

Mémoire de fin d'études : "L'environnement électromagnétique : son influence sur la conception architecturale".

Auteur : Preud'Homme, Marine

Promoteur(s) : Courtejoie, Fabienne

Faculté : Faculté d'Architecture

Diplôme : Master en architecture, à finalité spécialisée en art de bâtir et urbanisme

Année académique : 2017-2018

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/5016>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

L'environnement électromagnétique : son influence sur la conception architecturale

Travail de Fin d'Études présenté par **Marine PREUD'HOMME**

En vue de l'obtention du grade de master en Architecture

Sous la direction de **Fabienne COURTEJOIE**

Université de Liège - Faculté d'Architecture

Année académique 2017-2018

Haute qualité construite





UNIVERSITÉ DE LIÈGE – FACULTÉ D'ARCHITECTURE

L'ENVIRONNEMENT ELECTROMAGNETIQUE : SON INFLUENCE SUR LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

Travail de fin d'études présenté par Marine PREUD'HOMME en vue de l'obtention du grade
de Master en Architecture

Sous la direction de : Fabienne COURTEJOIE

Année académique 2017-2018

Axe(s) de recherche : Haute qualité construite

Remerciements

Je souhaiterais par ces quelques lignes, remercier Fabienne Courtejoie pour son intérêt envers le sujet et la croyance qu'elle a porté en mes recherches. Ses précieux conseils et son suivi m'ont permis de mener à bien mon étude.

Véronique Beauvois et Géraldine Letawe n'ont pas hésité à me consacrer un peu de leur temps pour répondre à mes questions et m'épauler dans un sujet scientifique que j'avais parfois du mal à cerner et maîtriser. Un tout grand merci à elles pour leurs relectures et leurs avis correctifs.

Je tiens à dire merci aussi aux architectes, Francisco Jose Sanchez Aguilar de ACXT Architects et Andreas Zimmermann qui ont répondu à mes appels. Grâce à eux, j'ai pu compléter mon mémoire par les nombreuses informations qu'ils m'ont fournies sur leurs projets.

Je souhaiterais aussi saluer Xavier Denoël qui m'a soutenue et a cru profondément en mon sujet. Il m'a aidé à franchir les nombreux obstacles qui s'installaient sur mon chemin durant toute l'élaboration du mémoire.

Je remercie évidemment toute ma famille pour son inconditionnel soutien et sa lecture attentive.

Je tiens également à remercier toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à améliorer ce travail. Ils n'ont pas hésité à me consacrer un peu de leur temps pour rendre ce mémoire toujours meilleur.

Table des matières

Remerciements.....	V
Table des matières	VI
0. INTRODUCTION	1
0.1. Contextualisation de la question	6
0.2. Méthodologie générale	9
0.3. Théorie sur les ondes électromagnétiques.....	11
1. DES REPRESENTATIONS SOCIALES	17
1.1. Introduction.....	18
1.2. Méthodologie	19
1.3. Les spécialistes - scientifiques	22
1.4. Les pouvoirs publics	26
1.5. Les lobbies économiques.....	30
1.6. Les citoyens	33
1.7. Conclusion - Et les architectes ?.....	36
2. ... Vers LES OUTILS DE CONCEPTION ARCHITECTURAUX	41
2.1. Introduction.....	42
2.2. Méthodologie.....	43
2.3. L'implantation	45
2.3.1. Le transport d'électricité	46
2.3.1.1. Les lignes à haute tension	46
2.3.1.2. Les liaisons souterraines.....	48
2.3.2. Les antennes relais	50
2.3.3. Les lignes de chemin de fer	53
2.3.4. Le milieu naturel	54
2.4. Les matériaux	56
2.4.1. Les caractéristiques des matériaux usuels.....	57
2.4.1.1. Les caractéristiques électromagnétiques.....	57
2.4.1.1.1. Le béton	60
2.4.1.1.2. La terre cuite	63
2.4.1.1.3. Le bois.....	64
2.4.1.1.4. Les plastiques et polymères.....	65
2.4.1.1.5. Les métaux.....	66
2.4.1.1.6. La pierre.....	67
2.4.1.1.7. Le verre	68

2.4.1.1.8. Les combinaisons	69
2.4.1.2. Les caractéristiques environnementales.....	70
2.4.1.3. Conclusion	72
2.4.2. Les cages de Faraday	74
2.4.3. Les matériaux alternatifs - «an intelligent concrete»	79
2.4.4. Conclusion	82
2.5. La mise en forme.....	83
2.5.1. La mise en forme globale	84
2.5.2. Les ouvertures	89
2.5.3. Conclusion	91
2.6. L'aménagement intérieur.....	92
2.6.1. Les appareils électriques	93
2.6.2. La finition des parois intérieures.....	96
2.6.3. L'aménagement, le mobilier.....	100
2.6.4. Les appareils anti-ondes	102
2.6.5. Conclusion	103
3. ... POUR CONSTRUIRE	105
3.1. Introduction.....	106
3.2. Méthodologie.....	107
3.3. High voltage laboratory Artèche	108
3.3.1. L'implantation	110
3.3.2. Les matériaux.....	111
3.3.3. La mise en forme globale	113
3.3.4. L'aménagement intérieur	114
3.3.5. Conclusion	115
3.4. MCS Gerechtes Wohnhaus.....	116
3.4.1. L'implantation.....	120
3.4.2. Les matériaux.....	122
3.4.3. La mise en forme globale	126
3.4.4. L'aménagement intérieur	126
3.4.5. Conclusion	128
3.5. Sydney Nanoscience Hub.....	130
3.5.1. L'implantation	132
3.5.2. Les matériaux.....	133
3.5.3. La mise en forme globale	135
3.5.4. L'aménagement intérieur	135
3.5.5. Conclusion	136

3.6. The Gin Tub 138

3.6.1. Les matériaux..... 140

3.6.2. L'aménagement intérieur 141

3.6.3. Conclusion 142

4. CONCLUSION ET PERSPECTIVES 145

Lexique..... 150

Bibliographie..... 151

Table des illustrations 160

Annexe 1..... 166

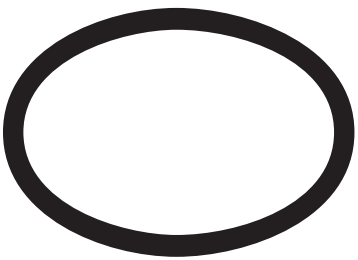
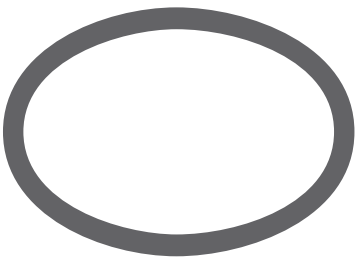
Annexe 2 167

Annexe 3 168

Annexe 4 171

Annexe 5 173

Annexe 6 174



INTRODUCTION

« Il s'agit du témoignage brut, sans fard, d'un exercice professionnel d'**ARCHITECTE** orienté vers le bien-être de l'homme et décidé à rompre avec l'image professionnelle couramment répandue d'une **ARCHITECTURE** à la mode, car motivée par l'argent, le pouvoir, le paraître et les honneurs ...»

(PETRY-AMIEL, 2013, p.15)

« L'**ARCHITECTE** doit être conscient qu'il travaille "pour les autres". Au-delà de la satisfaction légitime de ses propres ambitions, il doit avoir le souci humaniste de créer une **ARCHITECTURE** et des espaces intérieurs en accord avec les aspirations profondes de ceux qui lui font confiance ou qui, souvent sans le connaître, devront se conformer à ses projets »

(FOLVILLE, 2012, p.2)

Voici quelques années, l'architecture est passée dans une nouvelle ère du modernisme et du fonctionnalisme. Ce changement s'est opéré en lien avec les besoins formulés par les révolutions industrielles, sociales, techniques, ... du milieu du XXème siècle (FOLVILLE,2012). Il me semble cependant que le monde évolue : alors que les architectes pensent tout résoudre par les techniques et l'efficacité, une certaine société utilise ces mêmes technologies pour cacher son mal-être. La communauté se laisse envahir par tout ce qui est matériel. Mais où est passée la poésie de la construction pour l'homme, ces bâtiments conçus en fonction de l'homme ? Aujourd'hui, j'ai l'impression que certains architectes recherchent la gloire et la beauté plutôt que de faire valoir les préoccupations humaines. L'ordre des architectes définit entre autre notre mission comme «une mission d'intérêt public : il [l'architecte] s'engage à créer des oeuvres qui enrichissent le paysage et sauvegardent le patrimoine naturel» (OA, 2013). Mais où est l'être humain dans tout ça ? C'est pourquoi j'ai désiré étudier un sujet en rapport avec cet homme de sens que nous sommes en train de perdre peut-être à cause de l'unique mise en valeur des technologies.

Dans ce travail, je voulais m'intéresser à une manière d'approcher l'architecture d'une façon moins courante ; il s'agissait en effet d'une porte d'entrée dans la matière un peu différente : celle de la géobiologie, d'une architecture « plus alternative ». Ce sujet m'a passionné tant il était différent et méconnu par beaucoup de personnes et d'architectes. Cependant, le manque de références scientifiques m'a conduit à orienter ma question de recherche vers un sujet apparenté et autant controversé : celui des ondes électromagnétiques. Ces ondes sont, pour la plupart, invisibles à l'œil nu mais leurs actions et répercussions sont belles et bien présentes. Les polémiques font actuellement rage autour de ces rayonnements et le domaine de l'architecture est évidemment loin d'être épargné.

0.1. Contextualisation de la question

Actuellement 99,9 % du territoire belge est couvert par les ondes (DELRUE, 2017) ; Le centre international de recherche sur le cancer a classé en 2014 les ondes électromagnétiques de radiofréquence dans la catégorie "des cancérrogènes possibles pour l'homme" : classe 2B (OMS^a, 2014).

Avec ces quelques chiffres, il est possible de constater qu'il y a un intérêt grandissant depuis quelques années pour les ondes électromagnétiques. Leurs répercussions dans le cadre sanitaire, législatif,...(DELRUE, 2017) posent de plus en plus de questions dans de nombreux domaines. En architecture, le sujet est également abordé. En effet, de plus en plus de constructions se préoccupant de l'environnement électromagnétique voient le jour. Néanmoins, ces ondes sont actuellement sujettes à de nombreux questionnements, polémiques, controverses.

Cette très courte mise en matière nous amène à poser la question problème de ce TFE qui sera détaillée ci-dessous :

« Comment les représentations sociales relatives aux ondes électromagnétiques non-ionisantes d'origine artificielles peuvent-elles nourrir la conception architecturale ? »

Les polémiques et la prévention qui tournent autour des ondes électromagnétiques font débat. En effet, en 2010, près de 70 % des personnes françaises interrogées disaient s'inquiéter quant aux conséquences que certaines ondes électromagnétiques pouvaient avoir sur leur santé (PERETTY-WATEL, 2013, p.212) ; aujourd'hui, on estime à environ 15 millions le nombre de personnes qui seraient électro-hypersensibles [EHS] en Europe ; la Suède s'attend à une augmentation de 14 % des EHS d'ici 2050 (DELRUE, 2017).

Au niveau des **citoyens**, tous ces chiffres peuvent paraître dérisoires pour certaines personnes mais ils sont en train de devenir une véritable obsession pour d'autres. Les polémiques et les débats qui tournent autour

des effets des ondes électromagnétiques séparent la société. En effet, les positions et visions adoptées par chacun sont multiples et variées : les électrosensibles se sentent incompris et rejetés (CHATEAURAYNAUD, 2010, p.16), les citoyens se plaignent d'un défaut de clarté et de communication et craignent parfois pour leur santé,... (NADAUD, 2015, p.425)

En pensant apaiser ces tensions, les **pouvoirs publics** créent des lois, des limites d'exposition aux ondes à respecter (NADAUD, 2015, p.426). Les **scientifiques**, eux, cherchent des résultats objectifs et précis, mais en vain... (DELRUE, 2017) Enfin, l'OMS a tenté de clarifier les différentes expériences scientifiques en définissant les ondes comme « potentiellement cancérogènes »(OMS^a, 2014). A ces différentes approches, il est possible d'ajouter les intérêts des **lobbies économiques**. En effet, les opérateurs téléphoniques ont plutôt intérêt à faire pencher la balance du côté « inoffensif » des ondes. Par contre, les vendeurs d'appareils prétendant guérir les différents maux cherchent plutôt à accentuer le côté « néfaste » des ondes électromagnétiques (LE DREAN, 2016).

Malgré toutes ces polémiques, certains architectes se sentent de plus en plus concernés. En effet, dans différents bâtiments [crèches (LEYGONIE, 2010), cafés (BBC, 2016), habitats (CORDIER, 2014), industries (ARTECHEGROUP, 2013)], il est possible de retrouver une volonté émergente d'intégrer les ondes électromagnétiques dans la démarche architecturale. Les motivations des architectes semblent différentes en fonction des projets réalisés.

Il est indéniable que les effets des ondes électromagnétiques pour la santé ne laissent personne indifférent. Le fait de médiatiser de plus en plus le phénomène contribue à une augmentation de l'anxiété au sein de la population, les méthodes scientifiques sont critiquées : manque de méthodologie, d'indépendance et de recul (CHATEAURAYNAUD, 2010, p.11). Néanmoins, si des problèmes sérieux survenaient, la prise en compte de ces éléments dans l'architecture pourrait être un élément de solution. Au delà de la cause sanitaire, comment les architectes pourraient-ils intégrer techniquement l'environnement électromagnétique dans leur conception architecturale ? Auraient-ils donc les capacités pour répondre aux différentes volontés et craintes de la population...

Tout d'abord, en démarrant avec l'**implantation** du bâtiment, plusieurs études ont été effectuées. C'est le cas entre autre des trajectoires des lignes de chemins de fer. En effet, ces dernières peuvent causer quelques perturbations électromagnétiques qui ne peuvent pas être tolérées dans certains domaines. Des architectes se sont ainsi penchés sur la question afin de répondre au mieux aux besoins d'entreprises. C'est par exemple le cas du bureau e2a Architects à Zurich pour l'entreprise Trafag Sensors & controls AG (JOCHEN, 2014). Beaucoup de recherches ont également vu le jour au niveau du positionnement des bâtiments par rapport aux antennes relais (PIRARD,2000) et lignes à haute tension (BBEMG, 2016) ,... Pour les électro-hypersensibles, de telles infrastructures peuvent être très nocives. A titre d'illustration, le bâtiment MCS-gerechtes Wohnhaus de Andréas Zimmermann démontre cette intolérance à l'environnement vibratoire [cet exemple est analysé en profondeur dans la suite du mémoire] (CORDIER, 2014). Ces différentes analyses sur les ondes électromagnétiques donnent de plus en

plus naissance à des "radiomaps". Ces cartes donnent une vision globale des « pollutions » électromagnétiques sur un territoire donné. C'est par exemple le cas de la ville de Fresnes en France (SIMUTECH UAE, 2017).

Ensuite, il est également possible d'intervenir au niveau des **matériaux** de construction. Des expériences scientifiques commencent à immerger afin de rechercher les caractéristiques diélectriques de différentes matières : il s'agit du côté plutôt isolant ou conducteur vis-à-vis des ondes électromagnétiques. C'est par exemple le cas de la plate-forme PHELINE (CHABREUIL, 2010). Suite à ces expériences, de nouveaux systèmes et techniques voient le jour. La création de l'entreprise Spie Batignolles et EuroMc peut aussi être citée. Ils ont développé un blindage électromagnétique en béton fibré et grillage métallique (G.N., 2016). Cette nouvelle composition ne devrait donc pas être traversée par les ondes. Il est également intéressant de citer l'importance des cages de Faraday dans ce domaine. Elles ont été largement étudiées et commencent à se développer en architecture. Plusieurs architectes ont déjà intégré ce principe : ACXT Architects (ARTECHEGROUP, 2013) , Architectus (ROSS, 2016). Il y a également l'approche tout à fait particulière du Gin Tub en Angleterre (BBC, 2016).

Par ailleurs, la **forme** joue un rôle lorsque l'influence des ondes électromagnétiques est réfléchi. En effet, tout contour plus ou moins complexe ou tout espace contenant un certain nombre d'obstacles (mur de refend,...) peut empêcher la bonne propagation des ondes (LETAWE, 2017, interview). De manière plus discrète, beaucoup de géobiologues ont étudié l'influence des ondes de forme sur la santé,... Ces dernières ne sont malheureusement pas ou pas encore reconnues par le monde scientifique (BAUDOIN, 2017).

Enfin, en terme d'**aménagement intérieur**, quelques institutions comme le groupe du BBEMG (BBEMG,2016) se sont intéressés aux émissions de différents appareils électroménagers. En reprenant ces valeurs, on peut regarder comment agencer au mieux un espace en fonction de la quantité d'ondes émises et reçues (BBEMG ,2016). De plus, l'organisation de l'espace peut avoir une influence également. En effet, l'enchaînement de certaines pièces ainsi que leur superposition sont à réfléchir afin de favoriser ou pas la propagation des rayonnements (BIRCKNER,2015).

0.2. Méthodologie générale

Afin de répondre à la question, je propose d'aborder le TFE avec une **APPROCHE** orientée sur les représentations sociales qui m'emmènera ensuite vers une partie plus technique de l'architecture. Il s'agit au final de répondre à la question en proposant une série d'options architecturales [travailler sur l'implantation, la forme, les matériaux et l'aménagement] permettant d'accentuer ou d'atténuer les ondes électromagnétiques au sein d'un bâtiment.

Premièrement, une thématique se base d'avantage sur les **représentations sociales** que des spécialistes, citoyens,... ont sur les ondes électromagnétiques en général et en architecture en particulier. Deuxièmement, une partie relative à la **conception architecturale** est développée. Elle se basera sur les différents outils et moyens offerts par l'architecture pour répondre aux conséquences sanitaires, aux législations,... relatives aux ondes.

La méthodologie en tant que telle du TFE consiste essentiellement en une approche exploratoire.

En effet, l'objectif consiste à illustrer un ensemble de propos, de techniques, d'avis qui existent actuellement sur la question. De cette façon, un éventail de possibilités le plus large possible sera présenté sans pour autant chercher à absolument tout définir. En effet, c'est un domaine en constante évolution. Il ne s'agit donc pas de créer un état de l'art ou encore une énumération de tout ce qui a déjà été fait ou étudié. De plus, il n'existe *a priori* pas de liste avec toutes les expériences ayant déjà été menées ou avec les nouveaux matériaux capables d'arrêter les ondes,...

Les différentes sources utilisées sont issues à la fois de livres, revues,... d'avantage scientifiques pour définir des grands principes théoriques mais également des articles, conférences pour comprendre les différentes évolutions, polémiques,... De plus, quelques interviews ont été réalisées afin de compléter l'approche.

Au sein du TFE, quelques **LIMITES** ont été prises à propos du sujet.

Tout d'abord, à propos des ondes électromagnétiques, elles sont constituées en réalité d'une très large gamme. En effet, il faut les différencier de plusieurs manières : grâce à l'énergie qu'elles transportent,

leurs origines,... Dans le cadre de ce travail, les ondes électromagnétiques vont être tout d'abord basées sur les ondes non-ionisantes [ces différents termes sont expliqués dans la partie théorique sur les ondes chap. 0.3.]. Cette « catégorie » est en effet sujette à beaucoup de controverses actuellement et les enjeux qui en résultent [économiques, sanitaires,...] deviennent de plus en plus importants. De plus, on étudiera les ondes d'origine artificielles et non naturelles. Ces dernières ont des valeurs largement inférieures au niveau des transports d'énergie par rapport aux artificielles et ont donc très peu d'influence sur l'homme,... Enfin, ce dernier est baigné depuis son existence sur Terre dans ces ondes naturelles. Il s'y est donc petit à petit habitué et acclimaté. On étudiera donc l'influence des ondes électromagnétiques non-ionisantes d'origine artificielle tout au long de ce mémoire.

Ensuite, au niveau des représentations sociales relatives aux ondes, le TFE ne ciblera que les personnes qui sont concernées par l'environnement électromagnétique et pouvant influencer la démarche architecturale. Il s'agit par exemple des citoyens, scientifiques, pouvoirs publics,...

Enfin, en architecture, les points abordés relèvent essentiellement des compétences de l'architecte. On analysera donc les caractéristiques d'implantation, de forme, de matérialité et d'aménagement d'une construction.

La méthodologie est rédigée de manière beaucoup plus précise dans les différentes parties du TFE qui suivent.

0.3. Théorie sur les ondes électromagnétiques

Les ondes électromagnétiques sont composées « *de champs électriques et magnétiques perpendiculaires entre eux ... et qui ne nécessitent pas de support matériel pour se propager* » (LETAWE, 2013, p.105). Elles sont donc composées de deux éléments : un champ électrique et un champ magnétique qui oscillent perpendiculairement l'un à l'autre [Fig 1]. Elles peuvent se propager dans le vide ce qui n'est pas le cas des ondes sonores par exemple. Elles sont donc omniprésentes dans notre environnement.

Tout d'abord, un **champ électrique** correspond à « *un champ de force invisible créé par l'attraction et la répulsion de charges électriques* » (LEGAY, 2016, p.20). Pour les ondes électriques, il s'agit de l'influence d'une force exercée par une charge au repos. Une charge est capable de modifier le comportement d'une autre lorsque cette dernière se trouve dans son espace environnant. Leur champ peut alors s'additionner ou se soustraire. Le champ électrique est lié à la tension : plus elle augmente, plus l'emprise et les valeurs du champ seront importantes (BBEMG, 2016). Leur influence diminue relativement rapidement au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la charge. La force exercée augmente donc lorsque la distance entre les deux charges diminue (FEYNMAN, 2006, V.II chap 1).

Il est par exemple possible d'évoquer une lampe éteinte [Fig 2]. Elle produit un champ électrique. Il n'y a en effet pas de mouvement de charges mais elle est raccordée à une source de tension (LEDENT, 2015, p.173). L'unité la plus utilisée pour quantifier ces champs électriques est le volt par mètre [V/m].

