes sont respectés.

| Type d'équipement                 | Type de courant | Champ magnétique (µT) |
|-----------------------------------|-----------------|-----------------------|
| Transformateur HTA                | Fort            | A mesurer             |
| TGBT type sec (RDC)               | Fort            | A mesurer             |
| 2 TGS                             | Fort            | A mesurer             |
| Disjoncteur                       | Fort            | A mesurer             |
| Compteurs tarif vert électronique | Fort            | A mesurer             |
| CTA                               | Fort            | A mesurer             |
| Eclairage de sécurité             | Fort            | A mesurer             |

|  |        |             |
|--|--------|-------------|
| Ascenseurs                             | Fort   | A mesurer   |
| Extracteur de Désenfumage              | Fort   | A mesurer   |
| Groupe électrogène                     | Fort   | A mesurer   |
| TD                                     | Fort   | A mesurer   |
| Compteur GTB                           | Fort   | A mesurer   |
| Groupe froid                           | Fort   | A mesurer   |
| Bornes de recharge électrique véhicule | Fort   | A mesurer   |
| Luminaires LED bureaux                 | Fort   | A mesurer   |
| Capteurs multifonctions éclairage      | Faible | Négligeable |
| Détecteurs de présences                | Faible | Négligeable |
| Contrôle d'accès                       | Faible | Négligeable |
| Interphonie                            | Faible | Négligeable |
| Caméra                                 | Faible | Négligeable |
| Vidéophonie                            | Faible | Négligeable |
| Système de téléphone extérieur         | Faible | Négligeable |

Plan de repérage des sources ENERGIE

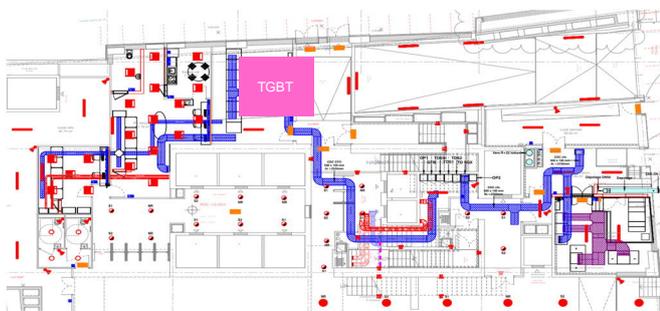


Figure 4 : Plan de RDC

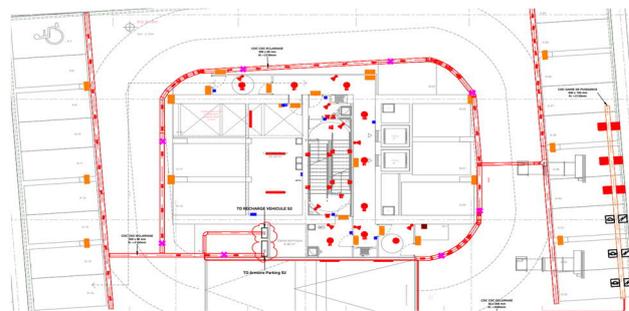


Figure 5 Plan de R-2

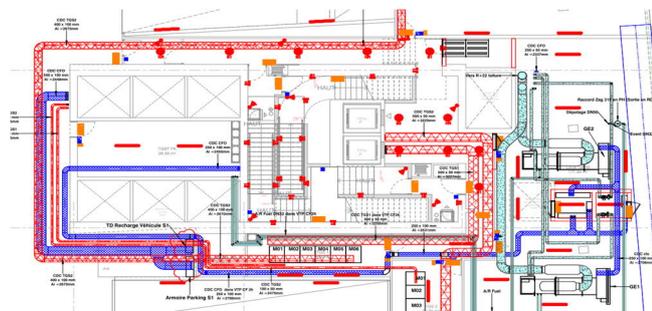


Figure 6 : Plan de R-1

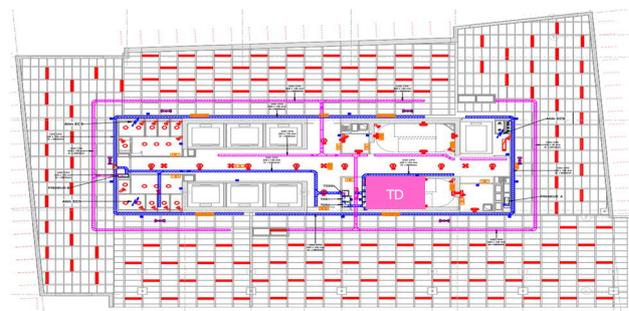


Figure 7 : Plan d'un étage courant R+7

L'ensemble des tracés rouge et bleu sur les plans précédents représentent le cheminement futur des câbles CFO.

En fonction des plans définitifs remis au dossier marché, un ciblage précis des mesures réalisées en phase livraison sera effectué.

**CONCLUSION**

La contribution des sources Energie en environnement proche du bâtiment est évaluée comme étant faible sur ce projet (voir partie 3.3 pour les résultats des mesures effectuées).

Lors de la mise en service des équipements électriques prévus au sein du bâtiment, des zones où un champ magnétique pourra être élevé feront l'objet de mesures spécifiques. Ces mesures feront l'objet d'une campagne dédiée en phase livraison du projet.

### 3 SYNTHÈSE DES RESULTATS

| Synthèse des résultats  |   |                            |          |
|---|---|----------------------------|----------|
| Type de champ   | Résultats des mesures et comparaison au seuil                           |                            | Exigence |
| <p>▶ Champ ambiant</p>  | <p>1,03 V/m <span style="float: right;">28 V/m</span></p>               |                            | Validée  |
| <p>▶ Champ projet</p>   | [Mesures en phase livraison]  |                            | -        |
| <p>▶ Champ TOTAL</p>  | [Complété après la 2 <sup>ème</sup> série de mesures (phase livraison)] |                            | -        |
| <p><b>Classe HQE BD 2016</b></p> <p><u>Thème Qualité de vie</u></p> |   | Identification des sources | 2 points |
|   |   | Evaluation des CEM         | 4 points |
|   |   | Dispositions prises        | Non visé |

#### Sources extérieures

| Type de source          | Nature des sources  |
|-------------------------|---------------------|
| Sources radiofréquences | GSM, UMTS, LTE, PMR |
| Sources Energie         | Ligne ferroviaire   |
| Autres                  | -                   |

#### Sources intérieures

| Type de source          | Nature des sources   |
|-------------------------|--|
| Sources radiofréquences | Absence d'antenne indoor prévu, pas de WiFi dans les espaces invités (hall, RIE), WiFi dans les zones privatives |
| Sources Energie         | TGBT, 2TGS, gaines CFO, TD, équipements courant fort (ascenseur, groupe froid, ...)                              |
| Autres                  | -  |

## 4 MESURES IN SITU

### 4.1 Méthode de mesure et appareils utilisés

#### 4.1.1 Protocoles suivis mesures radiofréquences

Pour répondre aux exigences de la certification HQE concernant les mesures de radiofréquences, des mesures large bande ont été réalisées en suivant le protocole ANFR V4.0 du 28 août 2017 (*cf annexe 2*). Celui-ci est basé sur la norme NF EN 50400.