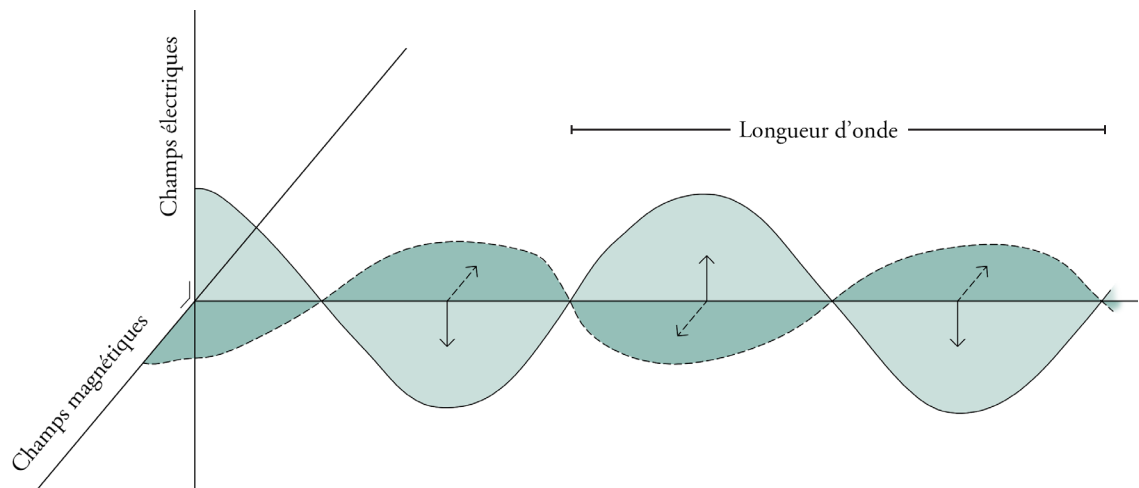


Fig 1 : Propagation des ondes électromagnétiques

Un **champ magnétique** est également une zone d'influence dans laquelle va s'exercer une force mais cette fois-ci, il s'agit de charges en mouvement, qui se déplacent. La valeur du champ varie en fonction de l'intensité du courant : plus elle est élevée, plus le champ magnétique sera important (LETAWE, 2013, p.43).

Il existe donc un champ magnétique lorsqu'une lampe est allumée [Fig 3]. L'électricité circule et donc les charges bougent. L'intensité du courant entraîne un champ magnétique (LEDENT, 2015, p.173). L'unité la plus répandue pour le quantifier est le micro-tesla [μT].

Lorsqu'il y a des charges, il y a des champs électriques. Dès que celles-ci sont mises en mouvement, il y a un champ magnétique mais le champ électrique n'a en rien disparu. C'est pourquoi ces deux données sont indissociables. Un **champ électromagnétique** est donc présent en un point. De plus, une charge crée un champ électrique qui une fois mise en mouvement crée un champ magnétique qui va entraîner à son tour un nouveau champ électrique,... (KANE, 2014, p.526). Il est donc possible de dire que l'association de ces deux champs crée bel et bien des ondes électromagnétiques : une succession d'oscillations comparables à des vagues (LE DREAN, 2016).

La lumière visible est un exemple d'onde électromagnétique. Mais elle n'est pas la seule. Pour différencier les différentes familles, la fréquence est utilisée. Cette dernière correspond au nombre d'oscillations par minute. Le spectre électromagnétique couvre des fréquences allant de quelques hertz à des millions de gigahertz. Il y a par exemple les ondes radios, les ondes satellites, les rayons UV, les rayons gamma,... [Fig 4]

De plus, la fréquence donne des indications sur l'énergie transportée par les photons, « particules ». Plus elle est élevée, plus l'énergie transportée est importante (LETAWE, 2017, interview). C'est pourquoi les rayons X par exemple, sont très dangereux pour la santé car les photons véhiculent tellement d'énergie qu'ils sont capables de casser des liaisons atomiques humaines. De plus, il est possible de constater que même à faible intensité, des problèmes peuvent survenir. C'est en effet l'énergie plus ou moins grande apportée par un photon qui importe. Evidemment, plus il y a de photons, plus les interactions avec la matière seront importantes. L'action des ondes sur un corps est donc définie par sa fréquence et l'énergie que les photons transportent. C'est pour

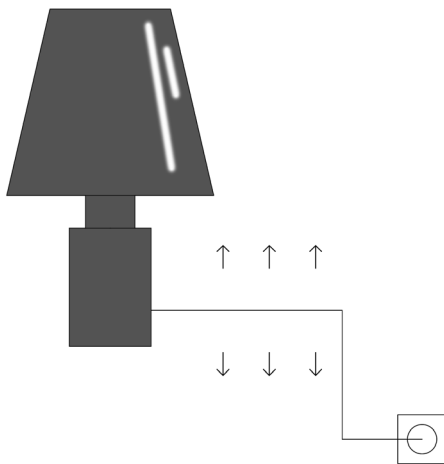


Fig 2 : Lampe éteinte produisant un champ électrique

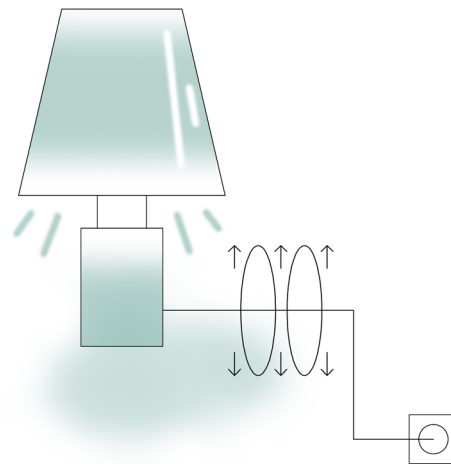


Fig 3 : Lampe allumée produisant un champ électromagnétique

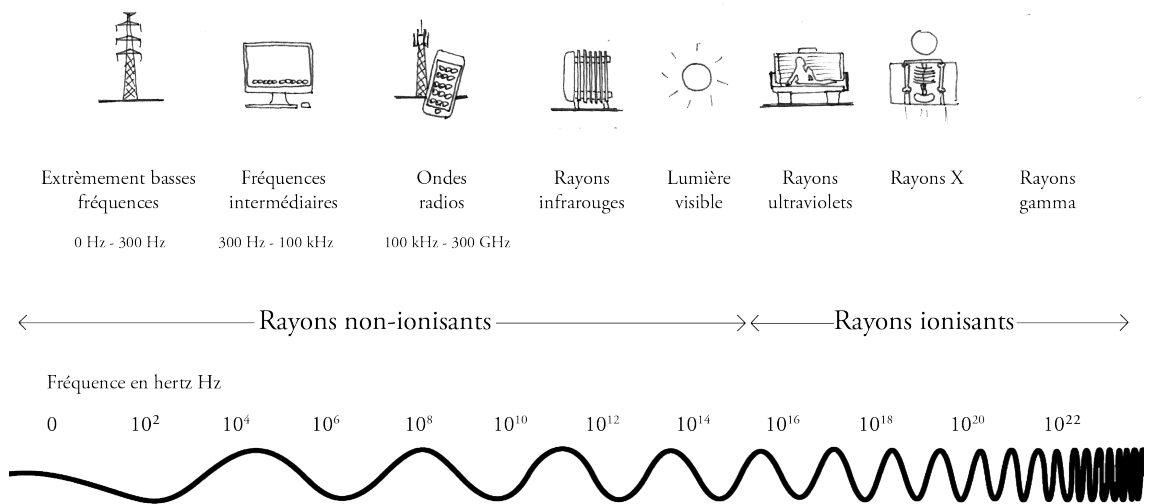


Fig 4 : Spectre électromagnétique

cette raison qu'il existe une distinction entre les rayonnements ionisants [qui sont capables d'ioniser la matière] et non-ionisants (LETAWE, 2013, p.105).

Par ailleurs, les ondes électromagnétiques qui nous entourent ont plusieurs origines. Premièrement, il y a des sources naturelles. Ici le soleil qui émet la lumière, les infrarouges,... peuvent être cités. Il y a également les ondes issues de la Terre appelées ondes géomagnétiques (BIRCKNER, 2015, p.34-35). Les valeurs sont ici relativement faibles et le corps humain est habitué à toutes ces émissions. Deuxièmement, il y a les sources artificielles qui ne cessent d'augmenter depuis quelques années. Il s'agit des ondes issues des radios, GSM, plaques à induction, radars, scanners dans les aéroports,... Elles proviennent d'appareils créés par l'homme. Le monde se retrouve donc de plus en plus baigné dans ces nouvelles émissions (LE DREAN, 2016).

Enfin, lorsque ces valeurs de champs sont quantifiées, ces dernières sont parfois données pour le champ magnétique et/ou pour le champ électrique. Cette différence vient de la distinction entre les champs éloignés et champs proches [Fig5]. La séparation entre ces deux types d'émissions varie en fonction de la fréquence et donc de la longueur d'onde (ELIA³, 2015, p.4). Dans le cas des champs éloignés, champs électriques et magnétiques sont intimement liés. Il s'agit ainsi, bel et bien, d'ondes électromagnétiques. Au niveau des champs proches, les deux champs sont indépendants l'un de l'autre. C'est le cas pour les basses fréquences. En effet, leur longueur d'onde étant très grande, les champs électriques et magnétiques n'ont pas eu le temps de se positionner perpendiculairement l'un à l'autre. Au moment où la formation d'ondes électromagnétiques devrait apparaître, leurs champs ne possèdent plus suffisamment d'énergie, d'intensité. Ils se sont donc éteints avec la distance.

C'est pourquoi dans le cadre des basses fréquences, les valeurs pour les champs électriques et magnétiques sont données distinctement. En ce qui concerne les hautes fréquences, l'une des deux est souvent définie. Elle correspond à ce qui sera majoritairement induit dans le corps et qui aura donc plus d'influence sur l'homme. Il

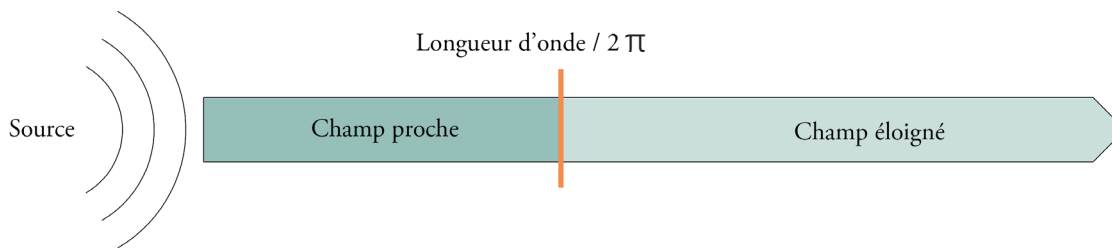


Fig 5 : Distinction entre champ éloigné et champ proche

n'existe, en effet, pas une valeur unique pour définir le champ électromagnétique (BEAUVOIS, 2017).

Toutes les ondes électromagnétiques sont mesurables à l'aide de divers appareils comme des géomagnétomètres, des teslamètres,...

Pour d'avantage de facilité et de compréhension, la distinction entre champs et ondes ne sera pas abordée ici.

Les deux termes seront employés indistinctement l'un de l'autre à travers le mémoire. Il s'agit avant tout d'un travail sur le domaine architectural avant d'être un recueil de physique.

Pour plus de précisions concernant ces ondes électromagnétiques et la différence entre ondes et champs, je propose de vous référer aux ouvrages scientifiques repris dans la bibliographie.

10

DES REPRÉSENTATIONS
SOCIALES ...

1.1. Introduction

Dés que des personnes parlent, discutent, débattent, donnent une opinion sur quelque chose, cela peut se traduire par la représentation qu'ils s'en font. Chacune d'entre elles peut avoir son propre avis, chaque individu se fait ses propres représentations sociales d'un phénomène.

«D'une part, ces dernières sont constituées d'éléments permettant de distinguer la manière dont chacun perçoit le monde au quotidien, et ce qu'il peut en dire. Les représentations traduisent ainsi des opinions, des croyances, des stéréotypes, des normes ou encore des jugements. D'autre part, à travers ces éléments, les représentations revêtent une double caractéristique : elles peuvent être partagées et consensuelles dans un groupe social, mais peuvent également être différenciées et conflictuelles entre les groupes.» (VALENCE, 2010)

Lorsqu'elles deviennent opposées et conflictuelles au sein de la population, il est possible d'observer des réactions diverses venant des différents acteurs. Dans le cas qui nous occupe ici, l'environnement électromagnétique fait partie de cette catégorie. Chez les citoyens, scientifiques, pouvoirs publics, lobbies économiques et architectes, il est possible d'observer que ces représentations sociales ne cessent de diviser la population. Ce phénomène est accentué d'avantage avec l'augmentation constante de toutes les technologies.

1.2. Méthodologie

Tout d'abord, l'**INTÉRÊT** d'aborder un angle sociologique permet d'essayer de découvrir où cette question de l'intégration des ondes en architecture peut immerger. Il faut resituer le contexte actuel et trouver un point d'entrée dans la matière ainsi qu'un appui sur lequel se baser. En effet, il sera possible d'observer que les nombreux acteurs considérés peuvent avoir des influences à différents niveaux en architecture. Ils sont importants à consulter pour définir les aspects techniques développés. En effet, sans eux, aucune question n'aurait été posée et donc aucune solution [architecturale] n'aurait été recherchée. Ces dernières sont donc analysées et détaillées dans la seconde partie. De plus, l'architecte construit pour l'homme. Il est donc indispensable de connaître sa position et les questions qu'il se pose avant d'aller plus loin dans le domaine de l'architecture construite. Il faut répondre aux attentes et être capable de trouver les solutions adaptées à la personne qui viendrait consulter un architecte pour s'isoler des rayonnements électromagnétiques.

Par exemple, si des problèmes sérieux de santé survenaient, une série de législations beaucoup plus strictes qu'aujourd'hui verrait le jour [instaurée suite aux représentations sociales d'une série d'acteurs : les pouvoirs publics]. L'architecte devrait réagir à ces différentes lois par des procédés divers [certains outils de conception architecturale]. Ces différentes solutions commencent à immerger mais ne sont pas encore très approfondies. Tout est en lien et un bouleversement à un niveau provoque des répercussions à toutes les échelles.

Cette première partie basée sur les représentations sociales permettrait donc de montrer où en sont les discussions à ce jour, la place que les architectes y trouvent et ce qu'ils pourraient faire en cas de problème. Les origines des techniques développées par les architectes trouvent donc leur fondement dans la représentation sociale que la population se fait des ondes électromagnétiques.

Ensuite, je propose d'**ANALYSER** toutes ces polémiques grâce à des revues, des articles, des vidéos, des conférences,... Les revues et articles sont issus de bases de données comme Le Cairn (CHATEAURAYNAUD, 2010) (PERETTY-WATEL, 2012) , de publications issues de magazines comme industrieBau (JOCHEN, 2014) (RUPRECHT, 2013) mais également de sites internet spécialisés tels que BBEMG (BBEMG, 2016) ou encore de l'OMS (OMS^{a-b}, 2014). En ce qui concerne les conférences, il s'agit par exemple de celles réalisées par l'espace des sciences (LE DREAN, 2016) ou encore

du reportage télévisé effectué par IHECS Corner (DELRUE, 2017). Ces différents éléments ont été découverts grâce à une méthode exploratoire. En effet, l'objectif du TFE consiste à illustrer un ensemble de propos, de techniques, d'avis qui existent actuellement sur la question. De cette façon, un éventail de possibilités le plus large possible sera obtenu sans pour autant chercher à absolument tout définir. En effet, c'est un domaine en constante évolution. Il ne s'agit donc pas de créer un état de l'art ou encore une énumération de tout ce qui a déjà été fait ou étudié. Les différents ouvrages cités ci-dessus ne sont en rien exhaustifs. Ils sont rapportés ici à titre d'exemple. La liste complète des sources utilisées se trouve évidemment dans la bibliographie. De plus, je suggère d'interviewer, d'analyser des expériences relatives à quelques acteurs pour avoir leur avis sur cette approche : les spécialistes, les lobbies économiques et bien sûr les architectes. Ces différentes personnes interviennent dans la réalisation d'un projet. Ils y apportent également de précieux conseils et informations pour un meilleur aboutissement. Il est donc important d'avoir leurs avis.

Premièrement, des **scientifiques** peuvent mieux éclairer cette thématique. Par exemple, une ingénieure civil électrique, Véronique Beauvois, impliquée dans la recherche de l'influence des antennes relais sur la santé peut apporter un avis assez objectif (ANSSEAU, 2015) (BBEMG, 2016) (ROLAIN, 2016). Les raisons de leurs recherches et leurs motivations peuvent apporter un regard complémentaire sur la question. Ces spécialistes sont trouvés grâce « à du bouche à oreille » et des recherches dans des revues, sur internet. Il s'agit donc également d'une méthode exploratoire. Ces personnes sont contactées en fonction des diverses approches qu'elles ont par rapport au sujet et des domaines dans lesquels elles exercent [scientifique, construction,...]. Ainsi, les avis les plus distincts et variés possibles peuvent être récoltés.

Deuxièmement, les **pouvoirs publics** se préoccupent de plus en plus de cette question sur l'environnement électromagnétique. Ils élaborent une série de normes et recommandations. Cette partie est développée grâce à des livres (BIRCKNER, 2015) (CACHARD, 2016) et des articles (NADAUD, 2015) (OMS^{a-b}, 2014) obtenus par méthode exploratoire. D'autres ont été fournis par des personnes ressources.

Troisièmement, les **lobbies économiques** exercent une pression grandissante sur les autres acteurs. Afin de comprendre leur position, je suggère de consulter des articles et conférences qui y font référence (LE DREAN, 2016). De plus, il est jugé utile de contacter quelques firmes et acteurs spécialisés dans le domaine comme Guillaume Souliac qui est directeur général de l'entreprise EuroMC en France,...

Quatrièmement, les **citoyens**, les maîtres d'ouvrage peuvent avoir leur mot à dire : pourquoi sont-ils sensibles à une « architecture concernée par les ondes » ?, que peut apporter l'architecte pour rencontrer leurs attentes ?,... Je propose d'analyser quelques enquêtes réalisées à différents endroits dans le monde (BBEMG, 2016). Elles permettent de dégager un pourcentage de population inquiet vis-à-vis des ondes électromagnétiques, de savoir comment les aider,... En procédant de la sorte, il est possible d'observer la corrélation entre ce que disent les médias, les revues et ce que pensent réellement les citoyens qui sont les premiers concernés.

Cinquièmement, je propose de consulter des **bureaux d'architecture** qui se sont intéressés aux ondes électromagnétiques. Les exemples n'ont pas l'air très nombreux en Europe au vu des informations récoltées dans des revues, des sites internet d'architectes,... L'objectif du TFE n'est pas de faire un annuaire, une description de tous les projets ayant fait l'objet d'une recherche particulière sur les ondes dans nos régions. De plus, il n'existe pas de groupements particuliers, listes, reprenant tous les noms des projets où une attention particulière a été portée à l'environnement électromagnétique. C'est pourquoi, la méthode exploratoire est choisie. Les bureaux d'architecture repris sont : Andréas Zimmermann qui conçoit en Suisse (CORDIER, 2014) , ACXT Architects qui se trouve en Espagne (ARTECHEGROUP, 2013) et Architectus qui travaille à Sydney (ROSS, 2016). Ils sont en effet allés jusqu'au plus petit détail de la construction. Quelles ont été leurs motivations, comment ont-ils répondu aux volontés des acteurs, sont-ils prêts à renouveler l'expérience... ? Je propose de les interroger à ce sujet.

Enfin, en ce qui concerne les **LIMITES** de la première approche, plusieurs acteurs sont questionnés : spécialistes [ils recherchent des avis objectifs, des résultats fiables et sont porteurs d'études qui peuvent intéresser dans le domaine architectural], pouvoirs publics [des lois voient le jour en rapport avec ces ondes : comment sont-elles acceptées, en quoi influencent-elles l'architecture ?,...], lobbies économiques [peuvent-ils freiner le progrès en matière d'ondes et empêcher des recherches plus approfondies sur des nouveaux matériaux, ou sont-ils porteurs de nouveaux idéaux?...], citoyens [si un jour un problème sanitaire,... réel arrivait, l'architecture pourrait amener des pistes de solution] architectes [des intérêts peuvent naître au sein de certains bureaux]. Il me semble qu'ils peuvent concerner de près ou de loin le domaine de l'architecture. Les catégories ont été obtenues en corrélant un ensemble d'articles. La recherche des documents effectuée par méthode exploratoire a fait ressortir des similitudes entre les différents avis de certaines personnes. Il s'avère que des opinions correspondent chaque fois à un même type de personne à savoir : les scientifiques, les pouvoirs publics, les lobbies économiques, les citoyens ou les architectes. Il est possible de « ranger » l'ensemble des représentations sociales relatives aux ondes électromagnétiques dans ces différents acteurs. Au préalable, les documents ont été triés en fonction de leur lien avec l'architecture. Les articles n'y faisant pas référence ont été directement écartés et n'interviennent donc pas dans l'élaboration des catégories d'acteurs du TFE.

1.3. Les spécialistes - scientifiques

- **Dr Annie Sasco** - docteur en médecine

« En 2012, il y a à peu près 70% de la population mondiale qui utilise un téléphone portable. Donc s'il y a des risques associés à ce téléphone portable, évidemment les conséquences pourront être extrêmement lourdes.»

(BILIEEN, 2012)

- **Dr Pierre Souvet** - cardiologue

« **Il va falloir attendre 10 ans, 20 ans pour vraiment arriver à compter les malades, voir les morts** »

(BILIEEN, 2012)

- **Yves le Dréan** - biologiste à l'INSERM et enseignant-chercheur à l'université de Rennes 1

« Dans le cadre de l'utilisation des applications (telephoniques) [...] est ce que là on risque quelque chose, est ce qu'il y a un danger sanitaire ou non ? »

(LE DREAN, 2016)

- **Pr Dominique Belpomme** - médecin et professeur en cancérologie

« Aujourd'hui, les malades sont là et on ne peut pas les supprimer pour faire plaisir aux pouvoirs publics, aux opérateurs. »

(BILIEEN, 2012)

- **Jacques Lambrozo** - médecin à Paris

« En dehors de l'induction de courants dans le corps humain, aucun mécanisme d'action sur le vivant n'a été démontré.»

(LAMBROZO, 2014)

- **Sophie Pelletier** - présidente de l'ONG Priartem

« Cet avis constitue une vraie avancée pour la prise en considération d'une pathologie émergente qui provoque beaucoup d'incompréhension et de souffrance, dans la vie professionnelle, sociale et personnelle des patients. Ses préconisations en termes de recherche et de prise en charge vont dans le bon sens. Reste maintenant aux pouvoirs publics, au corps médical et aux institutions à s'en saisir. »

(LE HIR, 2018)

Déjà dans les années 60, les scientifiques commençaient à se poser des questions au sujet des ondes électromagnétiques basses fréquences et de leur influence sur la santé (LAMBROZO, 2014, p.440). Mais voilà seulement quarante ans que les débats font rage chez ces spécialistes pour savoir si des risques sanitaires sont à prévoir (BBEMG, 2016). En effet, des études ont révélé l'influence des ondes électromagnétiques basses fréquences dans le développement de la leucémie chez les enfants. Cependant, rien n'aurait été confirmé (LEDENT, 2015, p.172). Il s'agit ici d'un des points de départ pour toutes les réflexions et expériences scientifiques. C'est également le début de beaucoup de controverses et polémiques. Mais qu'en pensent réellement tous ces spécialistes et chercheurs ?