Ce protocole vise à vérifier, pour les équipements rayonnants fixes utilisés pour les réseaux de télécommunication ou installations radioélectriques (radiodiffusion, réseaux locaux sans fil, réseau radioélectriques indépendants), le respect des niveaux de référence de l'exposition du public aux champs radioélectriques. Il renvoie ainsi à l'application du décret n°2002-775 du 3 mai 2002 (*cf annexe 1*).

Une analyse des objets rayonnants du site et à proximité est nécessaire préalablement aux mesures, pour identifier l'ensemble des sources émettrices (partie 2 du rapport). Le protocole porte sur la gamme de fréquence 100Hz - 300 GHz et/ou sur la bande de fréquences 9 kHz-100kHz. À la suite de l'analyse de site, des relevés in situ sont effectués. Ils permettront de statuer sur le respect des valeurs limites d'exposition. Le périmètre de mesure correspond à la parcelle du projet.

2 cas de figure peuvent être rencontrés, dépendant de l'objectif de la mesure

- ▶ Cas A – mesure d'exposition large bande couvrant l'ensemble des émissions des fréquences radioélectriques (RF) de 100 kHz à 6 GHz
  - Permet d'obtenir un résultat unique couvrant toutes les sources et fréquences.
  - Permet une évaluation globale de l'exposition, c'est-à-dire par combinaison des contributions de toutes les sources RF (en sommant toutes les contribution mesurées), qui correspond au ratio d'exposition totale défini dans la NF EN 50400.
- ▶ Cas B – analyse de la contribution des différentes sources d'exposition
  - Permet une évaluation détaillée de l'exposition, par investigation pour chaque contribution de source RF, en utilisant une analyse sélective en fréquence.
  - Permet une évaluation globale de l'exposition, c'est-à-dire une combinaison des contributions de toutes les sources RF (en sommant toutes les contribution mesurées), qui correspond au ratio d'exposition totale défini dans la NF EN 50400.

La présente étude est effectuée selon le cas A. **S'il est constaté un dépassement de la valeur de 6V/m lors de la mesure de champ en large bande, le cas B sera appliqué.**

#### Précautions mesure :

La norme NF EN 50492 à laquelle fait référence le protocole requiert, indépendamment du cas de mesure choisi, une distance minimale à respecter entre l'extrémité de la sonde de mesure et l'opérateur (ainsi que l'absence d'objets réfléchissants dans ce périmètre) :

- 1m pour des mesures dans la gamme de fréquence 100 kHz à 300 MHz ;
- 0,5m pour des mesures de fréquences supérieures à 300 MHz.

Afin de garantir la stabilité d'une mesure, celle-ci correspond à une valeur efficace moyennée sur une période de temps qui dépend de la fréquence. La norme établit une durée de 6 minutes qui sera respecté par l'opérateur en charge des mesures.

4.1.1 Protocoles suivis mesures basses fréquences

Dans le cadre de la certification HQE il est également nécessaire de mesurer le champ magnétique des sources basses fréquences, c'est-à-dire à 50 Hz, générés par les ouvrages de transport d'électricité. Il sera vérifié que les valeurs mesurées respectent les niveaux de référence de la recommandation 1999/519/CE.

Le protocole UTE C99-132 est suivi pour la réalisation des mesures in situ (cf annexe 2 pour détail).

4.1.2 Appareils utilisés

**Les prescriptions de la norme NF EN 50492 en matière d'appareils de mesure ont été respectées.**

Les mesures présentées dans la partie 3.3 ont été réalisées pour couvrir l'ensemble des fréquences allant de 0 Hz à 6 000 MHz. Est utilisé un mesureur de champ électromagnétique (CEM) NBM 550 sur lequel est connecté successivement 2 sondes de mesure isotropes. Il est possible d'effectuer des enregistrements ou mesures ponctuelles à l'aide de l'appareil et d'obtenir rapidement les valeurs de champ minimum, maximum et moyen.

L'ensemble est fixé sur un trépied en bois (pour éviter tout parasitage dû à la réflexion des ondes) afin de maintenir l'opérateur éloigné de l'appareil et permettre une mesure stable.

- ▶ **NBM EF 0691** : sonde employée pour la mesure en large bande en haute fréquence avec une plage allant de 100 kHz à 6 000 MHz.
- ▶ **NBM EHP 50** : sonde permettant de mesurer et décomposer la valeur de champ électrique et magnétique en basse fréquence (plage de mesure de la sonde 1-100Hz).



Mesure en large bande – bâtiment existant Le Mirabeau



Mesure en basse fréquence – bâtiment existant Le Mirabeau

Afin d'éviter tout parasite, les équipements dont les émissions sont contrôlées et non permanentes sont éteints (tel que les téléphones portables). L'ensemble du matériel est étalonné (certificats en annexe) comme énoncé dans la norme NF EN 50383.

## 4.2 Mesures des CEM ambiants

Date des mesures : 18/12/2018

Opérateurs : M.ZOUARI et M.SERGEANT

### 4.2.1 Seuils à respecter

Le décret N°2002-775 du 3 mai 2002 donne les valeurs maximales d'exposition légale pour le public aux CEM émis liés aux réseaux des télécommunications et installations électriques (cf annexe 1). Le tableau ci-dessous présente les valeurs limites pour plusieurs bandes de fréquences.

| Service          | Bande de fréquences | Type d'émission                                       | Seuil limite d'exposition |
|------------------|---------------------|---|---------------------------|
| HF               | 100 KHz- 30 MHz     | Radiodiffusion  | <b>28 V/m</b>             |
| PMR              | 30 -47 MHz          | Réseau Radioélectrique, armées, SAMU, travaux publics |                           |
| FM               | 87.5 – 108 MHz      | Radio FM  |                           |
| PMR-BALISES      | 108-174 MHz         | PMR-Balises   |                           |
| TV               | 47-830 MHz          | Télévision analogique/numérique)                      |                           |
| GSM 900          | 925-960 MHz         | Téléphone mobile 2/3G                                 | <b>41 V/m</b>             |
| RADARS-DAB       | 960-1360 MHz        | Radars-DAB  |                           |
| GSM 1800         | 1805-1840 MHz       | Téléphone mobile 4G                                   | <b>61 V/m</b>             |
| DECT             | 1880-1900 MHz       | Téléphone mobile domestique sans fil                  |                           |
| TM 2100          | 1900-2200 MHz       | Téléphone mobile 3G                                   |                           |
| RADARS – BLR– FH | 2200-6000 MHz       | RADARS – BLR– FH (hors Wi-Fi et TM)                   |                           |