Tout d'abord, le plus gros contentieux en terme d'onde électromagnétiques chez les scientifiques est de **dénouer le vrai du faux**. Toutes leurs études cherchent à enfin révéler la vérité sur les potentiels effets des ondes sur la santé. En effet, certains résultats mettent en évidence les risques sanitaires des ondes tandis que d'autres avancent leur côté inoffensif (LEGAY, 2016, p.38) (ROLAIN, 2016, p.13) (SPF, 2014, p.11). Rien n'est vraiment prouvé mais aucun risque n'est cependant exclu (LEDENT, 2015, p.172). Ils commencent donc à se demander si tout cet amas et floraison d'expériences est vraiment fiable. En effet, tout une série de paramètres influencent ces questionnements : interprétation parfois erronée de certaines études scientifiques, manque de recul par rapport aux nouvelles technologies (ROLAIN, 2016, p.13), étude pouvant contenir des biais, manque de mécanismes plausibles et reproductibles pour les niveaux électromagnétiques auxquels la population est exposée (BBEMG, 2016), environnement électromagnétique complexe et multiple qui est donc dur à reproduire dans le cadre des expériences (LAMBROZO, 2014, p.441), techniques qui évoluent trop rapidement (CACHARD, 2016, p.XIII), étude des ondes électromagnétiques rassemblant de nombreux domaines, qualifications (CACHARD, 2016, p.6) ... Que peut-on donc retirer de ces dizaines d'études réalisées à ce jour ?

Ensuite, de manière générale, les scientifiques ne parviennent pas à **se mettre d'accord** sur les possibles risques et symptômes qu'entraîneraient les ondes électromagnétiques sur notre santé. L'exposition aux ondes amènerait des risques accrus de développer des maladies au niveau cérébral qui mènerait à l'Alzheimer (CACHARD, 2016, p.98) (LEGAY, 2016, p.46) (BBEMG, 2016) ou encore cancer (CACHARD, 2016, p.XIII) (AZB, 2017) (ROLAIN, 2016, p.10) ou à la leucémie infantile (CACHARD, 2016, p.96) (LILIEN, 2008, p.39) mais également des troubles cognitifs, de la concentration (CACHARD, 2016, p.98). Au delà de ces problèmes liés au cerveau, il est également possible d'évoquer les risques au niveau hormonal qui pourraient causer des pertes de fécondité (LEGAY, 2016, p.107) (CACHARD, 2016, p.99), des effets thermiques (SPF, 2014, p.9) (CACHARD, 2016, p.94) ,...

Ces différents symptômes varient en fonction de notre exposition : aux basses fréquences ou aux hautes fréquences et de longue ou de courte durée. Ils changent également en fonction d'un champ électrique ou magnétique. En effet, les ondes électriques traversent partiellement notre corps et provoquent ainsi des courants induits dans ce dernier. Quant aux ondes magnétiques, elles traversent notre corps dans son entièreté et génèrent des forces sous forme de boucle.

Néanmoins d'autres scientifiques renient tout lien entre notre environnement électromagnétique et un possible risque sanitaire (LAMBROZO, 2014). Pour détraquer les autres études ces derniers évoquent par exemple l'effet nocebo. Le simple fait que la personne s'inquiète à propos des risques de ces champs pourrait déclencher des maux de tête,... Elle entre alors dans un mécanisme qui empire de plus en plus. Les spécialistes parlent alors d'avantage de problèmes psychologiques. Pour appuyer cet effet nocebo, des Égyptiens ont réalisé une expérience en 2005 avec une antenne relais. Les personnes « testées » se plaignaient de maux de tête alors que l'antenne n'était même pas encore activée (LEGAY, 2016, p.97). D'autres chercheurs mettent en avant que les ondes dont il est question sont des ondes non ionisantes. Elles ne posséderaient donc pas suffisamment d'énergie pour interagir de manière substantielle avec nos cellules (LAMBROZO, 2014, p.442).

Force est donc de constater que le tableau n'est pas toujours tout blanc ou tout noir et que des spécialistes se situent entre les deux. Tous les avis se mélangent et il n'est facile pour personne de s'y retrouver. Ici, ils insistent sur le fait que des résultats ont été apportés quant à de possibles risques mais ils ne sont en rien confirmés et le lien causal entre les ondes électromagnétiques et les symptômes développés ne sont pas prouvés. Ils invitent donc à la prudence. C'est pourquoi certains organismes comme l'ICNIRP, l'OMS (ROLAIN, 2016, p.10), le CIRC en France,... adoptent des recommandations dans une optique de précaution (BBEMG, 2016). Ces différentes recommandations seront expliquées un peu plus loin.

Il est également possible d'évoquer les polémiques scientifiques qui tournent autour du SICEM, Syndrome d'Intolérance aux Champs ElectroMagnétiques, ou des EHS, **ElectroHyperSensibles**. Il s'agit en fait de personnes qui se disent malade et qui souffrent quand elles sont exposées aux ondes. Leurs symptômes sont multiples et très diversifiés et peuvent par exemple être ceux cités un peu plus haut (DEL RUE, 2017). Ici aussi, les avis et diagnostics scientifiques varient : des études révéleraient en effet le lien possible entre EHS et ondes électromagnétiques. Il s'agit par exemple de l'étude de Huss & Rössli réalisée en 2006 (BBEMG, 2016). Cependant, d'autres soutiennent tout à fait le contraire. Les scientifiques soulignent l'absence d'un diagnostic objectif ou encore l'effet nocebo (ROLAIN, 2016, p.12). Pour ces derniers, le rapport EHS et ondes électromagnétiques est donc improbable (SPF, 2014, p.30). Il faut cependant préciser que les spécialistes sont conscients de la souffrance que ces personnes endurent mais ils se posent des questions quant à l'origine de leurs maux tant ils peuvent être associés à de nombreuses pathologies : sont-ils vraiment dû à l'environnement électromagnétique ?

Par ailleurs, les scientifiques entre eux s'accusent de **conflits d'intérêts** (CACHARD, 2016, p.85). En effet, les recherches sont tantôt financées par les opérateurs, tantôt par des ONG, le privé,... Ils se reprochent donc de la négligence ou de la complaisance (LEGAY, 2016, p.6). Une étude a montré le lien entre le financement et les résultats obtenus des études. Le schéma ci-dessous illustre leur conclusion [Fig 6] (HUSS, 2007). Certains espèrent cependant qu'au-delà du financement, il y a quand même une certaine conscience éthique au sein des chercheurs (CACHARD, 2016, p.89).

Enfin, les représentations sociales relatives aux ondes électromagnétiques dans le domaine scientifique semblent être multiples et diversifiées. Pour l'illustrer encore d'avantage, des interviews nous fournissent encore d'autres informations. Géraldine Letawe, professeur de physique en Haute École à Liège, fait remarquer que d'un

point de vue purement physique, l'énergie d'un photon augmente lorsque la fréquence augmente. Plus la fréquence est grande et donc plus il y a de risque pour l'être humain. De plus, les ondes GSM sont proches des ondes du micro-onde. De possibles risques sanitaires sont-ils cependant à craindre ? (LETAWE, 2017). Un autre avis intéressant est celui de Véronique Beauvois qui travaille à l'université de Liège notamment pour la BBEMG. Elle avance le fait que la quantité des recherches fluctue en fonction des périodes. Quand une nouvelle technologie arrive sur le marché, la population s'excite et c'est la panique. Ils focalisent dessus et l'inquiétude ne cesse d'augmenter. Par dessus toutes ces réactions, les médias viennent encore rajouter une couche (BEAUVOIS, 2017). Mais ce contexte d'empressement est-il propice pour réaliser des expériences de manière correcte et garder une vision objective sur le problème ?

En conclusion, il est possible de remarquer qu'actuellement, rien n'est sûr. Le doute plane à cause de la complexité des parties en jeu et des nombreux enjeux que cette question soulève. En guise de point final à ces représentations sociales des scientifiques, les annexes 1 et 2 illustrent bien les polémiques et les conflits qui existent. Dans la première annexe, Jacques Lambrozo, médecin à Paris, explique qu'il faut être raisonnable et arrêter de se focaliser sur les risques des ondes électromagnétiques (LAMBROZO, 2014). Quant à la deuxième annexe, elle retranscrit l'appel à l'aide de médecins venant des quatre coins de la terre pour que les autorités, l'OMS,... prennent conscience de l'urgence des problèmes sanitaires que vont causer ces ondes (DECLARATION DE BRUXELLES, 2015).

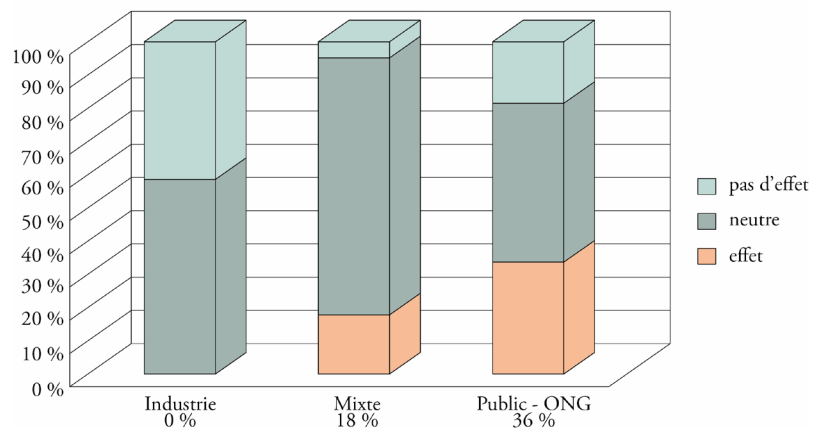


Fig 6 : Influence des résultats en fonction du financement

1.4. Les pouvoirs publics

- **ICNIRP** - International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection
« *To avoid hazards to health and prevent adverse interaction with high frequency fields, ICNIRP recommends limiting the exposure to HF so that the threshold at which these interactions become detrimental is never reached.*»
(ICNIRP, 2017)

- **OMS** - Organisation Mondiale de la Santé
« ***Le CIRC a classé les champs électromagnétiques dans la catégories des cancérogènes possible pour l'homme (Groupe 2B).***»
(OMS^b, 2014)

- **Olivier Cachard** - professeur de droit en France
« *On se souvient qu'en dépit des dénégations des industriels et des études de complaisance, la nocivité de l'amiante avait été établie dès le début du XXème siècle. En France, il avait fallu attendre 1977 pour que soit pris un décret relatif aux mesures d'hygiène particulières applicables dans les établissements ...*»
(CACHARD, 2016, p.253-254)

- **Maitre Richard Forget** - avocat à Paris
« *Nier ce discours, nier la souffrance de ces gens (EHS), c'est faire fit d'une partie de la population. C'est de toute façon penser qu'il y a tout le temps des sacrifiés, s'agissant de la modernité et que eux en font partie et que ce sera les sacrifiés du 21ème siècle et de toute façon ils sont minoritaires et c'est pas très grave. Ce qui est véritablement scandaleux*»
(BILLEN, 2012)

- **Olivier Cachard** - professeur de droit en France
« *Après la publication de plus de 3000 études scientifiques (dans des revues à comité de lecture), démontrant la nocivité des champs électromagnétiques, le maintien de seuils réglementaires obsolètes caractérise aujourd'hui la carence de l'administration et expose ainsi l'Etat à de futures actions recursives.*»
(CACHARD, 2016, p.254)

Les pouvoirs publics sont considérés dans ce cas-ci comme les personnes étant source de légalité, ils vont donc créer un ensemble de normes et recommandations. Les représentations sociales relatives aux ondes électromagnétiques de ces derniers vont être en partie conditionnées par les résultats des recherches scientifiques. C'est pour cette raison que leurs normes vont suivre le principe de précaution.

Tout d'abord, le **principe de précaution** est adopté « *lorsque la réalisation d'un dommage, bien qu'incertain en l'état des connaissances scientifiques, pourrait affecter de manière grave et irréversible l'environnement. Les autorités publiques veillent, par application du principe de précaution et dans leurs domaines d'attributions, à la mise en œuvre de procédures d'évaluation des risques et à l'adoption de mesures probatoires et proportionnées afin de parer à la réalisation du dommage* » (CACHARD, 2016, p.13). Les pouvoirs publics vont donc anticiper les risques au cas où un véritable problème surviendrait. Ils intègrent donc un certain degré d'incertitude (SPF, 2014, p.12).

Dans la prolongation de ce principe, on observe premièrement **LA CLASSIFICATION DES MONOGRAPHIES DU CIRC DE L'OMS** [Fig 7] en ce qui concerne les ondes électromagnétiques. Ils ont en effet classé les ondes électromagnétiques hautes fréquences (OMS, 2011, p.1) et les champs magnétiques des ondes basses fréquences (LEDENT, 2015, p. 173) dans la catégorie 2B. Par contre, les champs électriques basses fréquences ont été rangés dans la classe 3 (BBEMG, 2016). Le groupe 2B rassemble l'ensemble des agents qui sont peut-être cancérigènes pour l'homme tandis que la classe 3 définit ceux qui sont inclassables quant à leur cancérigénicité pour l'homme [Fig 7] (BBEMG, 2016).

Deuxièmement, un ensemble de **NORMES** [Fig 7] à proprement parler va voir le jour [Fig 7]. Celles-ci sont théoriquement discutées avec les scientifiques, spécialistes (LEGAY, 2016, p.114)... Elles sont élaborées principalement au niveau international, européen et chaque état est ensuite libre de réviser ces valeurs. De manière générale, l'UE souhaite que ce qu'elle dicte soit respecté de façon à avoir la plus grande cohérence possible entre les différents pays (BBEMG, 2016). Au niveau international, on peut par exemple citer l'OMS, Organisation Mondiale de la Santé, l'ICNIRP, International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection,... qui tentent de centraliser les différentes études scientifiques pour ensuite en déduire un cadre normatif (CACHARD, 2016, p.74). Plus proche de nous, l'état belge a évidemment donné son avis et a modifié quelque peu ce qui avait été préconisé par les instances internationales (ROLAIN, 2016, p.14). La BBEMG, Belgian BioElectroMagnetic Group, qui travaille essentiellement sur les basses fréquences, peut également être citée (BBEMG, 2016)... Ces normes sont réglementaires, elles sont donc source de loi (CACHARD, 2016, p.224). Elles sont élaborées en tenant compte d'un facteur de sécurité plus ou moins important pour poursuivre dans l'idée du principe de précaution. Tant que la valeur n'est pas dépassée, il n'y a théoriquement pas de risques. En général, l'environnement électromagnétique se situe sous ces valeurs. Il ne devrait donc y avoir aucun souci (BBEMG, 2016). Cependant, quelques organismes réclament des révisions de ces normes car ils trouvent leur seuil trop élevé (ASSOCIATION ROBIN DES TOITS, 2017). Mais pour l'OMS, BBEMG,... au vu des résultats actuels, il n'y a pas besoin. De plus, la diminution des seuils amènerait peut-être plus de problèmes. Par exemple, en diminuant les valeurs, les antennes devraient émettre moins, moins de signal serait donc perçu dans les bâtiments, ce qui conduirait à la construction de nouvelles antennes pour avoir un signal acceptable (GARRIC,

2014, p.3). Au lieu de vouloir réviser, il serait par exemple plus judicieux de travailler sur les quelques zones qui dépassent actuellement les seuils limites (GARRIC^a, 2014, p.1).

Troisièmement, il est intéressant de s'attarder quelques instants sur les avis des autorités publiques à propos des **EHS** [Fig 7]. Comme expliqué avant, les scientifiques semblent avoir des opinions plus que mitigées à leur sujet. Mais comment les pouvoirs publics réagissent-ils face à cette situation ? Encore une fois, les débats font rage. Il est tout d'abord possible d'avancer que l'OMS n'a pas reconnu l'EHS comme une maladie à part entière (CACHARD, 2016, p.228). Comme elle n'est pas directement assimilée dans les CIM, Classification Internationale des Maladies, aucune aide financière, remboursement ne peut être octroyé aux "malades" (CACHARD, 2016, p.230). Mais il y a quand même eu du progrès : à défaut de ne pas être une maladie, l'OMS a reconnu l'EHS comme un handicap (CACHARD, 2016, p.236). Cela amène donc des avantages au niveau de la sécurité sociale, ... Mais évidemment, ce classement ne satisfait pas tout le monde. En effet, sur papier c'est bien beau mais c'est loin d'être le cas en réalité. Par exemple, la notion d'handicap entraîne une obligation d'accès de manière égale à l'espace public et ce, quel que soit le type de handicap (CACHARD, 2016, p.242). Or très peu de bâtiments cherchent à limiter leurs rayonnements électromagnétiques pour que les EHS ne soient pas importunés. De plus, la plupart des pays suppriment le peu de zones blanches qu'il reste sur leur territoire. Ces zones blanches sont des morceaux de territoire où il n'y a presque aucune émission, où la couverture réseau est moindre, ... En effet, les autorités se basent sur un autre principe : pour l'égalité des chances économiques et la croissance, tout le territoire doit être recouvert par les réseaux des différentes opérateurs (CACHARD, 2016, p.243), ... Où pourront donc aller vivre ces EHS ? Actuellement, en Belgique, le territoire serait recouvert à 99,9% d'ondes électromagnétiques (DELRUE, 2017). Les EHS réclament donc de toute urgence des zones qui seraient vierges d'émissions pour pouvoir vivre (GARRIC^b, 2014, p.1). C'est pourquoi des associations voient le jour comme AZB en France, Association Zones Blanches, pour aider les EHS (AZB, 2017).

Ensuite, à coté de toutes les polémiques qu'entraîne le principe de précaution, il faut aussi tenir compte des **conflits d'intérêts** : « *s'agissant d'un produit aussi ubiquitaire que l'électricité, l'enjeu est de taille* » (LAMBROZO, 2014, p.440). Il est possible d'en dire de même pour tout ce qui concerne les GSM, le Wi-fi, ... Par exemple, le Professeur Dominique Belpomme, médecin et professeur en cancérologie, disait avoir entendu que des experts internationaux voulaient classer les radiofréquences dans la catégorie 2A, probablement cancérigène. Mais les multinationales ont insisté pour les classer en 2B [peut-être cancérigène pour l'homme] autrement, ils retireraient certaines de leurs subventions (BELPOMME, 2015). Une autre illustration de ces conflits d'intérêt : les autorités sont chargées de gérer l'utilisation du spectre hertzien et de distribuer les différentes bandes de fréquences aux multiples opérateurs. Ces derniers doivent alors payer une contrepartie, un peu comme un loyer, pour pouvoir exploiter la fréquence. Le domaine public préfère-t-il répondre aux intérêts des multinationales et remplir un peu ses caisses ou va-t-il servir l'intérêt public (CACHARD, 2016, p.9,54) ?

Enfin, pour résumer les représentations sociales relatives aux ondes électromagnétiques auprès des pouvoirs publics, le tableau ci-contre [Fig 7] illustre bien la complexité et la diversité des opinions au sein des différentes instances. Toutes les valeurs doivent être respectées au niveau de l'environnement intérieur

du bâtiment. L'extérieur n'est donc pas considéré. De plus, des normes ont été créées distinctement **pour les TRAVAILLEURS** [Fig 7]. Elles sont beaucoup moins strictes car les autorités pensent que les adultes sont plus responsables et d'avantage au courant des risques qu'ils encourent.

Le principe de précaution semble être à la base de toute cette réglementation mais cela ne suffit malheureusement pas à mettre tout le monde d'accord et les nombreux conflits d'intérêt n'arrangent rien.

Cependant, certaines autorités semblent se préoccuper d'avantage du problème. C'est par exemple le cas à Zurich qui a aidé financièrement les EHS pour leur construire un immeuble à appartement où ils se sentiraient bien. Ces habitants voient ce geste comme un possible début de reconnaissance de leurs maux (LEFEVRE, 2014). La loi Abeille qui recherche la sobriété au niveau électromagnétique en France peut également être citée (CACHARD, 2016, p.15,251),...

		INTERNATIONAL	BELGIQUE	AUTRES PAYS	CLASSE OMS
BASSES FREQUENCES	CHAMPS ELECTRIQUES	- ICNIRP : <5000V/m <10000V/m - UE : <5000V/m <10000-20000V/m => pour le long terme	- habitat : <5000V/m - surplombs de routes : <7000V/m - autres lieux : <10000V/m	- France : <5000V/m	3
	CHAMPS MAGNETIQUES	- ICNIRP : <100µT ou 200µT <1000µT - UE : <100µT- >0.25µT <100-6000µT - <0.4µT quand des enfants => pour le long terme	- <100µT - Flandres : Guide : <0.2µT Intervention : <10µT	- France : <100µT <1000µT - Suisse : <100µT (existant) <1µT (nouveau) - Suède : <0.2µT	2B
HAUTES FREQUENCES	CHAMPS ELECTRIQUES	- ICNIRP : <42V/m (900MHz) - UE : orientation : 0.6V/m -> 0.2V/m	- Bruxelles : 900MHz : <6V/m - Wallonie : <3V/m - Flandres : 900MHz : <3V/m	- France : 900MHz : <41V/m <0.1 quand personnes sensibles - Suisse : 900MHz : <4V/m - Toscane : 900MHz : 0.5V/m	2B
	CHAMPS MAGNETIQUES				2B
EHS		- OMS : handicap		- Suède : handicap	

Fig 7 : Récapitulatif des différentes normes

1.5. Les lobbies économiques

- **ELIA** - gestionnaire du réseau de transport d'électricité en Belgique

« *Les recherches menées depuis plus d'une trentaine d'années n'ont pu mettre en évidence de façon formelle un risque pour la santé en cas d'exposition à des champs électromagnétiques de très basse fréquence. Elle n'ont pas permis non plus de l'exclure.*»

(ELIA^b, 2015, p.14)

- **DURALEX** - entreprise française fabricant des peintures,...

« *Les ondes émises dans notre environnement perturbent notre équilibre et notre qualité de vie. De plus, en plus de personnes électrosensibles, futures mamans, enfants et personnes malades, sont concernées. Il existe maintenant des solutions Duralex innovantes, simples et efficaces*»

(DURALEX, 2018)

- **Benoit Louppe** - technicien chimiste, consultant scientifique et technique en environnement électromagnétique, et en biologie de l'habitat et propriétaire du magasin Etudes & Vie

« *Aujourd'hui, nier l'impact des ondes électromagnétiques est vraiment irrespectueux vis-à-vis de ceux qui en souffrent.*»

(BRU, 2017, p.27)

- **Proximus** - opérateur téléphonique belge

« *Par précaution, il est préférable de limiter votre exposition et celle de vos enfants aux ondes électromagnétiques : veillez à téléphoner avec modération, à utiliser une oreillette, à choisir un appareil dont l'indice DAS est faible (catégorie A ou B) et à passer vos appels lorsque la couverture est suffisante, p. ex. à proximité d'une antenne GSM.*»

(PROXIMUS, 2018)

En ce qui concerne les avis des lobbies économiques, qu'ils appartiennent à une grande multinationale ou à un petit vendeur, ils n'échappent pas à la règle qui semble prédominer : polémiques, controverses et opinions partagées. En effet, d'un côté, les grands acteurs économiques mondiaux réfutent tout risque sanitaire dû aux ondes électromagnétiques pour continuer de croître économiquement et de l'autre côté, il y a les commerçants qui cherchent à vendre leurs appareils « anti-ondes ». Il semblerait donc que pour tous, le maître mot soit : profit économique.

Tout d'abord, une partie de ces lobbies économiques, multinationales qui travaillent dans la téléphonie, dans les industries qui conçoivent nos GSM, dans les distributeurs d'électricité,... **refusent de penser à un possible risque** sanitaire dû à notre environnement électromagnétique. Pour la plupart, ils avancent le fait que rien de très clair n'a encore été démontré (ELIA⁹, 2015, p.14). Ils profitent du doute posé pour continuer leurs activités normalement. Ils s'opposent donc à toute révision à la baisse des normes car ils craignent essentiellement pour leur croissance économique. Cela contraindrait les multinationales à revoir leur marché avec toutes les conséquences qui en découlent.

Premièrement, il est possible d'évoquer les entreprises qui s'occupent de la distribution d'électricité. Elles seraient amenées à revoir l'ensemble de leurs infrastructures si les normes étaient réévaluées. De plus, l'électricité est omniprésente dans notre environnement. La tâche serait gigantesque (LAMBROZO, 2014, p.440).

Deuxièmement, les différents opérateurs seraient également bien embêtés si les ondes électromagnétiques étaient reconnues dangereuses pour la santé. En effet, le secteur de la téléphonie, des réseaux internet, est en pleine expansion et tous espèrent créer des nouvelles antennes relais sur des nouvelles bandes de fréquences tant le réseau commence à être saturé (ROLAIN, 2016, p.15). De plus, la construction de ces antennes coûte beaucoup moins cher et est beaucoup plus efficace que les infrastructures pour la fibre optique auxquelles il faudrait recourir si les rayonnements électromagnétiques devaient être diminués (CACHARD, 2016, p.7-8).

Troisièmement, il est intéressant de citer les industriels qui fabriquent toutes les technologies comme le GSM, les réveils,... Quand près de 5 milliards de téléphones ont été vendus dans le monde jusque 2016 (CACHARD,

2016, p.XIV), il est facile de comprendre l'enjeu financier que cela représente. Ces acteurs font donc tout pour conserver cette puissance économique.

Quatrièmement, au-delà des intérêts économiques de ces différentes puissances, il y a également toutes les professions qui sont, de près ou de loin, liées au domaine. Les emplois qui en découlent sont très nombreux (ROLAIN, 2016, p.16).

Cinquièmement, les réseaux qui existent,... peuvent entraîner un développement différent au niveau des villes. Les smartcities*, villes hyperconnectées, sont à la mode pour le moment (ROLAIN, 2016, p.18). Une diminution des ondes électromagnétiques peut donc aussi avoir des répercussions au niveau du développement urbain.

Pour éviter tous ces problèmes et conserver leur croissance économique, ces lobbies mettent la pression sur les scientifiques, les législateurs,... pour ne pas que les seuils limites soient revus à la baisse (BELPOMME, 2015) (CACHARD, 2016, p.XIV).

Ensuite, il existe des lobbies économiques qui pensent que les hommes courent un **risque en s'exposant aux ondes électromagnétiques** (LE DREAN, 2016). C'est le cas de magasins comme CryoZen à Bruxelles (CRYOZEN, 2018) ou encre TERReHABITAT près de Ath (TERREHABITAT, 2018). Ces commerçants vendent toute une série d'appareils qui sont censés supprimer, arrêter les ondes. Ils protègent donc leurs usagers de tout rayonnement. Ces instruments sont cependant souvent onéreux. D'autres entreprises comme Euro MC avancent également des risques grandissant de piratage informatique, espionnage,... dû à la prolifération de ces ondes (EUROMC, 2017). Les vendeurs de tous ces dispositifs ont donc tout à fait intérêt à ce que les autorités, scientifiques, démontrent le caractère dangereux de l'environnement électromagnétique pour notre santé.

Peu importe du quel coté de la barrière ces lobbies économiques se trouvent, le gain d'argent est ce qui va orienter majoritairement leurs opinions et actions. Ils sont prêts à tout pour faire évoluer leurs entreprises, quitte à devoir entretenir des rapports de force avec la société civile (CACHARD, 2016, p.108).

	LOBBIES ECO	SI RISQUE SANITAIRE ...	
OEM = inoffensif	Entreprise de transport d'électricité	Révision de toutes les infrastructures électriques	Pas de croissance économique
	Opérateur	Révision de toutes les antennes relais, Wi-fi,...	
	Fabricant des technologies	Révision de tous les GSM, réveils, électroménagers, ordinateurs,...	
OEM = risque	Commerçant	Augmentation des ventes de leurs appareils anti-ondes,...	Croissance économique

OÙ EST LA PRIORITE ?

Fig 8 : Récapitulatif des conséquences engendrées par la découverte de risques sanitaires

1.6. Les citoyens

- **EHS**

« *L'électrosensibilité est une vie d'errance, d'isolement, de précarité,...*»

(GARRIC^b, 2014)

- « *On subit ces ondes électromagnétiques sans qu'on nous ait demandé notre avis.*»

(CACHARD, 2016, p.251)

- « *... Mais aussi offrira des logements adaptés et ainsi favorisera la réinsertion des personnes atteintes de cette pathologie [électrosensibilité]. Le logement, et plus largement l'habitat, contribuent de manière incontournable à soutenir les personnes dans la réhabilitation de la perception qu'elles ont d'elles-mêmes. Cela permettrait à des personnes isolées et en souffrance de réintégrer un monde qu'elles pensaient devoir oublier.*»

(AZB, 2017)

- **EHS**

« *Je sais que je passe pour une folle et une marginale. Mais même si c'est extrêmement dur à vivre, je n'ai pas le choix. Je ne regarde pas le passé, ni ce que je perds dans la vie : je survis.*»

(GARRIC^b, 2014)

- « *Aucun risque n'est scientifiquement prouvé. Donc pourquoi s'inquiéter ?*»

- **Per Segerback - EHS**

« *Les premiers symptômes étaient simplement des problèmes aux yeux et sur la peau puis des vertiges et des nausées sont apparus quand j'étais à proximité d'écrans d'ordinateur.*»

(DELRUE, 2017)

- « *Ce n'est pas d'un bâtiment anti-ondes dont ils (EHS) ont besoin, c'est d'un asile !*»

Comme déjà évoqué précédemment, la quantité d'ondes électromagnétiques dans notre environnement quotidien ne cesse d'augmenter et les citoyens s'en rendent bien compte. Certaines personnes vont s'en plaindre alors que pour d'autres cela n'a pas l'air de poser problème (BBEMG, 2016).

Pour commencer, le journal Le Monde a, par exemple, publié en 2013 que tout un groupe de personnes s'était opposé à la construction d'une nouvelle antenne relais près de l'école de leurs enfants. Ils ont ainsi obtenu la suspension des travaux (VALO, 2013). Mais que craignent ces personnes ? Que pensent-elles des ondes électromagnétiques ? Quels sont leur avis ?

Ils sembleraient que ces citoyens aient **peur** de développer un cancer, ou d'avoir des troubles du sommeil, des maux de tête (BBEMG, 2016),... Une étude en Suisse a été menée en 2006 par l'équipe scientifique de Schreider. Après avoir interrogé plus de 2000 personnes de plus de 14 ans, ils sont arrivés à la conclusion que 2,7% de la population étudiée avait déjà ressenti des effets négatifs sur leur santé. Ils attribuaient ces symptômes aux ondes électromagnétiques (BBEMG, 2016). Cependant, certains spécialistes constatent que les citoyens ne comprennent pas bien ce concept d'électromagnétisme. Ils ignorent par exemple que les champs diminuent avec la distance (LEDENT, 2015, p.173). Il faudrait donc essayer d'informer correctement la population qui a parfois l'impression d'être en dehors des débats. De plus, les citoyens absorbent souvent toutes les informations venant des médias, autorités publiques, scientifiques, lobbies économiques,... sans les replacer dans leur contexte (SPF, 2014, p.5). Ils mélangent donc tout, ce qui contribue à accentuer leur inquiétude. Cependant, il semble tout de même qu'une majorité de la population n'accorde que peu d'importance à notre environnement électromagnétique.

Ensuite, il n'est pas envisageable de parler des représentations sociales des ondes électromagnétiques des citoyens sans évoquer les EHS, les **ElectroHyperSensibles**. « *L'électrosensibilité recouvre des symptômes qui sont attribués par la personne qui en souffre à la proximité ou à l'usage d'équipements électriques et qui résultent en des degrés variables d'inconfort ou de mauvaise santé perçue.* » (BBEMG, 2016). Le pourcentage d'EHS varie en fonction des expériences et surtout des pays mais pourquoi ?... Si le taux minimum de 1 à 3% est repris et appliqué à la Belgique, il y aurait entre 100 000 et 300 000 EHS (AZB, 2017). Pour aller encore plus loin, certains pronostiques prévoient qu'en 2017, 50% de la population serait EHS à différents niveaux en Europe (AZB, 2017). Avons nous atteint ce chiffre ?... Dans la plupart des cas, ces « malades des ondes » se sentent incompris (DELRUE, 2017). Ils souffrent réellement et peu de personnes semblent s'en préoccuper. Pour pouvoir vivre, ils commencent par aménager leur milieu de vie en utilisant différents appareils pour s'isoler des ondes,... Par la suite, ils vont commencer à faire des aller retour dans des zones blanches pour trouver pendant quelques instants un endroit de paix et de calme tant leurs maux ne cessent de s'amplifier. À un stade trop avancé, les souffrances sont telles qu'ils sont obligés de déménager (AZB, 2017). Ils se sentent alors exclus du monde, isolés de toutes interactions sociales : « *combien au maximum peut-on souffrir pour voir les gens ?* » (LEFEVRE, 2014). Certains parlent même de nouveaux ghettos (DELRUE, 2017).

Même si l'origine de leurs maux n'est pas encore prouvée, ils ont eux leur propre avis sur la question. Une étude menée en Suisse en 2004 révèle que les antennes relais sont, à leurs yeux, la principale cause de leurs

symptômes comme le montre le graphique ci-dessous [Fig 9] (BBEMG, 2016).

Malgré leurs visions et leurs réels problèmes, les EHS ne sont pas compris par la plupart de la population. En effet, beaucoup les prennent pour des fous (GARRIC^b, 2014) ou pensent qu'ils auraient juste besoin d'être enfermés. Les EHS sont entraînés dans un cercle vicieux qu'ils ne contrôlent plus. De plus, il s'agit d'une minorité et les détraqueurs surenchérissent en disant que la plupart de la population ne rencontre aucun problème alors que nous vivons tous dans le même environnement (BBEMG, 2016). Ces considérations envers les EHS ne les aident pas du tout à se redresser et à retrouver une vie décente.

Il est donc possible de remarquer ici aussi que les avis sont partagés. Cependant, une majorité des citoyens rejette ces ondes électromagnétiques au second plan, ils ne s'en inquiètent pas trop. Par contre, une autre partie pense être directement concernée par le phénomène induit par les nouvelles technologies : les EHS. Ils ne se sentent pas spécialement soutenus et vivre en société n'est parfois même plus possible. Ces EHS sont-ils l'illustration de la vie de demain ou les citoyens qui ne prêtent que peu d'attention à notre environnement électromagnétique ont-ils d'avantage raison ?

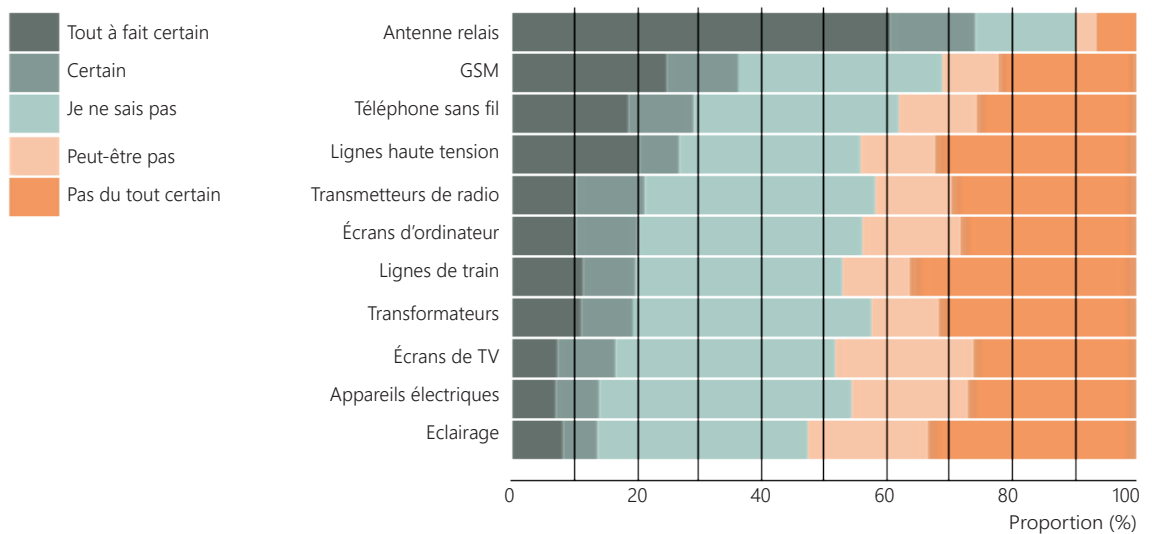


Fig 9 : Causes suspectées des symptômes des EHS en Suisse

1.7. Conclusion - Et les architectes ?

- **Andreas Zimmermann** - architecte allemand

« *Ce n'est pas possible de construire une maison pour ce genre de personne [EHS] si vous ne vous autorisez pas à prendre en compte l'irrationnel.*»

(LEFEVRE, 2014)

- **Michel Klarfeld** - architecte à Paris

« *Le projet architectural n'a de sens que s'il permet une meilleure qualité de vie pour toutes les personnes qui sont amenées à y vivre ou y travailler.* »

(KLARFELD, s.d.)

- **Architectus** - bureau d'architecture à Sydney

« *Our clients are the instigators, funders and owners of our projects. Our role is to listen closely to clients' objectives, budgets and needs to enable us to create design solutions that generate added value.*»

(ARCHITECTUS,2018)

- **Marianne Dutli Derron** - architecte - chef du projet MCS Gerechtes Wohnhaus

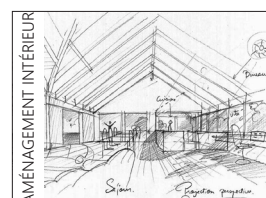
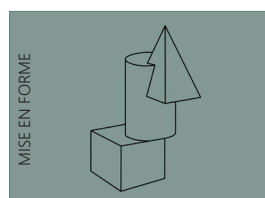
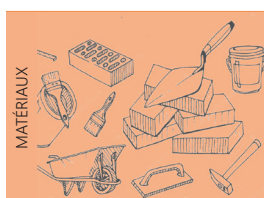
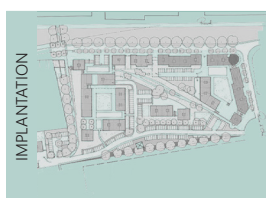
« *C'est probablement le fruit de leur imagination [des EHS] mais pour eux, c'est la réalité.*»

(LEFEVRE, 2014)

Pour résumer cette première partie, il semblerait que quelques soient les acteurs repris ici, aucune décision n'est clairement prise et aucune opinion n'est clairement tranchée. Au sein de toutes ces incertitudes, comment la conception architecturale trouve-t-elle sa place ?.

Tout d'abord, les **scientifiques** cherchent à dénouer le vrai du faux. Ils ne parviennent en effet pas à se mettre d'accord sur les risques sanitaires liés aux ondes électromagnétiques. De plus, les nombreux conflits d'intérêt ne semblent pas plaider en leur faveur pour acquérir plus de crédibilité l'un par rapport à l'autre. C'est, entre autres, pour toutes ces raisons qu'ils vont adopter un ligne de conduite guidée par la prudence et la précaution. Dans ce contexte, certains chercheurs vont travailler parallèlement sur des expériences qui peuvent intéresser le domaine architectural. Il s'agit par exemple de recherches sur l'éloignement à respecter entre un bâtiment et une ligne à haute tension (BBEMG, 2016). En effet, les champs électromagnétiques diminuent avec la distance mais varient aussi en fonction de la tension de la ligne à haute tension,... [voir chap. 2.3.] Toutes ces études donnent donc des indications sur l'implantation d'un ouvrage à construire. De plus, les spécialistes s'attardent également sur la création de nouveaux matériaux qui permettraient d'isoler des ondes (CHABREUIL, 2010). Travailler sur les propriétés, les composantes de ceux-ci contribuent à accentuer ou diminuer les rayonnements [voir chap. 2.4.]. Par ailleurs, certaines expériences ont été menées pour définir le positionnement des baies dans la façade (PIRARD, 2000, p.55). Ces dernières constituent un point faible dans le bâtiment si il est nécessaire de se protéger des ondes électromagnétiques extérieures [voir chap. 2.5.].

Les scientifiques vont donc développer une série d'outils qui peuvent être exploités dans le milieu architectural. Les architectes peuvent donc exploiter ces différentes études.



Possibilité d'influence en architecture pour les scientifiques

Ensuite, il est possible de résumer les représentations sociales relatives aux ondes des **pouvoirs publics** comme étant essentiellement focalisées sur le principe de précaution. Ils se basent entre autre sur les résultats, pourtant incertains, des scientifiques. Ils vont ainsi classer les ondes électromagnétiques dans les catégories de l'OMS mais également développer un ensemble de normes. Cependant, une fois de plus, les conflits d'intérêt viennent entacher tous leurs objectifs. Toutes ces recommandations sont évidemment à prendre en compte par l'architecte. Olivier Cachard, professeur de droit en France, a par exemple évoqué le fait d'essayer d'être prévoyant en réfléchissant au bâtiment lors de sa construction (CACHARD, 2016, p.253). En effet, l'architecte doit vérifier si les rayonnements dans son édifice ne dépassent pas les valeurs préconisées. Il y sera particulièrement attentif lorsqu'il se trouve à proximité d'une ligne haute tension, d'une antenne relais,... Il faut cependant rester lucide : dans la majorité des cas, ces normes ne sont pas dépassées tant leurs valeurs limites sont hautes.

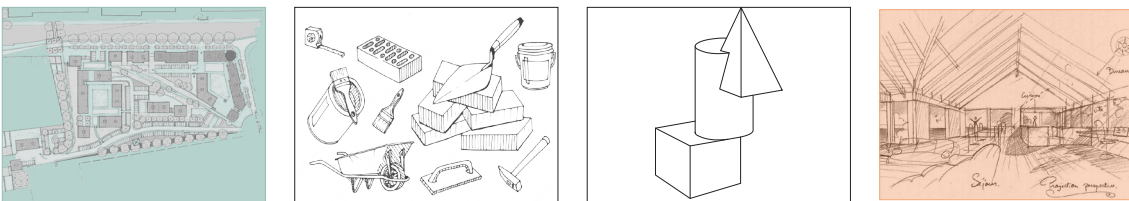
Les pouvoirs publics peuvent donc induire une série de réflexions sur l'implantation, les matériaux et la forme.



Possibilité d'influence en architecture pour les pouvoirs publics

Par ailleurs, au sein des **lobbies économiques**, deux visions très distinctes s'opposent. D'un côté, il y a les multinationales, les opérateurs, les industries qui cherchent à faire évoluer le milieu de la technologie, des mises en réseau,... pour, notamment, gagner de l'argent. De l'autre côté, les petits commerçants vendent des instruments anti-ondes. Ces deux optiques différentes peuvent aussi avoir leurs répercussions dans le milieu architectural. En effet, la première catégorie va chercher à développer toujours plus d'infrastructures que ce soit des antennes relais, des lignes à haute tension,... Ils se soucient toutefois très peu de leur intégration dans le paysage, de la trajectoire des câbles de la ligne à haute tension,... Ils infligent des nuisances sans grandes préoccupations éthiques (CACHARD, 2016, p.8). Les terrains où sont implantés les différents ouvrages ou ceux à proximité perdent de leur valeur foncière. Par conséquent, l'architecte doit porter une attention particulière quant à l'implantation de l'habitation ,... Il doit alors intégrer aux mieux toutes ces infrastructures dans sa conception architecturale. Les habitants n'ont peut-être pas très envie d'avoir une vue directe sur la ligne à haute tension quand ils sont allongés dans leur divan. De plus, il y a toute la problématique évidente pour certaines personnes des rayonnements émis par ce genre d'infrastructures quand elles sont proches de l'habitation. L'architecte a donc le choix entre plusieurs options pour diminuer les impacts [voir partie 2].

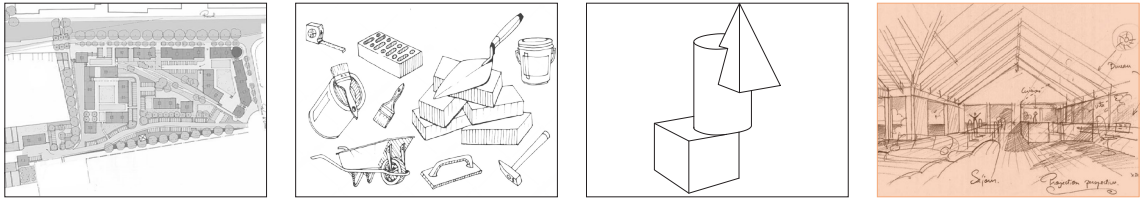
Les lobbies économiques qui vont chercher à vendre leurs appareils anti ondes vont d'avantage agir sur l'aménagement des bâtiments. En effet, la population vient leur acheter toute une série d'instruments à placer un peu partout dans leur milieu de vie. Si telle est la volonté des habitants, l'architecte peut chercher à intégrer soigneusement ces différents éléments dans son projet.



Possibilité d'influence en architecture pour les lobbies économiques

Enfin, les **citoyens** sont partagés entre craintes de contracter le cancer, d'avoir des maux de tête,... ou continuer à vivre sans trop se préoccuper de cet environnement électromagnétique. Parmi eux, les EHS souffrent réellement de la situation et cherchent désespérément des endroits où vivre. Malheureusement, toutes ces personnes, inquiètes quant aux différents risques que pourraient entraîner ces ondes, possèdent

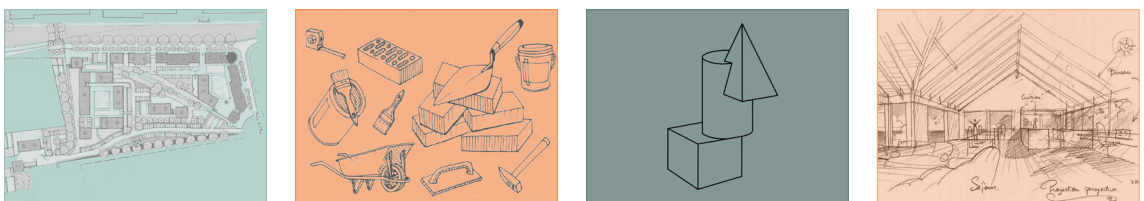
peu de moyens d'action pour se rassurer. Ils vont aller acheter toute une série d'instruments anti-ondes ou vont peindre leur intérieurs avec des enduits spécifiques,... Ils vont donc essentiellement agir sur l'aménagement des lieux en se l'appropriant d'une manière ou d'une autre. Les architectes peuvent tenir compte de ces volontés [voir chap. 2.6].