Pour les basses fréquences, le seuil à ne pas dépasser pour l'exposition au public est le suivant :

| Service | Bande de fréquences | Type d'émission | Seuil limite d'exposition |
|---------|---------------------|-----------------|---------------------------|
| BF      | 1 – 100 kHz         | Sources Energie | <b>100 µT</b>             |

### 4.2.2 Emplacement des mesures réalisées

Les mesures ont été réalisées sur 2 niveaux différents, afin d'évaluer l'ensemble des champs ambiants auxquels est exposé le projet Tour Mirabeau. Elles ont été effectuées en intérieur pour le R+5 (fenêtres fermées) afin de mesurer plus précisément l'impact éventuel des antennes opérateurs à proximité et en extérieur au RDC afin d'évaluer le champ électromagnétique (CEM) ambiant sans la « barrière » créée par l'enveloppe du bâtiment actuel.

Ci-dessous la cartographie de l'emplacement spatial des mesures.

A noter que **le fond de plan utilisé est légèrement différent de celui du site actuel au niveau de l'aménagement intérieur et façades, où les mesures ont eu lieu.** Il est uniquement destiné à titre indicatif pour géopositionner les mesures.

Légende :

- Mesures hautes fréquences
- Mesures basses fréquences

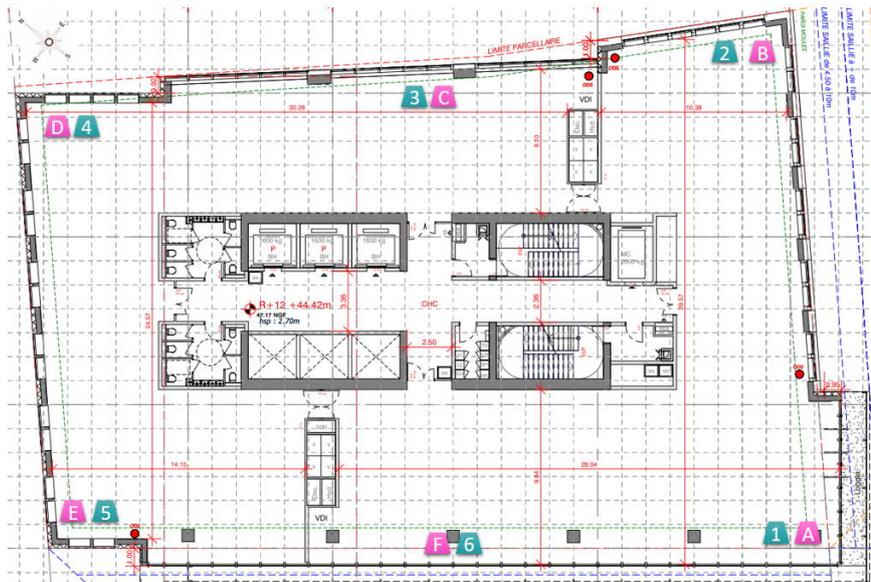


Figure 8: Plan de localisation des mesures CEM en hautes et basses fréquences niveau R+5

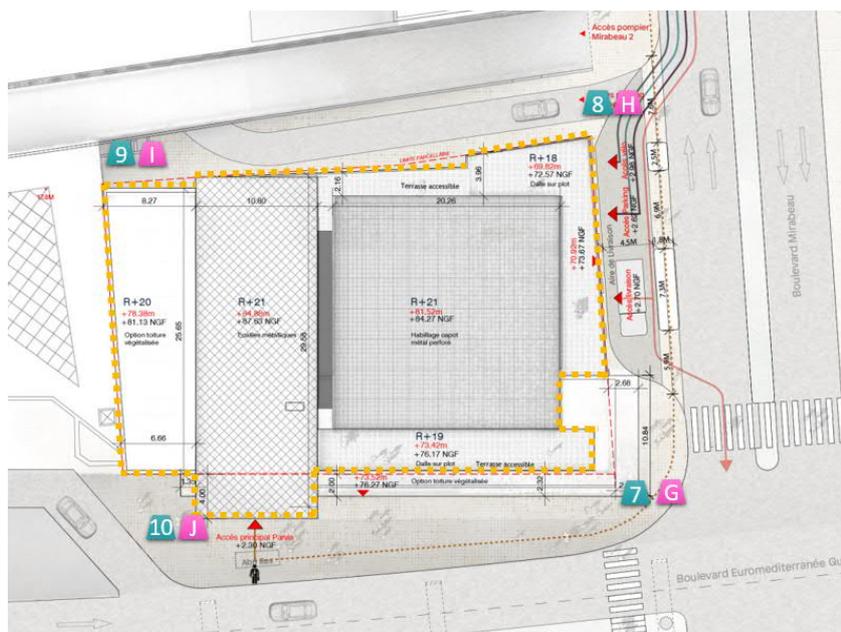


Figure 9: Plan de localisation des mesures CEM en hautes et basses fréquences niveau RDC

#### 4.2.3 Relevé de mesures (hautes et basses fréquences)

Les mesures ont été réalisées en suivant le protocole ANFR V4.0. Les résultats sont détaillés dans les tableaux ci-dessous.

Pour rappel, le seuil le plus contraignant à ne pas dépasser, dans le domaine des hautes fréquences est de 28 V/m.

| Mesures Hautes Fréquences |  |                        |      |          |
|---------------------------|--|------------------------|------|----------|
| Point mesure              | Localisation                             | Champ électrique (V/m) |      | Exigence |
|                           |  | Max                    | Moy  |          |
| 1                         | R+5 - angle orientation sud              | 0.63                   | 0.50 | validée  |
| 2                         | R+5 - angle orientation est              | 0.87                   | 0.74 | validée  |
| 3                         | R+5 - orientation façade nord-est        | 1.03                   | 0.80 | validée  |
| 4                         | R+5 - angle orientation nord             | 0.93                   | 0.82 | validée  |
| 5                         | R+5 - angle orientation ouest            | 0.56                   | 0.46 | validée  |
| 6                         | R+5 - orientation façade sud-ouest       | 0.33                   | 0.18 | validée  |
| 7                         | Ext niveau RDC - angle orientation sud   | 0.44                   | 0.27 | validée  |
| 8                         | Ext niveau RDC - angle orientation est   | 0.49                   | 0.28 | validée  |
| 9                         | Ext niveau RDC - angle orientation nord  | 1.03                   | 0.21 | validée  |
| 10                        | Ext niveau RDC - angle orientation ouest | 0.63                   | 0.21 | validée  |