Possibilité d'influence en architecture pour les citoyens

Toutes ces représentations sociales relatives aux ondes électromagnétiques créent donc un cadre d'action pour l'**architecte**. Un ensemble de contraintes peut s'imposer à lui et il devra jongler avec l'ensemble afin de proposer un projet cohérent. De plus, il va devoir intégrer l'ensemble des volontés de tous les acteurs cités ci-dessus. Cela intègre donc leurs éventuelles opinions, avis, craintes, et donc représentations sociales. Il faut imaginer un projet qui ait du sens pour ses habitants et dans lequel ils se sentent bien. L'architecte est le seul à pouvoir concevoir leur milieu de vie.

Certains architectes ont déjà eu des demandes particulières concernant ces ondes [voir partie 3]. Ils évoquent parfois qu'il faut être un peu fou pour comprendre ce qu'ils veulent. Au début, ils ont l'impression d'être embarqués dans une aventure incroyable mais au fur et à mesure, ils comprennent d'avantage le problème. Ils doivent aussi parfois tout recommencer sans trop comprendre pourquoi (LEFEVRE, 2014). Mais n'est-ce pas un peu le rôle de l'architecte de rechercher toutes les solutions et options possibles pour que les personnes se sentent bien dans leur habitat,... ?



Possibilité d'action pour les architectes

02

... vers LES OUTILS
DE CONCEPTION
ARCHITECTURAUX ...

2.1. Introduction

Les architectes semblent de plus en plus avoir leur rôle à jouer dans toutes ces polémiques sur les ondes électromagnétiques. Tous ces questionnements ont fait émerger au sein de la profession des réflexions pour répondre aux inquiétudes formulées par la population. Les architectes, au même titre que d'autres métiers, possèdent des leviers d'action pour améliorer et calmer la situation. Et pour cause, ils peuvent agir sur le lieu de vie où les personnes passent la plupart de leur temps : les bâtiments et habitations.

Ils ne sont cependant pas seuls à agir sur le construit. D'autres domaines comme les scientifiques, les pouvoirs publics,... ont également été secoués par ces "conflits électromagnétiques". Grâce à eux, les architectes vont pouvoir transposer les recherches effectuées dans le secteur architectural. Ils découvriront donc de nouveaux outils de conception afin de pouvoir traiter la question de l'électromagnétisme. Sans tous ces acteurs, les architectes n'auraient sûrement pas les compétences suffisantes pour les élaborer seul. Il s'agit donc en quelque sorte d'un travail de groupe qui peut être, entre autre, centralisé par le domaine architectural.

Les architectes vont ainsi essentiellement travailler sur la question de l'implantation, des matériaux, de la forme et de l'aménagement pour répondre aux polémiques soulevées par les ondes électromagnétiques et créer des environnements sains pour la population.

2.2. Méthodologie

Afin de poursuivre les recherches, je propose tout d'abord de développer les techniques architecturales par le biais de quatre outils différents : l'implantation, la forme, les matériaux et l'aménagement. Il s'agit des interventions les plus générales et globales de l'architecte. En effet, ces actions sont les plus directes sur la construction d'un espace. L'architecte va concevoir un cadre de vie spécifique pour chaque maître d'ouvrage grâce à ces différents outils.

Tout d'abord, pour développer les divers aspects d'une architecture intégrant les préoccupations électromagnétiques, je propose tout d'abord d'utiliser des livres scientifiques (LETAWE, 2013) (KANE, 2014) mais également des articles et revues (BBEMG, 2016) (BEAUVOIS, 2012) pour développer le côté théorique des différents outils de conception architecturale. Ces premiers documents ont été obtenus par méthode exploratoire. D'autres ont été communiqués et fournis par des spécialistes comme Véronique Beauvois,...

Ensuite, comme déjà expliqué, le domaine architectural ne peut pas trouver seul l'ensemble des solutions relatives aux ondes électromagnétiques. C'est pourquoi, après vérification, une série de liens a été réalisée entre le domaine physique et l'architecture. Des phénomènes expliqués scientifiquement peuvent en effet parfois avoir des intérêts en architecture. Les caractéristiques optiques peuvent être de temps en temps reprises et appliquées aux constructions. Par exemple, la réflexion optique peut être directement liée à la forme architecturale. Ces rapprochements ont été concrétisés après de nombreuses lectures dans des livres scientifiques (KANE, 2014) (LETAWE, 2013) et des interviews de personnes spécialisées dans le domaine scientifique comme Géraldine Letawe (LETAWE, 2017).

Par ailleurs, des expériences et recherches ont été menées dans les différents domaines. Ces dernières peuvent être très utiles en architecture.

Premièrement, au niveau de l'**implantation**, des résultats ont été obtenus pour connaître les distances à respecter avec une infrastructure électrique (BBEMG, 2016),...

Deuxièmement, certains **matériaux** ont été analysés en particulier. Il s'agit du béton, de la terre cuite, du bois, des métaux, de la pierre, du verre et des

plastiques et polymères. Ces différentes matières ont été sélectionnées en fonction du cours de matériaux donné en premier bachelier à la faculté d'architecture de Liège en 2013 (MICHAUX, 2013). De plus, ils entrent souvent dans la construction d'un bâtiment. Afin de les comparer, leurs caractéristiques électromagnétiques ont été analysées sur base d'articles et de livres scientifiques (KANE, 2014) (MARDIGUIAN, 2017) (STONE, 1997). Ces références ont été trouvées par méthode exploratoire ou fournies par des spécialistes. Certaines valeurs étaient cependant manquantes. Grâce à des formules mathématiques, il semblait cependant possible de les calculer. Après être assuré de leur validité et de leurs conditions d'emploi, elles ont donc été appliquées afin de combler les manques. Certains chiffres ne sont donc pas issus de revues scientifiques et évoquent donc une globalité. Ils peuvent être pris comme référence mais ne sont en rien parfaitement exacts au vu des nuances qui peuvent être apportées en complément. Ils permettent de donner un ordre d'idées. Des firmes et entreprises de construction sensibles aux ondes électromagnétiques commencent également à arriver sur le marché et peuvent contribuer à une nouvelle conception architecturale. Il s'agit par exemple de l'entreprise SPIE BATIGNOLLES et EUROMC qui ont élaboré un nouveau matériau à base de béton capable de stopper les ondes électromagnétiques (G.N., 2016) (EUROMC, 2017).

Troisièmement, en ce qui concerne la **forme**, des travaux ont été effectués pour connaître le positionnement opportun des ouvertures dans une façade (PIRARD, 2000),... Afin d'illustrer les principes en jeu dans le cadre de la mise en forme, des exemples ont été sélectionnés. Ces derniers ont été choisis parmi les illustrations se trouvant dans le livre de Sanchez Vidiela A. Atlas des nouvelles formes (SANCHEZ VIDIELA, 2010). Les quatre exemples repris sont ceux qui possédaient le plus de particularités. Ils sont en effet uniques dans la mise en forme qu'ils offrent par rapport aux autres projets du recueil.

Quatrièmement, l'**aménagement intérieur** a également fait l'objet de réflexions particulières. Les différents systèmes analysés durant ce chapitre ont été découverts par méthode exploratoire ou fournis par des firmes et ne sont en rien exhaustifs. Ils illustrent les possibilités qui existent actuellement sur le marché pour se protéger des ondes électromagnétiques. Des recherches ont été menées pour créer des systèmes de finition de parois (HOLLAND SHIELDING SYSTEMS BV, 2018), des appareils pour bloquer les ondes (LOUPPE, s.d.),...

Enfin, pour compléter certaines approches, des interviews ont été réalisées. Il s'agit de contacts pris avec des entreprises [EuroMC], des scientifiques [Véronique Beauvois, Géraldine Letawe],...

2.3. L'implantation

L'**IMPLANTATION** est la première étape dans la conception d'un projet. Analyser l'environnement permet à l'architecte d'opter pour certaines options. Le dénivelé du terrain, les vues, les accès, les égouts... sont un ensemble d'éléments auxquels il est intéressant de porter attention. Prendre en compte tous ces aspects favorise la bonne intégration du projet dans son contexte.

Au niveau des ondes électromagnétiques, il est souvent recommandé d'observer une série d'autres facteurs. Il s'agit par exemple de veiller à la proximité vis-à-vis des lignes à haute tension, des antennes relais, des lignes de chemin de fer ou encore la proximité avec une montagne. Cette réflexion préalable trouve toute son importance si il est nécessaire de se protéger des rayonnements électromagnétiques.

2.3.1. Le transport d'électricité

Depuis quelques années, il est possible de constater une nette évolution dans les réseaux de transport d'électricité. Le vieillissement des installations pour la production de l'énergie, la recherche pour mettre fin au nucléaire, l'arrivée de l'énergie renouvelable souvent décentralisée ainsi que l'augmentation de la demande nécessitent une révision du réseau de distribution. Il n'est donc pas rare de voir de nouvelles infrastructures électriques naître sur le territoire (ELIA⁹, 2015, p.1-2). Les champs émis par les différentes constructions se situent dans le domaine des basses fréquences. Il s'agit donc des fréquences situées autour de 50 Hz. L'influence qu'exercent les lignes à haute tension, les liaisons souterraines sur la santé divise également la population. Les scientifiques cherchent pourtant à leur montrer, qu'à leurs yeux, les champs électromagnétiques basses fréquences sont inoffensifs. L'architecte peut donc ici exercer son rôle de conseiller. Il a notamment la possibilité d'implanter le futur bâtiment de façon à traiter l'exposition aux rayonnements de la manière la plus appropriée possible.

2.3.1.1. Les lignes à haute tension

Un ensemble de paramètres concernant les lignes à haute tension peuvent être pris en compte pour intégrer une réflexion sur l'environnement électromagnétique dans un bâtiment. Il s'agit ici d'agir essentiellement sur l'implantation de la future construction.

Tout d'abord, l'influence des champs d'une ligne à haute tension est directement liée à sa nature. Il existe en effet des niveaux de tension différents en Belgique : 380 kV, 220 kV, 150 kV, 110 kV et 70 kV (LEDENT, 2015, p.174). Si la tension varie, la valeur du champ électrique varie également : plus la tension est élevée, plus le champ électrique sera important (ANSSEAU, 2015, p. 173).

L'influence de la tension est donc capable de faire varier le rayon d'influence des champs [Fig 10-11]. La distance à laquelle le rayonnement aura encore de l'influence fluctuera donc également (BBEMG, 2016).

L'architecte peut donc s'informer sur la tension d'une ligne à haute tension se trouvant à proximité du site afin d'opter pour la meilleure implantation possible.

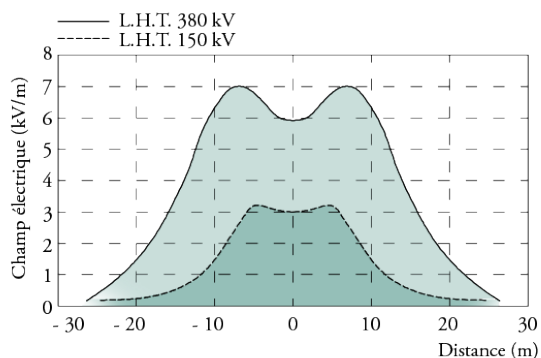


Fig 10 : Influence du champ électrique en fonction de la tension

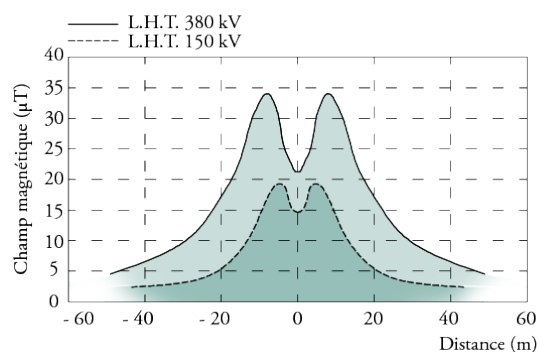


Fig 11 : Influence du champ magnétique en fonction de la tension

Ensuite, l'organisation de l'ensemble des câbles conducteurs de la ligne à haute tension peut influencer le champ. En effet, il existe une différence entre les lignes transposées et non transposées [Fig 12] (ELIA^a, 2015, p.6-7). Les lignes à haute tension sont composées, en général, de deux circuits de trois ternes*. Chaque terna a son propre courant oscillant de manière sinusoïdale comme expliqué dans la partie théorique sur les ondes. Au vu de la proximité entre les ternes, le champ de l'un peut influencer les autres. C'est pourquoi si deux ternes ont les mêmes oscillations au même moment, elles vont s'additionner et le champ qui en résultera sera plus important. Pour éviter ce phénomène, des lignes transposées ont été imaginées. L'organisation et le courant passant dans les différents ternes ont été calculés afin que les champs s'annulent l'un l'autre. Un champ résultant plus faible et donc une aire d'influence plus petite sont donc obtenus [Fig 13]. Il est possible de reconnaître ce type de ligne grâce à des boules rouges et/ou blanches disposées sur un câble de garde* situé au-dessus de la ligne.

L'architecte peut donc relativement facilement repérer ce genre de ligne à haute tension. Il pourra donc rassurer son client car l'intensité du champ magnétique est réduite pour une même distance du centre de la ligne (BEAUVOIS, 2017). Dans le cas contraire ou en cas d'intolérance aux ondes, une série de dispositions peuvent être prises comme implanter l'habitat le plus loin possible de l'infrastructure, utiliser des matériaux appropriés [voir chap. 2.4.].

Enfin, en ce qui concerne les normes actuelles, des institutions comme l'OMS, l'ICNIRP,... se sont penchées sur le cas des extrêmement basses fréquences. À ce jour, les scientifiques utilisent les valeurs européennes moyennes de 100 μT pour les champs magnétiques et 5000 V/m pour les champs électriques. Il s'agit de grandeurs à ne pas dépasser à l'intérieur, dans une habitation (OMS^a, 2014).

À titre d'information, des valeurs ont également fait leur apparition mais dans un domaine qui n'est pas actuellement reconnu scientifiquement : la baubiologie. Elle s'apparente d'avantage à une croyance plutôt qu'à une science. Cependant, la constatation est flagrante : les grandeurs maximum mises en avant sont largement inférieures à celles préconisées par les institutions. Les pollutions extrêmes sont en effet définies à partir de 0,5 μT pour les champs magnétiques et 50 V/m pour les champs électriques (BIRCKNER, 2015, p.135). Certaines personnes préconiseraient même des taux maximum de 0,3-0,4 μT pour les champs magnétiques. Ils auraient soulevé une corrélation entre la leucémie chez les enfants et l'exposition aux champs électromagnétiques (ANSSEAU, 2015, p.172). Ces résultats ont fait l'objet de quelques expériences épidémiologiques mais ne sont



Fig 12 : Ligne non transposée - ligne transposée

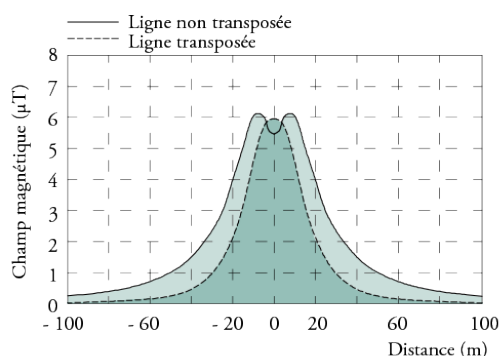


Fig 13 : Influence du champ magnétique en fonction de la ligne

pas totalement validés pour le domaine scientifique.

Ces différentes normes sont donc à prendre en compte dans le cadre d'une construction. Un appel à la vigilance est à prévoir lorsque le maître d'ouvrage est électrosensible, qu'une ligne à haute tension passe au-dessus de la maison,...

Les lignes à haute tension peuvent donc être d'avantage considérées lors de l'implantation d'un bâtiment lorsqu'il y a une volonté particulière du maître d'ouvrage de s'écarter de l'environnement électromagnétique. À titre d'exemple, une ligne de 70 kV génère un champ électrique de 1 kV/m au pied du pylône. Si la future habitation se situe à 100 mètres de cette infrastructure, le champ électrique s'élèvera à 100 V/m à l'extérieur. Ce rayonnement sera encore inférieur dans le bâtiment grâce aux différents matériaux utilisés (BEAUVOIS, 2012, p.55),...

L'architecte peut informer le maître d'ouvrage de la valeur des différents champs présents dans son environnement. Ensemble, ils pourront, dans le cadre d'une nouvelle construction, éloigner au maximum le bâtiment de la source. Pour un habitat existant, il s'agira de le protéger avec d'autres outils [voir chap. 2.4., 2.5., 2.6.].

2.3.1.2. Les liaisons souterraines

Au delà des lignes à haute tension, les liaisons souterraines constituent une alternative pour transporter l'électricité [Fig 14]. En février 2015, la Belgique comptait environ la moitié de câbles souterrains par rapport aux lignes à haute tension (ELIA^b,2015, p.13). Ces câbles enfouis sous terre ont notamment un intérêt au niveau paysager : ils n'encombrent pas notre environnement (BBEMG, 2016). Ces liaisons transportent également de l'énergie électrique comme les lignes à haute tension. Elles sont donc situées dans les ondes basses fréquences à 50 Hz.



Fig 14 : Liaisons souterraines

Tout d'abord, les liaisons souterraines n'émettent qu'un champ magnétique. En effet, les champs électriques sont arrêtés par les gaines qui entourent les câbles ainsi que l'enfouissement sous terre (ELIA^b, 2015, p. 13). Les champs magnétiques, eux, ne sont pas stoppés par ces différentes couches. Leur présence en surface est donc bien réelle.

Ensuite, pour une même intensité de courant, l'influence des champs magnétiques d'une ligne à haute tension ou une liaison souterraine est tout à fait différente. Lorsque les câbles se situent sous terre, l'influence du champ magnétique est beaucoup plus importante en surface que pour une ligne à haute tension. Cependant, le premier va diminuer plus rapidement comme le montre le schéma [Fig 15]. Cette valeur en surface varie évidemment avec la profondeur d'enfouissement du câble : le champ magnétique diminue quand la profondeur augmente (BBEMG, 2016). L'architecte veillera donc à éloigner au mieux son projet des liaisons souterraines afin de limiter l'exposition aux champs.

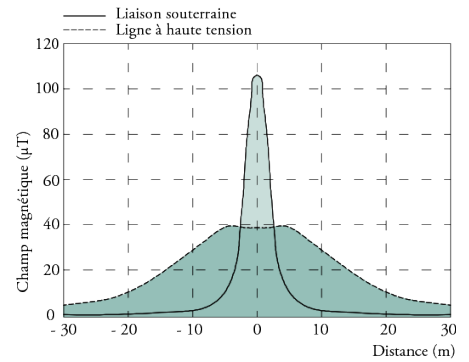


Fig 15 : Influence du champ magnétique en fonction de la source

Afin de connaître les positions des différentes liaisons souterraines et lignes à haute tension sur un territoire et ainsi pouvoir anticiper certains souhaits des clients, l'architecte a, à sa disposition, une série de cartes [Fig 16]. Grâce à ces outils, une réflexion en amont sur l'implantation d'un futur bâtiment peut être réalisée.

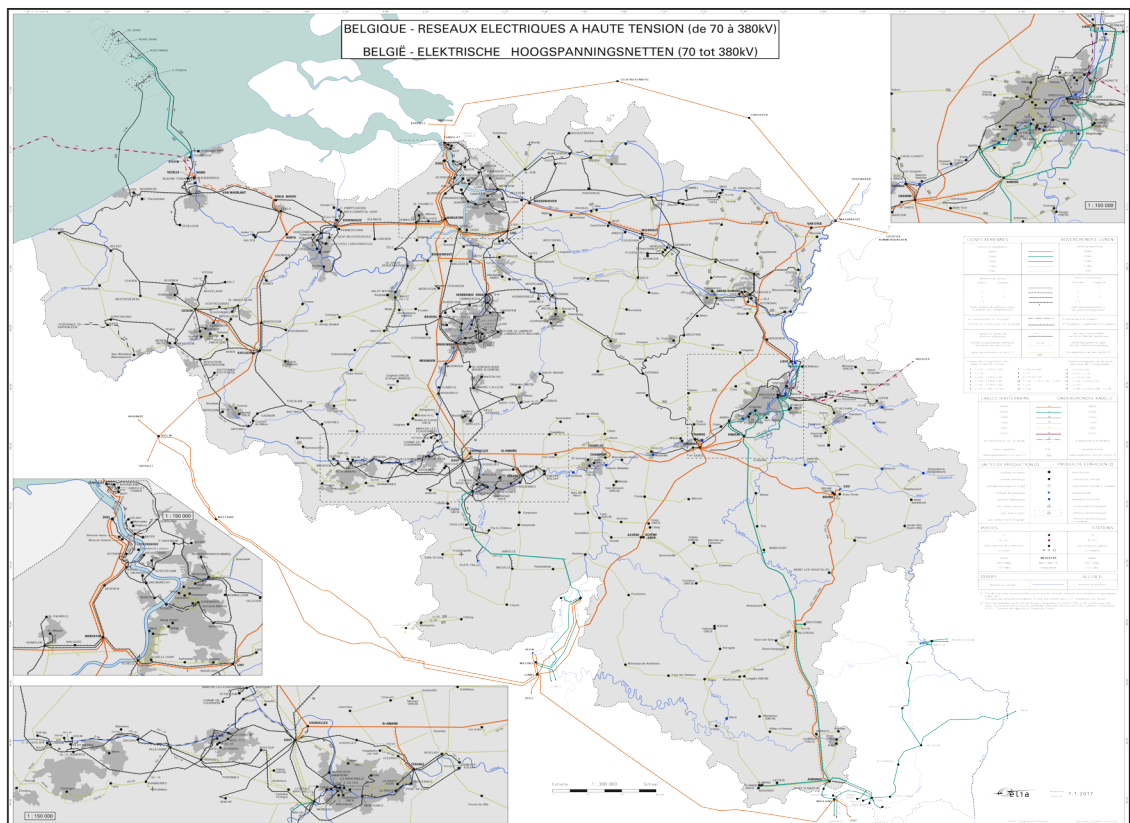


Fig 16 : Cartographie du réseau électrique en Belgique

2.3.2. Les antennes relais

88% de la population belge interrogée utilise la téléphonie mobile d'avantage par rapport à d'autres services de télécommunications (IBPT, 2016, p.31) ; les GSM ne cessent de se développer et le nombre d'opérateurs augmente sans cesse (PIRARD, 2000, p.5). Toutes ces évolutions ont un point en commun : elles nécessitent une prolifération des antennes relais afin de pouvoir répondre aux différents besoins des utilisateurs.

Les antennes relais émettent des ondes hautes fréquences qui oscillent autour de 900 MHz pour certain type de téléphone. Elles sont donc assimilées à des radiofréquences.

Ces antennes relais sont l'une des principales préoccupations formulées par la population et sont évidemment sujettes à controverses. L'architecte peut, par exemple, s'intéresser à la distance entre la construction et ces antennes : des EHS chercheront à s'en écarter au maximum tandis qu'une entreprise de télécommunication réfléchira à une plus grande proximité par rapport à ces infrastructures.

Tout d'abord, avant de donner quelques ordres de grandeur, il semble intéressant de comprendre la différence entre une **antenne directionnelle et omnidirectionnelle**. La première est caractérisée par une concentration d'énergie, une émission dans une seule direction dans le plan horizontal [Fig 17] (PIRARD, 2000, p.23). Elle possède un lobe principal qui permet de transporter l'information et une série de lobes secondaires. Elles sont les plus répandues et les plus utilisées actuellement. Généralement, trois de ces antennes sont positionnées l'une à côté de l'autre afin de couvrir les 360°. La deuxième, quant à elle, émet dans toutes les directions du plan horizontal [Fig 18] (PIRARD, 2000, p.23). L'implantation d'un futur bâtiment peut évidemment intégrer cette différence. En effet, si une seule antenne directionnelle est présente dans l'environnement, l'exposition aux ondes pourrait être réduite si le positionnement de l'habitation est réfléchi [Fig 19]. Il y aura donc moins de chance de subir les rayonnements issus du lobe principal ou de se trouver dans l'influence des lobes secondaires. Ce qui serait le cas avec une antenne omnidirectionnelle [Fig 20].

Ensuite, il est évident que la **distance** entre la construction et l'antenne relais a aussi une influence capitale. Plus l'émetteur-récepteur est loin, plus le champ électromagnétique va diminuer (PIRARD, 2000, p.40). Dans le cas des antennes directionnelles, il faut cependant veiller à ne pas se trouver dans l'influence des lobes secondaires. Leurs valeurs de champs sont souvent minimales par rapport au lobe principal mais rien n'est trop faible pour des EHS. Il faut donc veiller à l'implantation du bâtiment en fonction de l'implication personnelle du maître d'ouvrage dans l'environnement électromagnétique.

Par ailleurs, la **forme et les dimensions** de l'antenne peuvent avoir toute leur importance. La hauteur et l'inclinaison de l'émission vont influencer les zones où il serait plus dérangeant pour un EHS de séjourner. Les schémas illustrent ce principe [Fig 19-20-21] : ces courbes d'iso-valeur du champ électromagnétique pour une antenne directionnelle fonctionnant à plein rendement montrent en effet les différentes intensités en fonction de la hauteur, de l'inclinaison et de la distance (PIRARD, 2003, p.22-23).



Fig 17 : Antenne directionnelle

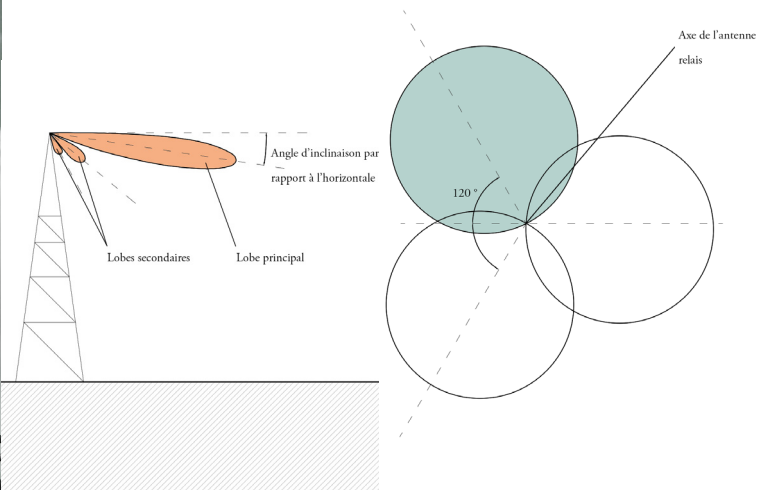


Fig 18 : Antenne omnidirectionnelle

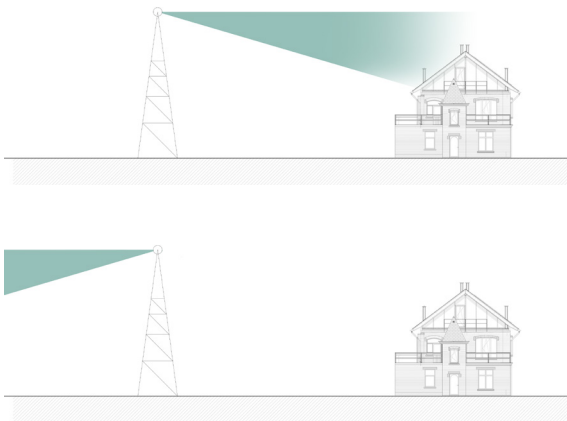
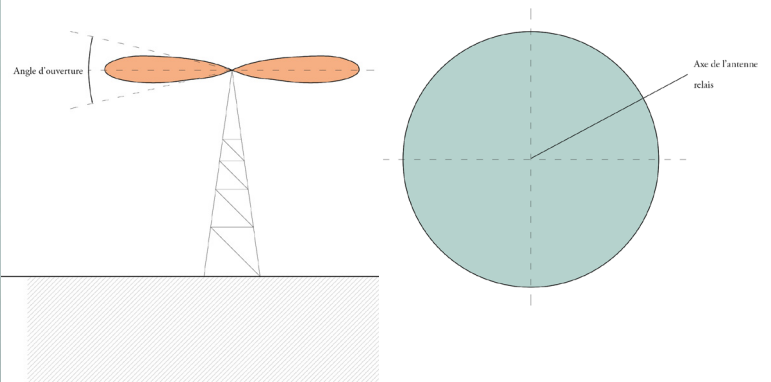


Fig 19 : Antenne directionnelle

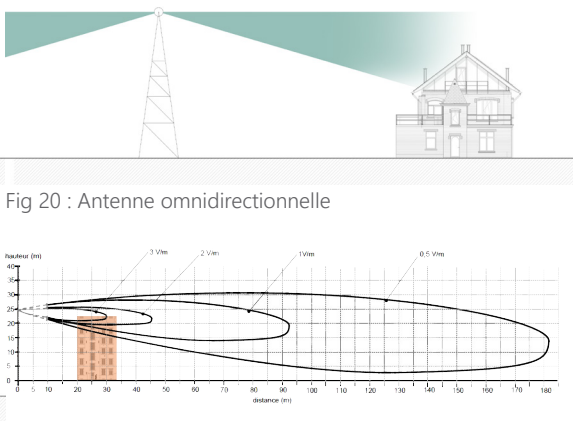


Fig 20 : Antenne omnidirectionnelle

Fig 21 : Courbes d'iso-valeur d'une antenne directionnelle

Il ne faut cependant pas ignorer l'influence des lobes secondaires. Le projet architectural peut en tenir compte par exemple dans la construction d'immeubles. Si le bâtiment fait environ 20 mètres de haut et se situe à 20 mètres d'une antenne ayant les mêmes caractéristiques que l'exemple, l'occupant du 5-6^{ème} étage se trouvera au milieu d'une zone pouvant atteindre un champ de 3V/m à l'extérieur.

De plus, il est intéressant de souligner qu'une antenne n'émet pas toujours le même rayonnement durant la journée. En effet, les émissions des champs varient avec le nombre de communications transmises et les conditions de propagation des GSM (BEAUVOIS, 2012, p.28). Les pics d'émissions ont donc lieu pendant de courtes périodes sur une journée.

Enfin, les autorités se sont penchées sur la question des antennes relais et ont élaboré quelques **normes**, recommandations à respecter. La législation wallonne a défini le seuil d'émission par antenne relais à 3V/m (ISSEP, 2014, p.1).

À titre d'information, il est intéressant de constater la différence de valeur qu'il existe avec les organismes moins reconnus scientifiquement et d'avantage apparentés à de la baubiologie. Ils essaient en effet de faire valoir des valeurs beaucoup plus strictes. Leur point de vue est tout à fait différent et ils pensent que les chiffres avancés par les pouvoirs publics sont beaucoup trop élevés. C'est pourquoi ils ont défini eux aussi leur propre normes pour un habitat sain qui se situe aux alentours de 0.02 V/m par antenne (BIRCKNER, 2015, p.141).

Pour synthétiser cette partie et la rendre un peu plus concrète, il est premièrement intéressant d'analyser un exemple où les antennes relais se situent sur le toit même d'un immeuble à appartements (PIRARD, 2000, p.45-51). Dans ce cas, il s'agit d'une antenne directionnelle. L'appartement le plus exposé est situé juste en-dessous de l'émetteur-récepteur. Lorsque le champ électrique émis est mesuré à deux mètres de l'antenne à l'extérieur, la valeur de 1,54 V/m est obtenue. Sur le balcon, c'est 0,85 V/m qui ressort et dans l'appartement, il est possible d'atteindre 0,18 V/m. Cette diminution est tout d'abord due au fait que le toit est en grande partie en béton. Il va donc stopper la plupart du champ [voir chap. 2.4.]. De plus, en présence d'une antenne directionnelle, le champ n'est pas directement orienté vers l'appartement sous l'antenne.

Deuxièmement, dans le cas où un bâtiment se trouve au pied d'une antenne directionnelle : les mesures révèlent un champ électrique faible de quelques dixièmes de V/m au niveau du sol à l'extérieur du bâtiment (BEAUVOIS, 2012, p.29). Le rayonnement au niveau du sol le plus important dans ce cas, se situe à une distance comprise entre 100 et 300 mètres en fonction de la puissance de l'antenne. Des valeurs allant de 1 à 2 V/m sont en effet obtenues dans cette zone. Aussi étrange que cela puisse paraître, l'architecte devra conseiller une implantation plus proche de l'antenne plutôt que par exemple à 150 mètres pour autant que la construction ne soit pas trop haute.

Troisièmement, si la construction d'un immeuble à appartements se trouve à proximité d'une antenne relais, l'architecte sera attentif à la hauteur du bâtiment ainsi que sa forme [voir chap. 2.5.],... afin de l'exclure au maximum de l'influence du champ électromagnétique.

2.3.3. Les lignes de chemin de fer

La traction ferroviaire belge, pour fonctionner, a évidemment besoin d'une alimentation en électricité. Le courant de basse fréquence oscillant à environ 50 Hz est donc généralement utilisé.

Comme il y a un passage de courant électrique, il existe des champs électromagnétiques qui en résultent. Sous ces lignes de transport d'électricité, des mesures ont été effectuées. Il en ressort que le champ électrique s'élève à 600 V/m et le champ magnétique à 200 μT sous les câbles. Le premier peut être facilement atténué si des obstacles se trouvent sur son passage : panneaux anti-bruit, gaines autour des câbles,... Par contre, les champs magnétiques diminuent généralement moins facilement. C'est pourquoi à environ 5 mètres du chemin de fer, on relève encore des valeurs de l'ordre de 100 μT (BBEMG, 2016). Cependant, cela ne pose généralement pas souvent problème car les habitations sont éloignées des chemins de fer pour des raisons notamment acoustiques.

En ce qui concerne la législation, elle est semblable aux lignes à haute tension. C'est à dire des valeurs limites de 5000 V/m pour les champs électriques et 100 μT pour les champs magnétiques.

Certaines entreprises, comme le groupe Artèche, réclament la construction de salles blanches* (ARTECHEGROUP, 2013). Il s'agit d'espaces où aucune onde ne peut entrer ou sortir et si possible, être vierges de tout rayonnement. Cela permet ainsi de faire des expériences les plus précises possible. L'architecte doit évidemment prendre en compte cette volonté et mettre tout en œuvre pour atteindre l'objectif fixé. Il a notamment la possibilité d'agir sur l'implantation du bâtiment. Par exemple, des options architecturales ont été employées pour créer des salles blanches pour le groupe Trafag AG car une ligne de chemin de fer se trouvait à proximité du lieu. Les architectes ont réfléchi à propos de l'implantation : la salle blanche est située le plus loin possible de la ligne de chemin de fer [Fig 22] et les matériaux employés arrêtent les champs [voir chap. 2.4.] (JOCHEN, 2014),...



Fig 22 : Implantation du Trafag AG à proximité de la ligne de chemin de fer

2.3.4. Le milieu naturel

Les différentes infrastructures analysées précédemment produisent une série de champs électromagnétiques. Sur base des différentes mesures obtenues et des volontés du maître d'ouvrage, l'architecte a la possibilité de réfléchir le projet : il étudie l'implantation et les distances qu'il désire mettre entre la construction et les antennes relais, lignes à haute tension,... Cependant, il ne faut pas oublier le milieu naturel où s'intègre le projet architectural. La Terre possède elle aussi son champ magnétique qui est appelé champ géomagnétique. Celui-ci sort cependant des limites du mémoire et est négligeable comparé au reste. De plus, l'homme y est baigné depuis toujours, il y est donc très bien acclimaté. Dans le cadre de ce chapitre, c'est d'avantage les propriétés géométriques terrestres qui nous intéressent. Le relief et la végétation ont en effet, eux aussi, leur rôle à jouer.

Les rayonnements électromagnétiques ne vont cependant pas tous être influencés de la même manière par l'environnement. Seule l'une des parties du spectre électromagnétique non-ionisant peut être perturbée par le relief, la végétation,... Il s'agit des ondes hautes fréquences [radios,GSM,...]. En effet, ces dernières possèdent une longueur d'onde de l'ordre de quelques mètres à quelques millimètres. Elles peuvent donc être rapidement arrêtées, dérangée par un arbre, une colline,... A l'opposé, les ondes basses fréquences [lignes à haute tension, chemin de fer,...] possèdent une longueur d'onde allant jusqu'à quelques milliers de kilomètres. Elles sont donc en mesure de surmonter les différents obstacles (DEMOULIN, 2012) (BEAUVOIS, 2017, interview). Le développement qui suit ne concerne donc que les hautes fréquences comprises entre 30 kHz et 30 GHz.

Tout d'abord, le **RELIEF** peut modifier la propagation d'une onde. Pour développer les raisons de ces perturbations, il est nécessaire de se diriger vers le domaine de la physique avec les lois de l'optique : toute onde rencontrant un obstacle, changement de milieu, va être absorbée, diffractée et réfléchi.

Premièrement, l'onde électromagnétique va être en partie perturbée par une colline par exemple [Fig 23]. Une partie de l'onde incidente va être absorbée par le matériau (KANE, 2014, p.611). Ce phénomène d'absorption est notamment utilisé dans les cages de Faraday [voir chap. 2.4.2.] : les ondes sont absorbées par un matériau très conducteur pour être ensuite acheminées vers la terre. L'intérieur de la cage est donc exempt de toute onde, champ.

Deuxièmement, les rayonnements électromagnétiques peuvent être diffractés. Il s'agit de la « *modification de la direction de propagation d'une onde quand elle rencontre un obstacle matériel* » (LETAWE, 2013, p.86). Les ondes possédant une relativement grande longueur d'onde comme les radiofréquences peuvent donc être perturbées par une colline, une ville,... et être facilement diffractées comme l'illustre le schéma [Fig 24]. Dans certains cas, une nouvelle source peut même être créée (LETAWE, 2013, p.87).

Troisièmement, la réflexion de l'onde sur un obstacle va plus ou moins déranger sa propagation. En effet, une partie du rayonnement peut être renvoyé en sens inverse (LETAWE, 2013, p.107-108). Il existe en réalité deux

types de réflexion : spéculaire quand il s'agit de surface lisse et diffuse quand la surface est rugueuse. Étant donné que le contexte naturel est rarement tout à fait plat et lisse, les réflexions qui se produisent sont plutôt diffuses. L'ensemble des rayons réfléchis vont donc avoir des directions aléatoires [Fig 25]. Lorsqu'il y a réflexion, des zones peuvent donc avoir un réseau plus faible quand les ondes sont en opposition de phase* ou plus important lorsqu'elles sont en phase*,...

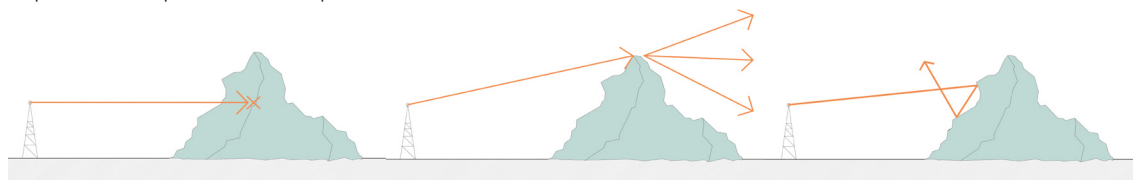


Fig 23 : Absorption de l'onde par le relief

Fig 24 : Diffraction de l'onde par le relief

Fig 25 : Réflexion diffuse de l'onde par le relief

Ensuite, la forte **VÉGÉTATION** peut constituer un frein pour les ondes électromagnétiques (BIRCKNER, 2015, p.131). Les obstacles constituée par les feuilles, branchages,... vont perturber la propagation des ondes (BEAUVOIS, 2017). De manière générale, il va y avoir une succession de réflexions diffuses, absorptions qui vont contribuer à un affaiblissement du signal.

Il est évidemment intéressant lorsqu'il faut concevoir pour un EHS d'intégrer une réflexion sur le milieu naturel. Un terrain à proximité d'une montagne ou d'une forêt peut offrir un espace plus pauvre en ondes que celui qui sera situé en milieu urbain. La distance entretenue entre une colline et le site peut elle aussi être réfléchi de manière à ne pas se trouver dans la zone de réflexion de l'onde.

Un exemple de cette approche est à localiser au Sart-Tilman, à Liège avec l'antenne FM du Bol d'Air. Ce pylône est situé sur la colline du Sart-Tilman. Les ondes émises ne rencontrent aucun obstacle. La portée des rayonnements est ainsi très grande. Dans ce cas ci, les opérateurs ont donc exploité le relief pour couvrir une très grande zone en ondes (BEAUVOIS, 2012).

Une autre illustration de l'utilisation du relief se trouve à Zurich avec le projet MCS Gerechtes Wohnhaus de Andreas Zimmermann [voir chap. 3.4.]. Après de nombreuses recherches, le bâtiment pour EHS a été implanté au pied de la colline qui est recouverte d'une végétation très dense [Fig 26]. Suite aux nombreuses études, il s'agissait du terrain le moins exposé aux ondes par rapport aux autres sites se situant en fond de vallée (CORDIER, 2014).

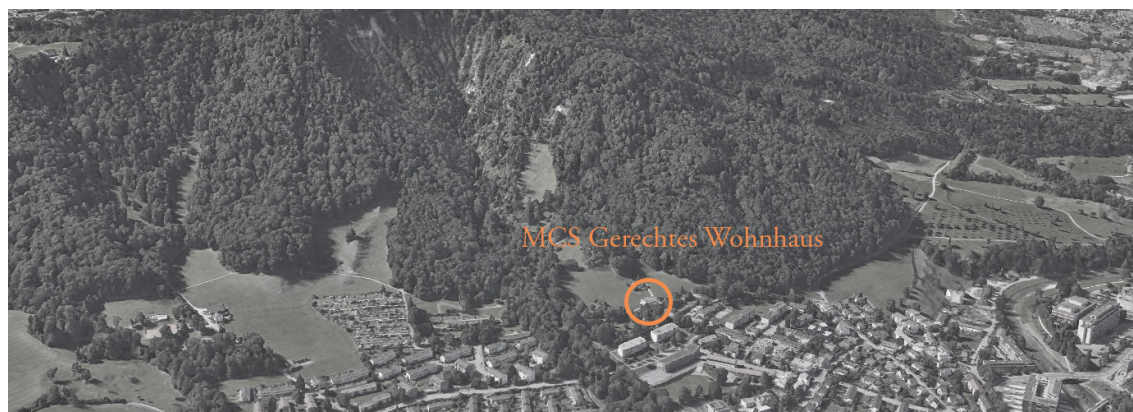


Fig 26 : Implantation de la MCS Gerechtes Wohnhaus

2.4. Les matériaux

Une fois l'implantation définie, il convient de s'attarder sur les **MATÉRIAUX** de construction du bâtiment. En effet, ils peuvent avoir une influence considérable sur la propagation des rayonnements électromagnétiques. Des chercheurs disent qu'ils peuvent atténuer les champs d'un facteur entre cinq et dix (PIRARD, 2000, p.78).

Même si différentes parois sont des obstacles vis-à-vis des ondes électromagnétiques, elles ne vont pas avoir la capacité de toutes les arrêter. En effet, les champs électriques vont être majoritairement atténués par les murs tandis que les champs magnétiques peuvent les traverser plus facilement (LEDENT, 2015, p.176). Par exemple, les champs magnétiques importants produits par une ligne à haute tension sont capables de pénétrer à travers toutes sortes de murs (CACHARD, 2016, p.35).

Dans le cadre de ce chapitre, les matériaux utilisés couramment dans le domaine architectural seront décrits et caractérisés en fonction de leurs propriétés intrinsèques, au niveau de leurs influences sur l'environnement électromagnétique. De plus, des solutions ont été développées pour répondre à des exigences plus strictes en terme de rayonnements. Il s'agit des cages de Faraday et blindages électromagnétiques et de l'invention de nouveaux matériaux. Ces différents aspects sont développés dans la suite du TFE.

2.4.1. Les caractéristiques des matériaux usuels

2.4.1.1. Les caractéristiques électromagnétiques

Avant de déterminer les particularités de quelques matériaux au niveau électromagnétique, il semble important de comprendre sur quels critères il est possible de les différencier.

Tout d'abord, lorsqu'une onde percute une surface, un matériau, une partie de cette onde va être **RÉFLÉCHIE** et une autre va être **ABSORBÉE** [Fig 27] (ELLOUMI, 2016, p.32). Quand il y a réflexion, l'onde est renvoyée dans son environnement et peut donc encore interagir avec d'autres rayonnements. À l'opposé, une fois qu'elle est absorbée, l'énergie transportée par les photons est captée et transformée par la matière (MUSIC, 2010, p.93). Une partie de l'onde aura donc « disparu » une fois de l'autre côté du mur.

Premièrement, déjà, dans ce cas ci, il est possible de comprendre que les matériaux les plus **absorbants** peuvent être préférés pour réduire les ondes électromagnétiques ou au moins les champs électriques. Pour définir ce caractère absorbant, les propriétés les plus importantes sont la permittivité diélectrique et la résistivité-conductivité (AH-RANTALA, 2003, p.1021). Tout d'abord, la **permittivité** est liée à la polarisation électrique des particules du matériau lorsqu'il est parcouru par un champ électrique (KANE, 2014, p.419). Si elle est faible, il y a peu de polarisation au sein des molécules, le champ a donc plus de difficulté à traverser, le matériau sera donc considéré comme isolant. Les valeurs de permittivité relative sont souvent reprises. En effet, afin d'avoir une base commune pour définir les caractéristiques de tous les matériaux, la valeur de la permittivité de l'air, qui vaut 1, est prise comme référence. Dans les prochains sous-chapitres, les valeurs inscrites concernent donc la permittivité relative. Ensuite, la **résistivité** va définir la facilité du courant à migrer au travers de la matière sur base de sa quantité d'électrons libres. Il sera résistant, isolant, lorsqu'il en contiendra peu. L'unité de la résistivité est le Ohm.m. Cette grandeur varie, entre autre, avec la taille, la composition du matériau (KANE, 2014, p.434). Ces deux caractéristiques donnent des valeurs propres et intrinsèques à chaque matériau. Mais qu'est ce que ces valeurs donnent concrètement comme indications ? En se basant sur la permittivité et la résistivité, il est possible, en complément d'expériences, de connaître la "quantité d'onde" qu'il reste après avoir traversé la paroi. Pour apprécier cette performance de l'enveloppe, les spécialistes ont synthétisé les données par le biais d'un **facteur d'atténuation** : plus ce facteur est grand, plus le mur est capable d'arrêter les ondes. Son unité est le décibel [dB] (MARDIGUIAN, 2017).