Pour rappel, le seuil à ne pas dépasser, dans le domaine des basses fréquences est de 100 µT.

| Mesures Basses Fréquences |  |                       |       |          |
|---------------------------|--|-----------------------|-------|----------|
| Point mesure              | Localisation                             | Champ magnétique (µT) |       | Exigence |
|                           |  | Max                   | Moy   |          |
| A                         | R+5 - angle orientation sud              | 0.013                 | 0.009 | validée  |
| B                         | R+5 - angle orientation est              | 0.013                 | 0.009 | validée  |
| C                         | R+5 - orientation façade nord-est        | 0.010                 | 0.009 | validée  |
| D                         | R+5 - angle orientation nord             | 0.011                 | 0.009 | validée  |
| E                         | R+5 - angle orientation ouest            | 0.053                 | 0.016 | validée  |
| F                         | R+5 - orientation façade sud-ouest       | 0.013                 | 0.013 | validée  |
| G                         | Ext niveau RDC - angle orientation sud   | 0.023                 | 0.021 | validée  |
| H                         | Ext niveau RDC - angle orientation est   | 0.013                 | 0.012 | validée  |
| I                         | Ext niveau RDC - angle orientation nord  | 0.025                 | 0.024 | validée  |
| J                         | Ext niveau RDC - angle orientation ouest | 0.020                 | 0.020 | validée  |

### CONCLUSION

Le champ maximum mesuré sur le site est de **1,04 V/m**, soit plus de 27 fois en dessous des valeurs limites maximales d'expositions du décret N°2002-775 (28V/m). (cf annexe 1).

Au stade actuel, les sources rayonnantes contribuant principalement aux CEM mesurés sont de type TELECOM, c'est-à-dire des sources hautes fréquences.

La contribution des sources basses fréquences est faible sur le projet (pas de proximité directe avec une ligne ferroviaire ou ligne électrique haute tension). La ligne de tramway ne pose pas de problème d'exposition aux personnes car elle fonctionne en tension continue.

**Les résultats de mesures sont bien en dessous des valeurs seuils, l'environnement électromagnétique global du site peut être jugé de bonne qualité.**

## 4.3 Mesures des CEM projet

### 4.3.1 Seuils à respecter

*Sera complété suite à la campagne de mesures réalisée en phase livraison du projet.*

### 4.3.2 Emplacement des mesures réalisées

*Sera complété suite à la campagne de mesures réalisée en phase livraison du projet.*

### 4.3.3 Relevé de mesures (hautes et basses fréquences)

*Sera complété suite à la campagne de mesures réalisée en phase livraison du projet.*

## 5 PRECONISATIONS

### 5.1 Préconisations relatives aux CEM hautes fréquences

#### 5.1.1 Sources Télécom

Le rayonnement électromagnétique généré par les stations de radiofréquences et autres sources qualifiées de haute tension est minime. Les mesures effectuées sur site en extérieur ont permis de vérifier qu'il n'y a pas de risque d'exposition des personnes à des seuils supérieurs à la réglementation.

Le champ électromagnétique ambiant (celui induit par l'environnement du site), pour les sources hautes fréquences, aura très peu d'impact pour les utilisateurs du bâtiment puisque les ondes générées sont généralement absorbées par les masses (arbres, murs porteurs, toiture terrasse, ...). Toutefois la nature des matériaux utilisée est déterminante. Pour exemple, contrairement au béton et la brique, le bois n'absorbe quasiment pas les hautes fréquences puisque plus léger.

La certification environnementale mise en œuvre sur le projet impose une performance thermique de l'enveloppe qui impactera indirectement le rayonnement électromagnétique venant de l'extérieur.

En effet, pour réduire les déperditions thermiques par les menuiseries extérieures, des vitrages athermiques seront mis en place sur le projet, système réduisant fortement les champs électromagnétiques. Ceci au détriment de la qualité de réception des signaux de téléphonie qui nécessite parfois la mise en place un système d'antennes indoor.

Il est fréquent de réaliser dans ce cadre une étude de couverture mobile avant la livraison du bâtiment afin d'évaluer la qualité de réception de l'ensemble des signaux hautes fréquences relatifs aux télécommunications tel que la 3G et 4G. Greenaffair est en mesure de réaliser cet accompagnement et de proposer des solutions pour palier un éventuel défaut de réception, survenant généralement dans les zones centrales du bâtiment.

#### 5.1.1 Sources WiFi

Le réseau WiFi dans un bâtiment est une source ponctuelle d'ondes électromagnétiques puisque dépendant des sollicitations des bornes. Plus le débit de transfert de données entre un serveur et un utilisateur par exemple est élevé, plus le champ généré à la borne émettrice et les récepteurs sera important. Ainsi plus le risque d'exposition pour la personne est élevé, et d'autant plus lorsqu'il s'agit d'une exposition intensive à ce réseau.

Il est préférable pour tout besoin de connexion à un réseau d'avoir recours à une technologie filaire, faiblement émettrice. Toutefois le besoin de connectivité dans l'ensemble du bâtiment et le nomadisme des postes de travail (salles de réunion, box, espaces de coworking) impose généralement de mettre en place un système de réseau sans fil avec une capacité de transfert de données importante.

Dans ce cas il est recommandé de définir dès la phase conception l'emplacement futur des bornes WiFi en prenant soin de ne pas multiplier le nombre d'équipements plus que nécessaire, de les éloigner le plus possible des postes de travail et de privilégier leur emplacement dans les zones de passage.

D'autre part, il sera impératif dès occupation des locaux que l'employeur puisse garantir le respect du décret 2016-1074 entré en vigueur depuis le 01/01/2017. Pour rappel ce décret concerne les prescriptions minimales de sécurité et de sante relatives à l'exposition des travailleurs aux risques dus aux agents physiques (champs électromagnétiques).

Greenaffair est régulièrement sollicité pour accompagner cette démarche, et ainsi permettre aux travailleurs sensibles de réaliser leur activité dans les meilleures conditions.

## 5.2 Préconisations relatives aux CEM basses fréquences

Les sources CEM de type basse fréquence sont celles représentant le risque le plus important de dépassement des seuils réglementaires.

En effet, les équipements listés dans la partie 2.3 sont présents au sein du bâtiment. Lors du passage de courant pour les alimenter, un champ magnétique se crée. Plus le courant sera élevé, plus le champ sera puissant et donc plus il sera nécessaire pour une personne de s'éloigner de la source pour ne pas être trop exposé. Le champ magnétique diminue rapidement avec la distance.

### ► Mettre en place une signalétique adaptée

Afin d'être conforme au décret 2016-1074 entré en vigueur le 01/01/2017, il est primordial qu'une signalétique indiquant la présence de champs électromagnétiques soit intégrée. Elle permettra à l'ensemble des utilisateurs d'être informé, notamment aux personnes jugées sensibles tels que les femmes enceintes et porteurs d'implants médicaux.

Exemple de signalétiques



### ► Prévoir pour les sources fortement émettrices de CEM un éloignement suffisant par rapport aux personnes

Cela concerne principalement les TGBT, gaines à barre et câbles CFO.

Les TGBT sont placés généralement à proximité des transformateurs, fortement générateurs de CEM. Un TGBT étant dans la plupart des cas dans une armoire en acier reliée à la terre, celle-ci joue un rôle de blindage contre la composante du champ électrique (cage de Faraday).

La composante magnétique peut conduire à une surexposition des personnes. La zone la plus exposée se situe au-dessus des bornes de sortie BT (partie haute du transformateur).

Cet équipement doit donc être placé dans un local dédié, si possible en sous-sol. Les locaux à proximité (adjacents) ne doivent pas dans l'idéal constituer des zones sédentaires pour les utilisateurs et équipes de maintenance. Il est donc fortement déconseillé de mettre des bureaux ou locaux à usages prolongés au niveau supérieur juste au-dessus du local transformateur.

**En ce qui concerne le bâtiment, ce point est pris en considération et ne devrait pas engendrer de risque d'exposition particulier pour les utilisateurs.**

Pour ces zones l'induction magnétique mesurée ne devra pas dépasser 100  $\mu$ T.

### ► Prévoir une technologie de transformateur adaptée

2 technologies de transformateur existent : le transformateur immergé et le transformateur sec. Lorsque c'est possible, il est recommandé de mettre en place un transformateur immergé, c'est-à-dire placé dans un bac de rétention qui permettra de limiter la zone de fort rayonnement.

Si la hauteur sous plafond, paramètre qui pose le plus souvent problème, est suffisamment importante (supérieure à 1,5 à 2m) un transformateur sec ne devrait normalement pas conduire à un dépassement des 100  $\mu$ T au niveau de l'étage supérieur.

### ► Utiliser des gaines à barre pour les liaisons transformateur et TGBT

Le rayonnement magnétique des gaines à barre est inférieur à celui de conducteurs en trèfle ; ce dernier est donc à privilégier autant que possible.

### ► Réduire la distance entre les conducteurs électriques

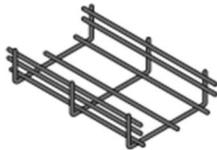
Il est à noter que plus la distance entre les phases est importante, plus la zone de champ

magnétique générée sera importante. Il est donc recommandé de resserrer les conducteurs électriques pour réduire l'intensité du champ magnétique. Si les fils sont torsadés, le champ magnétique émis sera encore plus faible.

► **Utiliser un blindage magnétique si nécessaire**

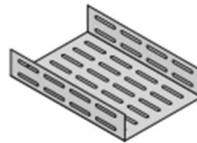
Si la puissance apparente (en kVA) du transformateur est importante, un blindage magnétique adéquat sur le plafond et murs du poste réduira la zone de rayonnement. Ce procédé est toutefois très onéreux mais constitue une protection efficace car à l'inverse du champ électrique, le champ magnétique n'est que peu atténué par la traversée de matériaux, même denses. Les matériaux à utiliser pour un blindage peuvent être le mu-métal, fer doux ou ferrite.

► **Cheminement des câbles CFO**



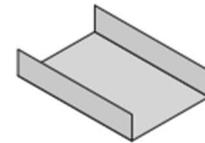
*Grille*

Protection moyenne



*Dalle marine*

Protection correcte



*Goulotte*

Protection bonne

Une forme enveloppante des câbles aura un meilleur effet réducteur de CEM. Il convient également de séparer les câbles de catégories différentes et de remplir les chemins de câbles au maximum à la moitié de leur capacité afin d'éviter le phénomène de perturbation électromagnétique.

Enfin pour le déploiement dans le bâtiment il est recommandé que les colonnes montantes d'acheminement des câbles traversent le bâtiment au niveau des paliers d'étage et que leur accès soit réglementé.

# 6 ANNEXES – EXIGENCES REGLEMENTAIRES

## Annexe 1 : Exigences réglementaires

### Code du travail

Art. R. 4453-3. – L'exposition d'un travailleur à des champs électromagnétiques ne dépasse pas les valeurs limites d'exposition suivantes :

| FREQUENCES<br>(f) (1)            | VALEURS LIMITES D'EXPOSITION PROFESSIONNELLE |                                    |  |  |   |  |
|----------------------------------|--|------------------------------------|--|--|---|--|
|                                  | Effets<br>biophysiques<br>directs            | « Effets sensoriels »              |  | « Effets sur la santé »  |   |  |
|                                  |  | Exposition<br>localisée de la tête | Exposition<br>localisée des<br>membres | Exposition ensemble du<br>corps  | Exposition localisée<br>de la tête et du<br>tronc | Exposition<br>localisée des<br>membres |
| 0 Hz ≤ f < 1 Hz (2)              | Effets non<br>thermiques                     | 2 T                                | 8 T                                    | 8 T  | -   | -                                      |
| 1 Hz ≤ f < 10 Hz (3)             |  | 0,7/f V.m <sup>-1</sup>            | -                                      | 1,1 V.m <sup>-1</sup>  | -   | -                                      |
| 10 Hz ≤ f < 25 Hz (3)            |  | 0,07 V.m <sup>-1</sup>             | -                                      |  | -   | -                                      |
| 25 Hz ≤ f ≤ 400 Hz (3)           |  | 0,0028 f V.m <sup>-1</sup>         | -                                      |  | -   | -                                      |
| 400 Hz < f < 3 kHz (3)           |  | -                                  | -                                      |  | -   | -                                      |
| 3 kHz ≤ f < 100 kHz (3)          |  | -                                  | -                                      | 3,8x10 <sup>-4</sup> f V.m <sup>-1</sup>   | -   | -                                      |
| 100 kHz ≤ f < 10 MHz (3) (4) (5) | Effets<br>thermiques                         | -                                  | -                                      | 3,8x10 <sup>-4</sup> f V.m <sup>-1</sup> (non thermique)<br>0,4 W.kg <sup>-1</sup> (thermique) | 10 W.kg <sup>-1</sup>                             | 20 W.kg <sup>-1</sup>                  |
| 10 MHz ≤ f < 0,3 GHz (4)         |  | -                                  | -                                      | 0,4 W.kg <sup>-1</sup>   |   |  |
| 0,3 GHz ≤ f < 6 GHz (4) (6)      |  | 10 mJ.kg <sup>-1</sup>             | -                                      | -  | -   | -                                      |
| 6 GHz ≤ f ≤ 300 GHz (7)          |  | -                                  | -                                      | 50 W.m <sup>-2</sup>   | -   | -                                      |