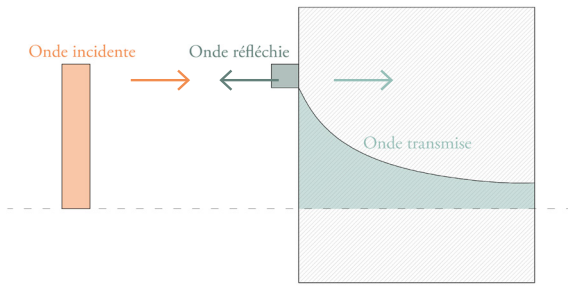


Fig 27 : Trajet de l'onde rencontrant une surface

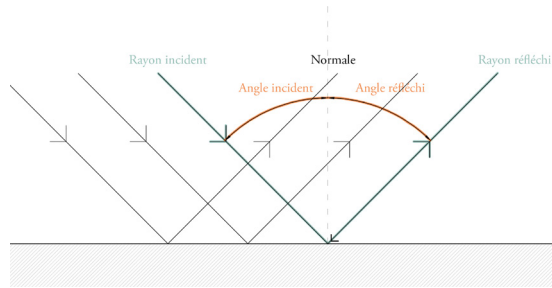


Fig 28 : Réflexion d'une onde

Il est également intéressant de remarquer que la fréquence va influencer la protection des matériaux face aux ondes électromagnétiques. À basses fréquences, la pénétration des champs dans la matière est beaucoup plus importante qu'à hautes fréquences. Par exemple, à 700 MHz, le champ peut pénétrer jusqu'à 50 cm en fonction du matériau tandis qu'à 2600 MHz, on n'est qu'à 12 cm (CACHARD, 2016, p.45). La protection vis-à-vis des ondes est donc plus importante lorsque la paroi possède une certaine épaisseur.

Deuxièmement, la **réflexion** des ondes en fonction du matériau va influencer la quantité de rayonnement qui va retourner dans l'environnement. Ce phénomène physique est défini comme étant « *une partie de l'onde qui repart dans son milieu d'origine* » (LETAWE, 2013, p.107) « *peu importe l'obstacle qu'elle rencontre* » (LETAWE, 2013, p.78). Une fois que le rayonnement [le rayon incident] rencontre une paroi, ce dernier va être rejeté [le rayon réfléchi] dans la pièce selon une certaine proportion [Fig 28]. En fonction des caractéristiques du matériau, cette quantité d'onde renvoyée va varier. Si une personne désire se protéger de son environnement électromagnétique, elle a tout intérêt à opter pour un matériau renvoyant peu d'ondes. En effet, dans le cas contraire, elle sera toujours baignée dans un flux électromagnétique à cause des nombreuses réflexions qu'occasionnent les parois.

Il existe deux types de réflexion : il s'agit de la réflexion vitreuse et de la réflexion métallique.

Tout d'abord, la réflexion vitreuse s'effectue en présence de deux matériaux aux caractéristiques diélectriques différentes (GABRIEL, s.d., p. 59). Il s'agit par exemple de l'interaction entre l'air et un mur de béton. L'une des façons pour calculer cette réflexion est d'utiliser l'indice de réfraction, symbolisé par "n", qui peut être calculé en fonction de la permittivité de la matière. Pour le définir, la formule suivante est utile (GABRIEL, s.d., p.60):

$$n = \sqrt{\epsilon}$$

où n est l'indice de réfraction
et ϵ la permittivité

Cependant, cette valeur donne peu d'indication quand à la quantité réelle d'onde qui va être renvoyée. C'est pourquoi, un ingénieur physicien, Auguste Fresnel, a mis au point une relation donnant le pourcentage d'ondes réémises. Il s'agit de :

$$I_r/I_o = (n_2 - n_1 / n_2 + n_1)^2$$

où I_r correspond à l'intensité de l'onde réfléchie
 I_o à l'intensité de l'onde incidente

n_1 au coefficient de réfraction du milieu 1 [en général : l'air = 1]

n_2 au coefficient de réfraction du milieu 2 [dans le cadre du TFE, il s'agit du matériau de la paroi]

Cette relation est valable lorsque le rayon incident est perpendiculaire à la surface considérée et que le matériau n'est pas métallique (KANE, 2014, p. 594). L'application concrète de cette formule sera vue dans les pages suivantes.

Ensuite, la **RÉFLEXION MÉTALLIQUE** concerne d'avantage, comme son nom l'indique, les métaux. En effet, cette matière est particulière au niveau électromagnétique à cause de sa forte conductivité. C'est pourquoi, lorsqu'une onde percute un élément métallique, elle va exciter les différents électrons qui composent la matière en surface [Fig 29] (CALLET, 2007). Cette agitation va entraîner une réémission en sens inverse des rayonnements. Les métaux ont donc une grande réflectivité. Ce phénomène se produira quand aucune précaution n'a été prise vis-à-vis de la mise en œuvre de la paroi. En effet, à l'image de tout courant, l'énergie fournie par ces différents rayonnements cherche à rejoindre la terre afin d'y être neutralisée. Si le mur possède une prise de terre, l'énergie que possèdent les électrons va se diriger vers le sol et donc être évacuée [principe de la cage de Faraday voir chap. 2.4.2.]. Il n'y aura donc plus de réflexion.

Pour résumer ce deuxième point, si le bâtiment est construit avec des matériaux autres que les métaux, il y aura des réflexions vitreuses. Une partie de l'onde incidente sera donc renvoyée dans la pièce d'où elle vient. À l'opposé, en présence d'éléments métalliques, leur réflexion entraînera presque un retour complet des rayonnements incidents dans leur environnement si aucune prise de terre n'a été prévue.

Pour caractériser les différents matériaux, les valeurs de permittivité, de résistivité, d'atténuation et de réflexion seront détaillés [Fig 30]. Une autre caractéristique sera ajoutée par la suite : celle des éco-bilans. Les matériaux de construction abordés dans ce travail sont : le béton, la terre cuite, le bois, les métaux, la pierre, le verre et quelques plastiques et polymères. Comme cité dans la méthodologie, ils ont été sélectionnés en se basant sur le cours de matériaux donné en premier bachelier à la faculté d'architecture de Liège en 2013 (MICHAUX, 2013).

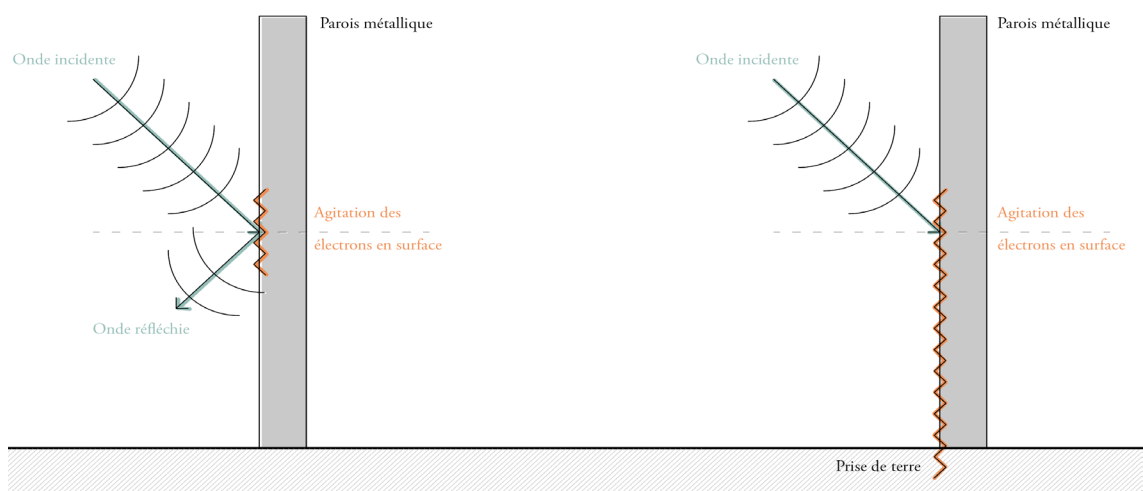


Fig 29 : Réflexion métallique sans et avec prise de terre

	PERMITTIVITE	RESISTIVITE	FACTEUR D'ATTENUATION	INDICE DE REFRACTION - REFLEXION
VALEUR	petite	grande	grand	petit

Fig 30 : Résumé des caractéristiques électromagnétiques des matériaux usuels pour assurer une bonne isolation aux ondes électromagnétiques

2.4.1.1.1. Le béton

Pour analyser le béton sous l'angle électromagnétique, plusieurs approches peuvent être réalisées.

Premièrement, au niveau des caractéristiques électriques, l'analyse des trois propriétés donne d'avantage d'informations.

Tout d'abord, la **permittivité** du béton varie avec son rapport eau-ciment [Fig 31]. Plus il est élevé, plus la permittivité est réduite. En effet, si il contient beaucoup d'eau, une fois cette dernière évaporée, il va rester de l'air et le matériau sera donc poreux. Or l'air possède une permittivité très petite. C'est pourquoi celle d'un béton ayant un rapport E/C plus élevé est plus faible. Les tableaux ci-contre expliquent ce lien (FILALI, 2006, p.374).

Ensuite, en ce qui concerne le **facteur d'atténuation**, il est très parlant à plusieurs niveaux. Il est directement lié à l'épaisseur de la paroi. Plus elle est importante, plus la protection sera efficace. Les résultats obtenus par le NIST [National Institute of Standards and Technology] illustrent cette relation [Fig 32]. De plus, la présence d'armatures dans les parois agit directement sur le facteur d'atténuation des rayonnements électromagnétiques. À plus basses fréquences [500MHz], l'existence d'acier n'a que très peu d'influence. Par contre, à hautes fréquences [8 GHz], plus il y a d'armatures, moins le béton est efficace pour s'isoler des ondes [Fig 33].

Enfin, de manière générale, les performances du béton sont plus intéressantes lorsqu'il est exposé à des hautes fréquences. En effet, les rayonnements à 8 GHz ont plus de difficultés à le traverser [Fig 32-33].

Deuxièmement, au niveau des réflexions, il s'agit d'une réflexion vitreuse. En effet, le béton et l'air sont deux milieux aux permittivités différentes. En reprenant les formules, le pourcentage d'onde qui va être renvoyée dans l'environnement est de :

RAPPORT E/C	0.3	0.38	0.56	0.66	0.75	0.84
PERMITTIVITE	6.20	5.55	5.10	4.85	4.15	4.60

Fig 31 : Valeur de la permittivité en fonction du rapport eau/ciment du béton

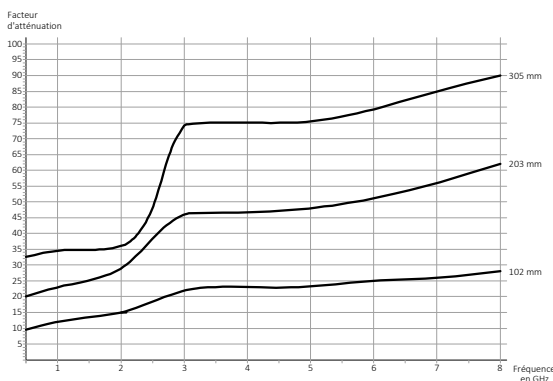


Fig 32 : Facteur d'atténuation du béton avec un rapport E/C de 0.4

BETON 203 mm	500 MHz	1 GHz	2 GHz	5 GHz	8 GHz
PAS D' ARMA- TURES	23	27	35	55	73
ARMA- TURES 140 mm	23	27	31	53	68

Fig 33 : Facteur d'atténuation du béton avec ou sans armatures

$$n1 [\text{air}] = 1$$

$$n2 [\text{béton non armé}] = \sqrt{\epsilon} \text{ donc } n = \sqrt{6} = 2,45$$

$$I_r/I_o = (n2-n1/n2+n1)^2$$

$$\text{donc } I_r/I_o = (2,45-1/2,45+1)^2 = 0,17$$

17 % de l'onde incidente est donc réfléchi par la paroi en béton

En résumé [Fig 34], pour se protéger un maximum de l'environnement électromagnétique grâce au béton, il est donc conseillé d'utiliser un matériau avec un rapport eau-ciment le plus haut possible. La paroi peut également avoir une certaine épaisseur et contenir peu d'armatures. De plus, l'efficacité est d'avantage augmentée lorsqu'il faut se protéger d'ondes radios,... qui sont des hautes fréquences.

Il est donc par exemple préférable d'utiliser un béton avec très peu d'armatures métalliques et ayant un rapport eau-ciment de 0,4 et le plus épais possible pour se protéger des fréquences de 7-8 GHz.

Afin d'illustrer la protection que le béton procure vis-à-vis des hautes fréquences, une expérience a été réalisée par W. Pirard dans le cadre d'un rapport sur différentes antennes relais [Fig 35] (PIRARD, 2000, p.45-51). En effet, des mesures ont été réalisées à l'intérieur et à l'extérieur d'un appartement se trouvant sous des antennes GSM. Il voulait définir l'effet des parois en béton sur les ondes électromagnétiques. Premièrement, les spécialistes ont relevé sur le toit des valeurs allant de 0,5 à 1,5 V/m à 2 mètres de chaque antenne [Fig 36].

	PERMITTIVITE	RESISTIVITE (Ohms.m)	FACTEUR D'ATTENUATION (dB)						REFLEXION (%)
			102		203		305		
EPAISSEUR (mm)	280								
FRE- QUENCE	500 MHz		500 MHz	8 GHz	500 MHz	8 GHz	500 MHz	8 GHz	500 MHz
BETON NON ARME	6		7 - 11	22 - 23	17 - 25	58 - 73	31 - 45	87 - 96	17
BETON ARME					23 (1% armature)	68 (1% armature)			
BLOC DE BETON					8	18			
MORTIER	10								27 ¹

Fig 34 : Résumé pour le béton

1 - Les valeurs reprises en grises ont été calculées sur base des formules. Elles ne sont donc pas directement issues de revues scientifiques

Cette valeur est déjà largement en dessous des normes belges [voir p.29] alors qu'aucune paroi n'a encore fait obstacle aux rayonnements. Par la suite, ils ont procédé à la prise de mesures dans l'appartement se trouvant juste en dessous des antennes relais [Fig 37]. Les résultats obtenus sont donc inférieurs.

Cette expérimentation montre donc le rôle que jouent ces différentes parois en béton vis-à-vis des ondes électromagnétiques.

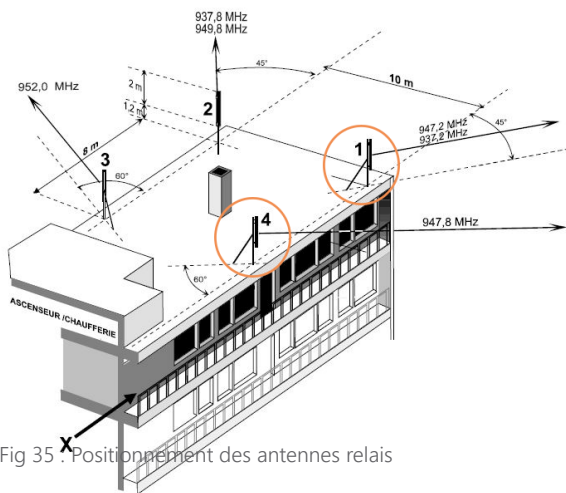


Fig 35 : Positionnement des antennes relais

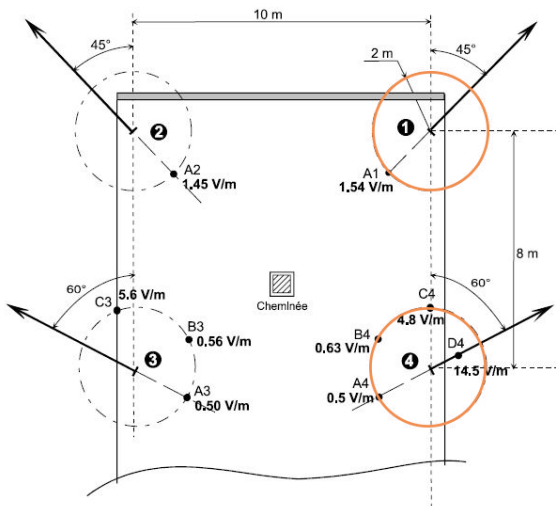


Fig 36 : Champs électriques obtenus à proximité des antennes relais

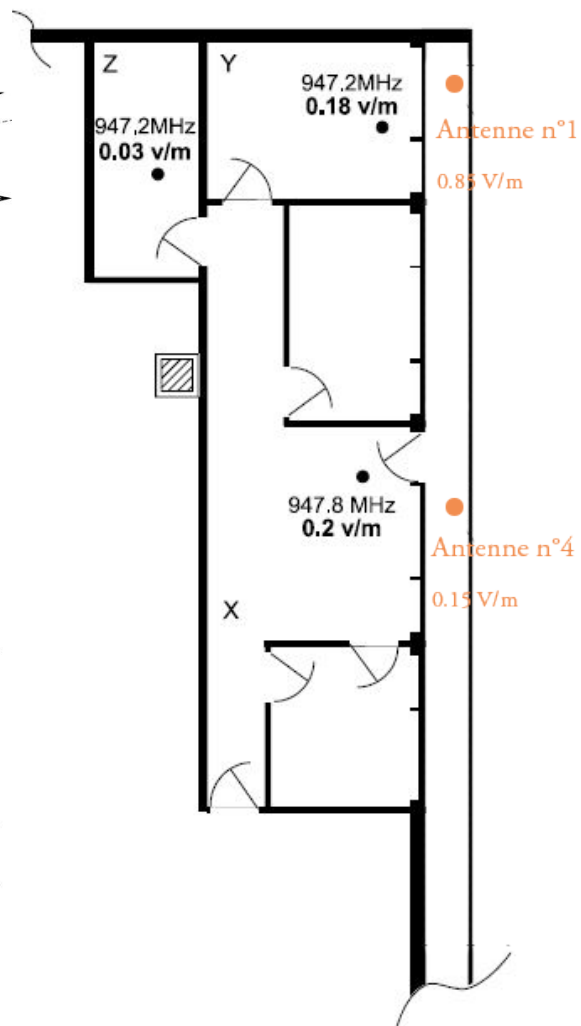


Fig 37 : Champs électriques obtenus à l'intérieur de l'appartement

2.4.1.1.2. La terre cuite

En ce qui concerne les briques de terre cuite, leur protection par rapport aux ondes électromagnétiques est globalement plus faible que le béton (STONE, 1997, p.63 - 67).

Néanmoins, leur utilisation semble, comme le béton, plus intéressante en présence de hautes fréquences. Il en va de même lorsque l'épaisseur est plus importante. Les valeurs obtenues pour le facteur d'atténuation le montrent [Fig 38-39]. En effet, dans ces conditions, moins d'ondes sont capables de transiter d'un côté à l'autre de la paroi.

En terme de maçonnerie de terre cuite, l'utilisation de larges briques pour les hautes fréquences semble donc être à privilégier.

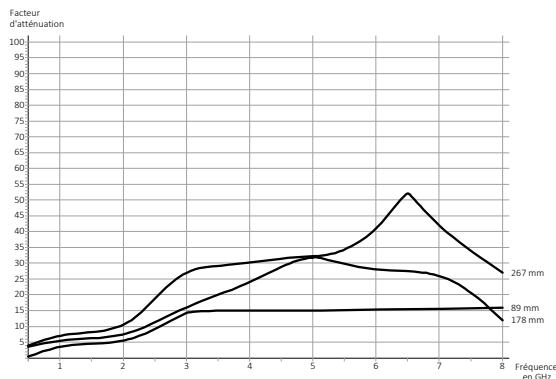


Fig 38 : Facteur d'atténuation de briques de terre cuite

EPAISSEUR (mm)	PERMITTIVITE	RESISTIVITE (Ohms.m)	FACTEUR D'ATTENUATION (dB)						REFLEXION (%)
			89 1 brique		178 2 briques		267 3 briques		
FRE- QUENCE			500 MHz	8 GHz	500 MHz	8 GHz	500 MHz	8 GHz	
BRIQUES			0	16	3.5	14	4	27	

Fig 39 : Résumé pour la terre cuite

2.4.1.1.3. Le bois

Le bois va lui aussi avoir son propre comportement face aux ondes électromagnétiques.

Tout d'abord, l'une des caractéristiques propre à ce matériau est son anisotropie*. Des expériences ont révélé que ses propriétés diélectriques étaient plus élevées dans sa direction longitudinale par rapport à l'orientation transversale (ELLOUMI, 2016, p.39).

Ensuite, comme indiqué dans le tableau [Fig 40], le pin massif est plus efficace que le chêne par exemple. Mais pour quelle raison ? La différence entre ces bois est notamment leur masse volumique. En effet, le pin massif à une masse volumique d'environ 470 kg/m³ tandis que du chêne pèse 660 kg/m³. Des spécialistes ont montré que plus la masse volumique est importante, plus la permittivité augmente (ELLOUMI, 2016, p.82). Comme expliqué ci-dessus, quand la permittivité est élevée, le matériau laisse d'avantage passer les ondes. Il est donc moins isolant. C'est pourquoi, le pin a un meilleur comportement face aux ondes électromagnétiques que le chêne.

Par ailleurs, le bois peut comporter plus ou moins d'humidité. Une fois de plus, cette propriété va influencer l'isolation face aux ondes. Plus le bois est humide, plus sa constante diélectrique sera élevée. Cela est dû au fait que la permittivité de l'eau est largement supérieure à celle du bois (ELLOUMI, 2016, p.59). Avec beaucoup d'humidité, la protection est donc moindre.

Enfin, comme le béton et la terre cuite, le bois comporte plus d'avantages à être utilisé dans le cas des hautes fréquences. Son facteur d'atténuation face aux ondes est plus important et sa permittivité est plus basse [Fig 41].

Dans le cas du bois, afin de se protéger des rayonnements électromagnétiques, le pin massif sec et disposé dans son sens longitudinal est préféré pour se protéger des hautes fréquences [Fig 42].