(1) La fréquence f est exprimée en hertz (Hz)  
 (2) Dans la gamme de fréquences comprises entre 0 et 1 hertz, les valeurs limites d'exposition sont des valeurs d'induction magnétique externe exprimées en tesla  
 (3) Dans la gamme de fréquences comprises entre 1 hertz et 10 mégahertz, les valeurs limites d'exposition sont des valeurs crête spatiale du champ électrique interne exprimées en volt par mètre  
 (4) Dans la gamme de fréquences comprises entre 100 kilohertz et 6 gigahertz, les valeurs limites d'exposition relatives aux effets sur la santé représentent l'énergie moyenne sur l'ensemble ou une partie du corps (tête, tronc, membres) exprimée en termes de débit d'absorption spécifique en watt par kilogramme  
 (5) Dans la gamme de fréquences comprises entre 100 kilohertz et 10 mégahertz, les effets thermiques et non thermiques agissant concomitamment, les valeurs limites d'exposition pour les deux types d'effets doivent être considérées  
 (6) Dans la gamme de fréquences comprises entre 0,3 et 6 gigahertz, la valeur limite d'exposition relative aux effets sensoriels représente l'énergie absorbée par unité de masse de tissus biologiques exprimée en termes d'absorption spécifique en joules par kilogramme  
 (7) Dans la gamme de fréquences comprises entre 6 et 300 gigahertz, la valeur limite d'exposition relative aux effets sur la santé représente une densité de puissance exprimée en watt par mètre carré

« Art. R. 4453-4. – Les valeurs déclenchant les actions prévues à la section 5 du présent chapitre sont les suivantes : « 1o Valeurs déclenchant l'action liées aux effets biophysiques directs des champs électromagnétiques :

| FREQUENCE<br>(f) (1)    | VALEURS DECLENCHANT L'ACTION                         |   |  |                                     |   |                                  |
|-------------------------|--|---|--|-------------------------------------|---|----------------------------------|
|                         | Effets<br>biophysiques<br>directs                    | Pour l'exposition aux<br>champs électriques   | Pour l'exposition aux champs magnétiques |                                     | Pour les courants<br>induits                                |                                  |
|                         |  |   | VA (B <sub>eff</sub> ) (4)               |                                     |   | VA (I <sub>L,eff</sub> ) (5)     |
|                         |  | VA (E <sub>eff</sub> ) (2) (3)  | VA basse (6)                             | VA haute (6)                        | Exposition des membres<br>à un champ magnétique<br>localisé | Dans une extrémité<br>quelconque |
| 1 Hz ≤ f < 8 Hz         | Effets non<br>thermiques                             | 2x10 <sup>4</sup> V.m <sup>-1</sup>   | 2x10 <sup>5</sup> /f <sup>2</sup> μT     | 3x10 <sup>5</sup> f μT              | 9x10 <sup>5</sup> /f μT                                     | -                                |
| 8 Hz ≤ f < 25 Hz        |  |   | 2,5x10 <sup>5</sup> /f μT                |                                     |   | -                                |
| 25 Hz ≤ f < 50 Hz       |  |   | -  | -                                   |   |                                  |
| 50 Hz ≤ f < 300 Hz      |  | 1x10 <sup>6</sup> f V.m <sup>-1</sup>   | 1x10 <sup>3</sup> μT                     | -                                   |   | -                                |
| 300 Hz ≤ f < 1,64 kHz   |  |   | -  | -                                   |   |                                  |
| 1,64 kHz ≤ f < 2,5 kHz  |  |   | -  | -                                   |   |                                  |
| 2,5 kHz ≤ f < 3 kHz     |  | 6,1x10 <sup>2</sup> V.m <sup>-1</sup>   | 3x10 <sup>5</sup> /f μT                  | -                                   |   | -                                |
| 3 kHz ≤ f < 100 kHz     | 1x10 <sup>2</sup> μT                                 |   | -  | -                                   |   |                                  |
| 100 kHz ≤ f < 1 MHz (7) | Effets<br>thermiques                                 | 6,1x10 <sup>2</sup> V.m <sup>-1</sup><br>(non thermique et thermique)   | 1x10 <sup>3</sup> μT (non thermique)     | 2x10 <sup>6</sup> /f μT (thermique) | 3x10 <sup>2</sup> μT  | -                                |
| 1 MHz ≤ f < 10 MHz (7)  |  | 6,1x10 <sup>2</sup> V.m <sup>-1</sup> (non thermique)<br>6,1.10 <sup>3</sup> /f V.m <sup>-1</sup> (thermique) | -  | -                                   | -   | -                                |
| 10 MHz ≤ f < 110 MHz    |  | 61 V.m <sup>-1</sup>  | 0,2 μT                                   | -                                   | 100 mA  |                                  |
| 110 MHz ≤ f < 400 MHz   | -  | -   | -  | -                                   | -   |                                  |
| 400 MHz ≤ f < 2 GHz     | 3x10 <sup>3</sup> f <sup>1/2</sup> V.m <sup>-1</sup> | 1x10 <sup>-5</sup> f <sup>1/2</sup> μT  | -  | -                                   | -   |                                  |
| 2 GHz ≤ f < 300 GHz     | 1,4x10 <sup>2</sup> V.m <sup>-1</sup>                | 4,5x10 <sup>-1</sup> μT   | -  | -                                   | -   |                                  |

(1) La fréquence f est exprimée en hertz (Hz)  
 (2) Les valeurs déclenchant l'action pour une exposition aux champs électriques sont des valeurs d'intensité de champ électrique exprimées en volt par mètre.  
 (3) Sur la gamme de fréquences comprises entre 1 et 400 hertz, pour une exposition à des champs électriques, la valeur déclenchant l'action permet de respecter les valeurs limites d'exposition relatives aux effets sensoriels et aux effets sur la santé mentionnées à l'article R. 4453-2  
 (4) Les valeurs déclenchant l'action pour une exposition à des champs magnétiques sont des valeurs d'induction magnétique exprimées en microtesla  
 (5) La valeur déclenchant l'action pour les courants induits est exprimée en milliampère  
 (6) Sur la gamme de fréquences comprises entre 1 et 400 hertz, pour une exposition aux champs magnétiques, la valeur déclenchant l'action basse permet de respecter les valeurs limites d'exposition relatives aux effets sensoriels pour une exposition localisée de la tête tandis que la valeur déclenchant l'action haute permet de respecter les valeurs limites d'exposition relatives aux effets sur la santé mentionnées à l'article R. 4453-2  
 (7) Dans la gamme de fréquences comprises entre 100 kilohertz et 10 mégahertz, les effets thermiques et non thermiques agissant concomitamment pour les expositions à des champs électriques et à des champs magnétiques, les valeurs déclenchant l'action pour les deux types d'effets et les deux types de champs doivent être considérées

**Directive 2013/35/UE** (applicable en Union Européenne)

La directive 2013/35/UE établit des « valeurs limites d'exposition (VLE) » à appliquer pour la sécurité et la santé des travailleurs vis-à-vis des CEM. Ces valeurs sont définies à partir de considérations à la fois biophysiques et biologiques, notamment sur la base des effets directs aigus et à court terme scientifiquement bien établis, c'est-à-dire des effets thermiques et la stimulation électrique des tissus survenant des suites d'une exposition trop importante aux CEM.

Cependant, les ressources matérielles actuelles ne permettent pas de mesurer directement la quantité de CEM interne au corps. Les mesures étant effectuées à l'extérieur de ce corps, la directive a instauré des « valeurs déclenchant l'action » (VA) permettant de quantifier l'exposition des personnes aux CEM. Ces valeurs sont plus restrictives que les VLE.

Les mesures réalisées seront donc directement comparées à ces VA. Si elles ne sont pas dépassées, on peut en conclure qu'il en est de même pour les VLE. L'employeur n'est ainsi pas tenu de mettre en place des dispositions particulières pour ses salariés (excepté pour les travailleurs présentant un risque particulier comme les porteurs d'implant ou femmes enceintes).

Sur le plan sanitaire, la directive CEM traite des « effets directs » qui peuvent être enregistrés par une personne à la suite d'une exposition aux CEM en les classant selon 2 catégories :

- ▶ Effets sensoriels
- ▶ Effets sur la santé (plus graves)

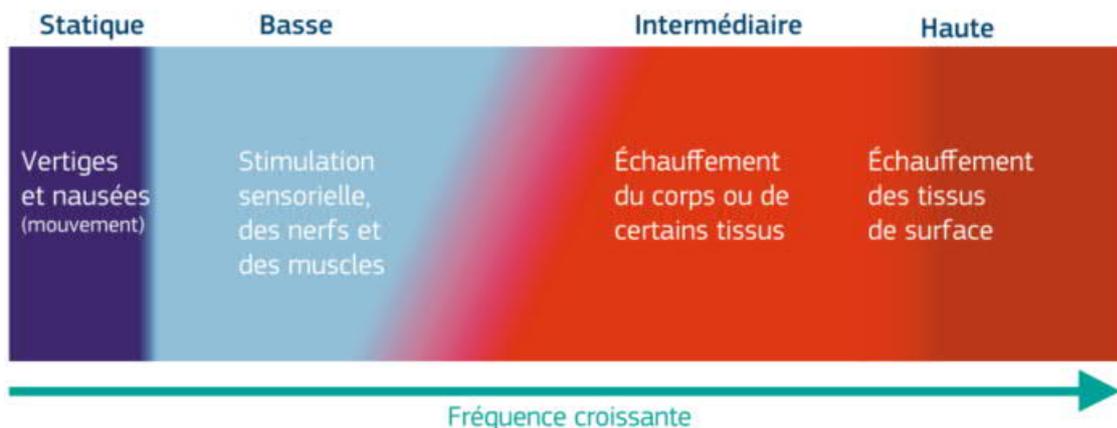


Figure 10: Effets des CEM en fonction des gammes de fréquences d'exposition

Il n'est pas fait mention toutefois des effets sur le long terme, provoqués par les CEM puisqu'aucune étude scientifique ne permet d'établir un lien de causalité.

D'autres effets peuvent être induits, classés comme effets indirects. Cela concerne essentiellement les interférences entre équipements électroniques et les chocs électriques ou brûlures, conséquence du contact par une personne avec un objet conducteur dans un champ électrique.

**Décret 2002-775 du 3 mai 2002**

Il s'agit d'une transposition française de la recommandation du 12 juillet 1999 (applicable à l'Union Européenne) qui définit les « valeurs limites d'exposition » (VLE) pour le public, parues au journal officiel. Les valeurs mesurées et identifiées dans le présent rapport sont comparées à ce décret.

**Décret 2016-1074** (applicable en France)

Applicable dans le domaine des travailleurs, ce décret impose aux employeurs d'identifier et de quantifier les objets rayonnants utilisés dans les entreprises. Ces évaluations réalisées, les employeurs devront prendre des dispositions si nécessaires pour abaisser les niveaux de rayonnement (sans pour autant affecter la productivité des entreprises). **Entrée en vigueur : 1er janvier 2017.**

Ce décret présente la méthodologie à suivre et demande de :

- ▶ Nommer un interlocuteur,
- ▶ Réaliser l'évaluation des risques professionnels liés aux CEM,
- ▶ Former les collaborateurs confrontés à ce risque dans le cadre de leur travail,
- ▶ Mettre en place des mesures préventives,
- ▶ Informer les collaborateurs sur les risques encourus.

Afin de mener à bien cette mission il est fortement recommandé de faire appel à un spécialiste CEM.

## Annexe 2 : Protocoles suivis

La méthodologie d'étude Greenaffair est inspirée des protocoles décrits ci-dessous.

### ANFR V4.0 (08/2017)

Ce protocole vise à vérifier, pour les équipements rayonnants fixes utilisés pour les réseaux de télécommunication ou installations radioélectriques (radiodiffusion, réseaux locaux sans fil, réseau radioélectriques indépendants), le respect des niveaux de référence de l'exposition du public aux champs radioélectriques.

Il concerne la gamme de fréquences de 100 kHz à 300 GHz (radiofréquences) et celle de 9 à 100 kHz (fréquences intermédiaires). Il renvoie à l'application du décret n°2002-775 du 3 mai 2002.

Il prévoit l'analyse de l'environnement à proximité de la zone de mesures, la méthodologie à mettre en œuvre (évaluation globale de l'exposition et/ou détaillée) et les extrapolations à effectuer pour déterminer le CEM généré par une puissance maximale du réseau radioélectrique. L'émission de CEM dépend en effet de la sollicitation des équipements et varie au cours de la journée.

### UTE C99-132 (01/11/2010)

Il s'agit du protocole applicable pour les mesures in situ réalisées en basses fréquences, c'est-à-dire à 50 Hz générés par les ouvrages de transport d'électricité. L'objectif est ainsi de permettre l'évaluation de l'exposition du public aux champs magnétiques.

Il précise la méthodologie à appliquer pour, dans un premier temps, identifier les différentes sources émettrices, les données à recueillir et le protocole de mesure. Il détaille également les précautions opératoires à prendre pour éviter notamment une surévaluation de la mesure par des sources intempestives qui pollueraient la mesure.

Ce protocole sera mis en œuvre lors de la phase de mesure du champ projet, c'est-à-dire au sein du bâtiment lorsque les équipements électriques seront en fonctionnement.

**Annexe 3 : Certificats d'étalonnage appareils de mesure**

**Narda Safety Test Solutions GmbH**  
 Sandwiesenstrasse 7 - 72793 Pfullingen - Germany  
 Phone: +49 7121 9732 0 - Fax: +49 7121 9732 790



# Calibration Certificate

Narda Safety Test Solutions hereby certifies that the object referenced to this certificate has been calibrated by qualified personnel using Narda's approved procedures. The calibration was carried out in accordance with a certified quality management system which conformed to ISO 9001.

|                                  |   |
|----------------------------------|---|
| OBJECT                           | <b>Broadband Field Meter<br/>NBM-550</b>                    |
| MANUFACTURER                     | Narda Safety Test Solutions GmbH                            |
| PART NUMBER (P/N)                | <b>2401/01B</b>   |
| SERIAL NUMBER (S/N)              | <b>H-0624</b>   |
| CUSTOMER                         |   |
| CALIBRATION DATE<br>(YYYY-MM-DD) | 2018-09-17  |
| RESULT ASSESSMENT                | within specifications                                       |
| AMBIENT CONDITIONS               | Temperature: (23 ± 3) °C<br>Relative humidity: (20 to 60) % |
| CALIBRATION PROCEDURE            | 2401-8700-00A   |

ISSUE DATE: 2018-09-19  
(YYYY-MM-DD)

  
 CALIBRATED BY  
 Ludwig

  
 AUTHORIZED SIGNATORY



This calibration certificate may not be reproduced other than in full except with the permission of the issuing laboratory. Calibration certificates without signature are not valid.

**Narda Safety Test Solutions GmbH**  
Sandwiesenstrasse 7 - 72793 Pfullingen - Germany  
Phone: +49 7121 9732 0 - Fax: +49 7121 9732 790



# Calibration Certificate

Narda Safety Test Solutions GmbH hereby certifies that the referenced equipment has been calibrated by qualified personnel to Narda's approved procedures. The calibration was carried out within a certified quality management system conforming to ISO 9001.

|                                  |   |
|----------------------------------|---|
| OBJECT                           | Probe EF 0691, E-Field                                      |
| MANUFACTURER                     | Narda Safety Test Solutions                                 |
| PART NUMBER (P/N)                | 2402/14B  |
| SERIAL NUMBER (S/N)              | H-0654  |
| CUSTOMER                         |   |
| CALIBRATION DATE<br>(YYYY-MM-DD) | 2018-09-17  |
| AMBIENT CONDITIONS               | Temperature: (23 ± 3) °C<br>Relative humidity: (20 to 60) % |
| CALIBRATION PROCEDURE            | 2402-8714-00A   |

ISSUE DATE: 2018-09-17  
(YYYY-MM-DD)

  
\_\_\_\_\_  
CALIBRATED BY  
M. Wittig

  
\_\_\_\_\_  
AUTHORIZED SIGNATORY



This calibration certificate may not be reproduced other than in full except with the permission of the issuing laboratory. Calibration certificates without signature are not valid.



**Narda Safety Test Solutions S.r.l.**  
Sales & Support: Via Leonardo da Vinci 21/23  
20090 Segrate (MI)  
Tel: +39 02 2699871 Fax: +39 02 26998700  
Manufacturing Plant: Via Benesse, 23/B  
17035 Osasco sul Neva (SV)  
Tel: +39 0182 58641 Fax: +39 02 586400

**CERTIFICATE OF CALIBRATION**  
Certificato di taratura

**Number** 80295  
**Numero**

|   |   |
|---|---|
| <b>Item</b><br><i>Oggetto</i>                                   | Electric and Magnetic field<br>Probe - Analyzer |
| <b>Manufacturer</b><br><i>Costruttore</i>                       | Narda S.T.S. / PMM                              |
| <b>Model</b><br><i>Modello</i>                                  | EHP50F  |
| <b>Serial number</b><br><i>Matricola</i>                        | 310WY80295                                      |
| <b>Calibration procedure</b><br><i>Procedura di taratura</i>    | Internal procedure<br>PTP 09-31                 |
| <b>Date(s) of measurements</b><br><i>Data(e) delle misure</i>   | 12.09.2018                                      |
| <b>Result of calibration</b><br><i>Risultato della taratura</i> | Measurements results<br>within specifications   |

This calibration certificate documents the traceability to national/international standards, which realise the physical units of measurements according to the international System of Units (SI). Verification of traceability is guaranteed by mentioning used equipment included in the measurement chain. This equipment includes reference standard directly traceable to (inter)national standard (accuracy rating A) and working standard calibrated by the calibration laboratory of Narda Safety Test Solutions (accuracy rating B) by means of reference standard A or by other calibration laboratory.

The measurement uncertainties stated in this document are estimated at the level of twice the standard deviation (corresponding, in the case of normal distribution, to a confidence level of about 95%). The uncertainties are calculated in conformity to the ISO Guide (Guide to the expression of uncertainty in measurement). The metrological confirmation system for the measuring equipment used is in compliance with ISO 10012-1. The applied quality system is certified to UNI EN ISO 9001.

Questo certificato di taratura documenta la tracciabilità a campioni primari nazionali o internazionali i quali realizzano la riferibilità alle unità fisiche del Sistema Internazionale delle Unità (SI). La verifica della tracciabilità è garantita elencando gli strumenti presenti nella catena di misura. La catena di riferibilità metrologica fa riferimento a campioni di prima linea direttamente riferiti a standard (inter)nazionali (classe A), di seconda linea, tarati nel laboratorio metrologico della Narda Safety Test Solutions con riferibilità ai campioni di prima linea oppure tarati da Enti esterni accreditati (classe B). Le incertezze di misura dichiarate in questo documento sono espresse come due volte lo scarto tipo (corrispondente, nel caso di distribuzione normale, a un livello di confidenza di circa 95%). Le incertezze di misura sono calcolate in riferimento alla guida ISO. La conferma metrologica della strumentazione usata è conforme alla ISO 10012-1. Il sistema di qualità è certificato ISO 9001.

**COMPANY WITH QUALITY SYSTEM**  
**CERTIFIED BY DNV GL**  
**= ISO 9001 =**

**Date of issue**  
*Data di emissione*  
  
19.09.2018

**Measure operator**  
*Operatore misure*  
  
F. Ferrari

**Person responsible**  
*Responsabile*  
  
G. Basso

This calibration certificate may not be reproduced other than in full. Calibration certificate without signature are not valid. The user is recommended to have the object recalibrated at appropriate intervals.  
La riproduzione del presente documento è ammessa in copia conforme integrale. Il certificato non è valido in assenza di firma. All'utente dello strumento è raccomandata la ricalibrazione nell'appropriato intervallo di tempo.