	CHENE ROUGE	MELEZE	PIN GRIS	EPINETTE BLANCHE
MASSE VOLUMIQUE	661 kg/m ³	553 kg/m ³	473 kg/m ³	455 kg/m ³
PERMITTIVITE	4.6	3.51	3.03	2.57

Fig 40 : Permittivité du bois en fonction de sa masse volumique

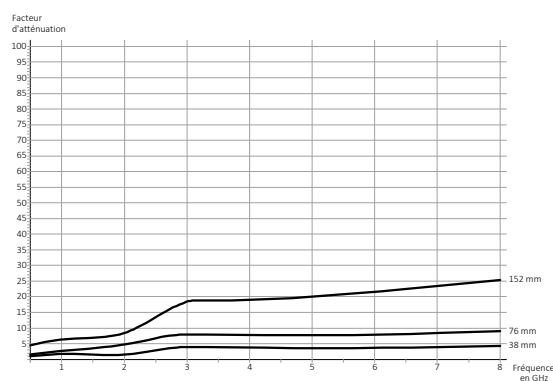


Fig 41 : Facteur d'atténuation du bois sec

EPAISSEUR (mm)	PERMITTIVITE	RESISTIVITE (Ohms.m)	FACTEUR D'ATTENUATION (dB)						REFLEXION (%)
			6		36		152		
FRE- QUENCE	915 MHz	915 MHz	500 MHz	8 GHz	500 MHz	8 GHz	500 MHz	8 GHz	915 MHz
BOIS SEC (pin,...)	2.9	10 ³			2	4	4.5	25	6.5
BOIS HUMIDE					1.5	5	6	34	
CONTRE- PLAQUE			0	1	0.7	1			

Fig 42 : Résumé pour le bois

2.4.1.1.4. Les plastiques et polymères

La permittivité des plastiques et polymères étant relativement faible, ces matériaux peuvent présenter un certain intérêt pour se protéger des ondes électromagnétiques [Fig 43] (FILALI, 2006, p.35).

Il suffit d'apprécier la composition d'un câblage électrique pour s'en persuader. Les fils en cuivre chargés de conduire le courant sont généralement recouverts d'une gaine en plastique. Elle empêchera toute électrocution et est donc bien isolante.

P.V.C.	PERMITTIVITE	RESISTIVITE (Ohms.m)	FACTEUR D'ATTENUATION (dB)						REFLEXION (%)
P.V.C.	3.2 - 3.6								8.8
POLYSTY- RENE	2.5								5
CAOUT- CHOUC	2.5								5

Fig 43 : Résumé pour plastiques et polymères

2.4.1.1.5. Les métaux

Premièrement, les métaux, en général, sont souvent connus pour leurs propriétés de conducteurs. Ils offrent donc très peu de protection face aux rayonnements électromagnétiques. Ils peuvent également favoriser les décharges électriques lorsqu'ils sont soumis à un champ magnétique (CACHARD, 2016, p.35). Leur permittivité est donc presque impossible à définir et leur résistivité est presque nulle. Cependant, il est possible de constater qu'à plus basses fréquences, les métaux offrent une meilleure atténuation.

Deuxièmement, les métaux sont soumis à des réflexions métalliques. Si ils ne sont pas reliés à la terre, ils renvoient presque totalement les ondes électromagnétiques dans leur environnement (EMF SHIELDING DOCUMENTS, 2012, p.2).

Si des métaux doivent être utilisés, il est donc préférable de le faire quand il y a des expositions aux basses fréquences c'est-à-dire, en présence de lignes à haute tension par exemple [Fig 44].

Pour se protéger des rayonnements électromagnétiques, les métaux sont donc à déconseiller lorsqu'ils sont employés sans précautions particulières [voir chap. 2.4.2.].

	PERMITTIVITE	RESISTIVITE (Ohms.m)	FACTEUR D'ATTENUATION (dB)				REFLEXION (%)
			Armatures 140 x 140 x 19		Armatures 70 x 70 x 19		
EPAISSEUR (mm)							
FREQUENCE			500 MHz	8 GHz	500 MHz	8 GHz	
CUIVRE	Infini car métal = conducteur	1.7×10^{-8}					Des valeurs ne peuvent pas être obtenues pour la réflexion du métal. La formule n'est pas applicable à cause des spécificités de la matière.
FER		9.9×10^{-8}	3.5	0.7	15.5	2	
ZINC		6×10^{-8}					
ALUMINIUM		2.7×10^{-8}					

Fig 44 : Résumé pour les métaux

2.4.1.1.6. La pierre

Il existe énormément de types de roches différentes. Il semble cependant que leur comportement face aux ondes électromagnétiques rencontre des similitudes (COMPARON, 2005, p.59-68).

Tout d'abord, leur permittivité diminue lorsque la fréquence augmente. Elles sont donc plus efficaces pour se protéger des ondes radios par exemple [Fig 45-46].

Ensuite, la quantité d'eau présente dans ces différentes pierres peut avoir de l'influence. En effet, plus elle est importante, plus la permittivité augmente pour les mêmes raisons que celles déjà développées dans le cas du bois [Fig 47-48].

Enfin, la proportion d'argile dans certains de ces matériaux ne joue pas en faveur d'une meilleure protection électromagnétique. Plus la concentration en argile augmente, plus la permittivité augmente.

Pour les différentes pierres, leur utilisation est donc recommandée quand elles comportent peu d'eau et d'argile et surtout pour les hautes fréquences.

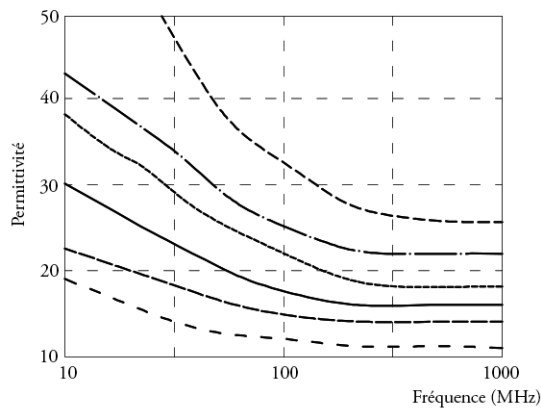


Fig 45 : Influence de la permittivité en fonction de la fréquence pour différents calcaires

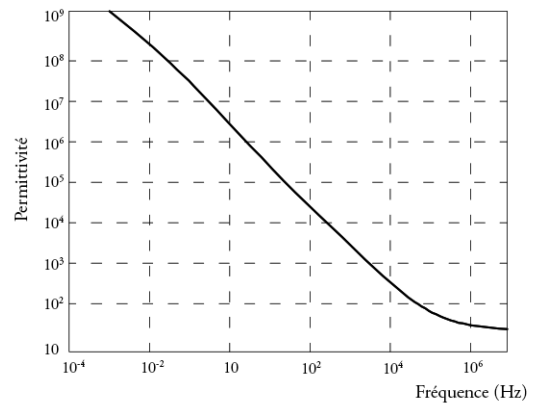


Fig 46 : Influence de la permittivité en fonction de la fréquence pour le grès

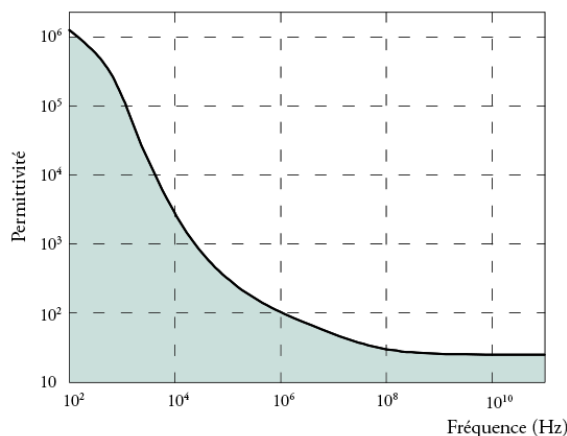


Fig 47 : Influence de la permittivité en fonction de la fréquence pour une pierre à 80 % d'humidité

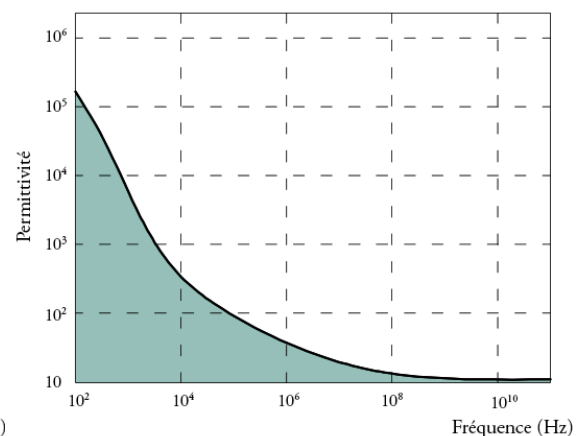


Fig 48 : Influence de la permittivité en fonction de la fréquence pour une pierre à 40 % d'humidité

2.4.1.1.7. Le verre

La matière du verre a également ses particularités en terme de protection face aux ondes (STONE, 1997, p.141)

Tout d'abord, sa résistivité sera plus faible en présence de métaux. Comme expliqué ci-dessus, la conductivité de ces derniers contribue à affaiblir fortement l'absorption des rayonnements. Les performances du verre feront donc de même. Cependant, une fois de plus, si des précautions sont prises en amont, ce type de vitrage peut être très efficace face aux ondes électromagnétiques, par exemple relié à la terre. Il faut en effet que les champs captés par les grillages métalliques puissent s'échapper grâce à une prise de terre par exemple (HOLLAND SHIELDING SYSTEMS BV, 2018). Cette particularité sera détaillée d'avantage dans la suite du travail.

Ensuite, à basses fréquences, le facteur d'atténuation a tendance à augmenter proportionnellement à l'épaisseur. Ce n'est pas le cas pour les plus hautes fréquences.

Il est donc conseillé d'opter pour un verre traditionnel épais face aux basses fréquences et plutôt mince pour les hautes fréquences si la protection face à l'environnement électromagnétique est recherchée. Une autre solution très efficace consiste à se munir de verre avec un treilli métallique [Fig 49]. Il faut être vigilant à sa mise en oeuvre afin d'en retirer tous les bénéfices [voir chap. 2.4.2.].

En ce qui concerne les châssis, qu'ils soient en PVC, alu, bois, les valeurs sont semblables à celles reprises dans les tableaux correspondants. Par exemple, un châssis en bois sera préféré à un en aluminium. Au vu de leurs caractéristiques électromagnétiques respectives, le premier est plus efficace que le second. Il importe donc de faire la meilleure combinaison possible entre le verre et la matière du châssis.

EPAISSEUR (mm)	PERMITTIVITE	RESISTIVITE (Ohms.m)	FACTEUR D'ATTENUATION (dB)						REFLEXION (%)
			6		13		19		
FRE- QUENCE			500 MHz	8 GHz	500 MHz	8 GHz	500 MHz	8 GHz	
VERRE	5 - 7	$10^{10} - 10^{14}$	0	1.5	1.2	1.6	2.3	1	17.5
VERRE ME- TALLIQUE		$50 - 200 \times 10^8$	80 Si relié à la terre	50 Si relié à la terre					

Fig 49 : Résumé pour le verre

2.4.1.1.8. Les combinaisons

Une paroi est rarement composée d'un seul matériau. Des expériences ont été menées notamment avec de la maçonnerie et du béton.

Tout d'abord, des valeurs ont été obtenues pour un mur en béton avec un parement de briques séparé par quelques millimètres de vide. La paroi est en béton non armé d'une épaisseur de 102 mm et 203 mm et un rapport eau-ciment de 0,36. Quant aux briques, elles ont une épaisseur de 90 mm.

En comparant les différentes valeurs, il semble qu'à basses fréquences, l'atténuation diffère peu par rapport au béton seul. Les briques ont laissé passer d'avantage les ondes par rapport au béton qui les arrête. Par contre, à hautes fréquences, les performances ont été presque additionnées. L'atténuation du complexe est donc plus importante et donc la protection est plus élevée [Fig 50].

Ensuite, des spécialistes ont testé le duo blocs de maçonnerie de terre cuite et briques également séparés par un petit vide. La partie portante a une épaisseur de 194 mm tandis que le parement fait 90 mm. Dans ce cas ci en revanche, les résultats sont meilleurs. En effet, les performances sont largement supérieures aux matériaux employés seuls [Fig 51].

Il semblerait qu'il ne soit pas vraiment possible de tirer des généralités de ces deux cas. Les combinaisons de matériaux doivent être vues au cas par cas. Il faut cependant remarquer que la protection face aux ondes est globalement supérieure en associant plusieurs matériaux.

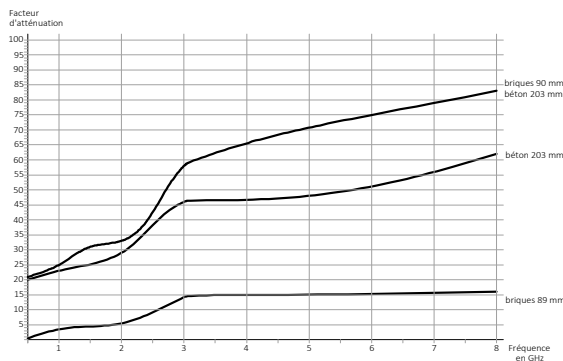


Fig 50 : Comparaison des facteurs d'atténuation de la combinaison briques - béton

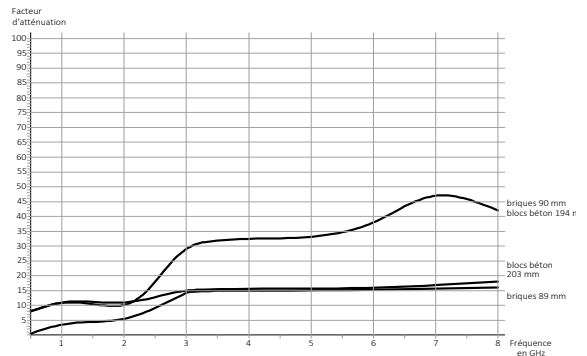


Fig 51 : Comparaison des facteurs d'atténuation de la combinaison blocs terre cuite - briques

2.4.1.2. Les caractéristiques environnementales

De nos jours, de plus en plus d'architectes travaillent sur le caractère environnemental, l'empreinte écologique d'un bâtiment,... Ces critères deviennent même parfois porteurs pour un projet.

«Je suis convaincu que les architectes ont un rôle essentiel à jouer dans le champ extrêmement complexe de la crise écologique mondiale car celle-ci a un impact direct sur leur responsabilité professionnelle.» - Thomas Herzog (HENZ^b, 2017, p.20).

De plus, il est possible de constater que les préoccupations électromagnétiques et environnementales sont souvent liées chez les maîtres d'ouvrage qui s'intéressent aux ondes. Un exemple illustrant ce lien sera détaillé un peu plus loin dans le TFE. Il s'agit de la MCS Gerechtes Wohnhaus où l'aspect écologique avait toute son importance pour ses occupants.

Un autre critère pour apprécier la qualité des matériaux usuels peut donc être évaluée par un **ÉCO-BILAN**. Lorsqu'une matière est employée, il faut garder à l'esprit que pour apparaître dans la construction, elle a dû subir une série de modifications : extraction de la matière première, transformation, transport, assemblage,... (HENZ^b, 2017, p.26) Toutes ces étapes ont évidemment des impacts sur l'environnement que ce soit au niveau de la consommation d'énergie, de la destruction des paysages, de la qualité de l'air,... et donc des impacts sur la santé (HENZ^a, 2017, p.8-9). Ces deux derniers aspects acquièrent énormément d'importance pour les habitants de la MCS Gerechtes Wohnhaus comme expliqué plus loin. Par les matériaux employés dans la construction, il est donc possible d'agir sur la santé et le bien-être de la population. Leur choix est donc d'une grande importance.

Afin d'évaluer et de donner les valeurs pour quantifier les différents impacts des matériaux, des spécialistes ont instauré l'éco-bilan. Il s'agit de « *données fondées sur les flux de matière et d'énergie, qui sont évalués compte tenu de leur influence sur l'environnement* » (PLATTFORM OKOBILANZDATEN IM BAUBEREICH, 2016, p.1). Les résultats sont donc fournis sous forme d'éco-point qui vont refléter l'indice de charges polluantes pour chaque matière (HENZ^a, 2017, p.24). Plus cette valeur est élevée, plus le matériau est nocif pour l'environnement. Ce critère d'éco-bilan, UBP, UmweltBelastungPunkte, regroupe une série de facteurs : les émissions de gaz à effet de serre, l'énergie primaire qui est l'énergie grise non renouvelable, l'énergie primaire globale qui regroupe le renouvelable et le non renouvelable et un facteur de raréfaction des ressources (HENZ^b, 2017, p.24). Cet UBP est souvent donné pour un kilo de matériaux de construction. Ces derniers n'ont cependant pas tous la même masse volumique. La comparaison n'est donc pas toujours pertinente : pour une même masse, beaucoup plus d'isolant pourra être employé par rapport au béton. Les quantités mises en oeuvre ne seront donc pas les mêmes. C'est pourquoi, une seconde transformation est effectuée. La valeur d'UBP/kg est souvent convertie pour avoir des indications surfaciques : UBP/m² ou m³. L'impact environnemental d'un matériau varie également

avec sa durée de vie. Il est communément admis que le mur en béton ne devra théoriquement pas être remplacé par opposition à un enduit qui devra faire l'objet de réparation, être remplacé,... Cela occasionne d'avantage de déchets et donc un respect environnemental moindre. Il est donc logique de tenir compte de ce critère du temps dans l'appréciation de l'éco-bilan. La valeur de l'UBP subira donc une troisième conversion : UBC/m³.an pour tenir compte de la durée de vie des matériaux (HENZ^a, 2017, p.12-13).

En procédant de la sorte, il sera donc possible d'apprécier et de comparer objectivement les matériaux de construction et leurs impacts environnementaux.

En observant le tableau [Fig 52], il est possible de constater que de manière générale, les dérivés métalliques ne sont en effet pas très écologiques en comparaison avec le bois, la pierre. Leur mode de fabrication, leur recyclage n'est également pas toujours très respectueux de l'environnement comparé au bois, à la pierre,...

MATERIAUX	MASSE VOLUMIQUE (kg/m ³)	DUREE DE VIE MOYENNE (ans)	UBP/kg	UBP/m ³	UBC/m ³ . an
BETON NON ARME	2300	100	94.3	216890	2168.9
PIN MASSIF SEC	465	75	502	233430	3112.4
CONTRE-PLAQUE (pin)	500	50	1860	93 x 10 ⁴	18600
CUIVRE	8900	75	51500	45835 x 10 ⁴	6111333
FER	7850	75	3570	2802.4 x 10 ⁴	373660
ZINC (+titane)	7200	75	35800	25776 x 10 ⁴	3436800
ALUMINIUM	2690	75 - 50	7300	1963.7 x 10 ⁴	261826
BRIQUES EN TERRE CUITE	900	100	217	195300	1953
GRES	1400	100	157	219800	2198
VERRE (double vitrage)		25		513 x 10 ⁴	205200
POLYSTYRENE	30	50	5180	155400	3108

Fig 52 : Résumé des éco-bilans des différents matériaux

2.4.1.3. Conclusion

Pour conclure cette première partie concernant les matériaux usuels utilisés prioritairement en architecture, certains semblent sortir du lot pour se protéger de l'environnement électromagnétique [Fig 53].

Premièrement, concernant les **propriétés électriques** des matériaux, il est possible de dégager certaines généralités. Tout d'abord, en ce qui concerne la permittivité, les plastiques et le bois semblent avoir des plus petites valeurs. Ils pourraient donc être privilégiés.

Ensuite, le verre possède une très bonne résistivité. Cependant, il n'est produit qu'en très petite épaisseur et peut donc potentiellement laisser passer plus de rayonnements. C'est pourquoi son facteur d'atténuation n'est pas très élevé.

Enfin, en terme d'atténuation, comme déjà dit, l'épaisseur a un grand rôle à jouer. C'est notamment pour cette raison que le béton non armé peut être performant.

Deuxièmement, en terme de **réflexion**, le bois et les plastiques semblent une fois de plus tirer leur épingle du jeu. En effet, ils possèdent les coefficients de réfraction les plus faibles ce qui est préférable pour ne pas renvoyer des ondes électromagnétiques et donc «polluer» d'avantage.

Troisièmement, au niveau de l'**approche environnementale**, les matériaux nécessitant de fortes transformations sont à éviter. Le bois, la terre cuite et en quelque sorte le béton sont donc à privilégier pour éviter d'avoir trop de répercussions sur l'environnement et donc sur notre santé.

Il est donc possible de retirer deux matériaux qui peuvent être potentiellement très intéressants face aux ondes électromagnétiques. Il s'agit du **BÉTON** et du **BOIS MASSIF**. En effet, ils comportent le meilleur compromis entre les différentes caractéristiques et propriétés et sont très souvent utilisés en construction.

Il est également possible d'ajouter que la combinaison de plusieurs d'entre eux entraîne une amélioration des performances. Il est donc opportun de les associer pour observer les effets bénéfiques qu'ils peuvent avoir.

En ce qui concerne les métaux, ils sont en effet à éviter. Leur propriété de conducteur ne protège pas des ondes électromagnétiques si ils ne sont pas mis en œuvre avec certaines spécifications et réflexions [voir chap. 2.4.2.]. De plus, ils possèdent de mauvaises caractéristiques environnementales.

Les différents matériaux utilisés habituellement procurent donc, pour certains, une protection face aux ondes électromagnétiques. Cependant, les niveaux d'atténuation restent relativement faibles et le blindage est insuffisant pour un électrohypersensible ou encore pour protéger des données confidentielles ou ... Il existe donc des solutions plus efficaces qui ne laissent passer qu'une infime partie de rayonnements...

	PERMITTIVITE	RESISTIVITE (Ohms.m)	FACTEUR D'ATTENUATION (dB)						RE-FLEXION (%)	ECO-BILAN (UBC/ m ³ .an)
			0 - 50		50 - 100		150 - 200			
EPAISSEUR (mm)			500 MHz	8 GHz	500 MHz	8 GHz	500 MHz	8 GHz		
BETON NON ARME	6				9	22	21	65	17	2168.9
BRIQUE					0	16	3.5	14		1953
POLYSTYRENE	2.5								5	3108
PIN MAS- SIF SEC	3	10 ³	2	4			4.5	25	6.5	3112.4
FER	infinie	9.9 x 10 ⁻⁸	3.5	0.7						373660
GRES	4 - 5	3 - 500 x 10 ³							11	2198
VERRE	5 - 7	10 ¹⁰ - 10 ¹⁴	2.3	1					17.5	205200

Fig 53 : Résumé des caractéristiques électromagnétiques et environnementales des matériaux usuels

2.4.2. Les cages de Faraday

« A Faraday cage is provided for EMI/RFI shielding which includes a substrate having an electrical ground. [...] The walls are covered with a layer of conductive metal. [...] The conductive housing is adhesively electrically mounted to the electrical ground of the substrate, over the electronic component, to shield electromagnetic and radio frequency interference. » (ROBERT KING, 1998, p.1).

En d'autres mots, il s'agit d'une cage composée de parois métalliques conductrices reliées à la terre. Les ondes sont donc absorbées par les métaux et directement rejetées dans le sol. L'intérieur de la cage est donc à l'abri de tout rayonnement extérieur. Cependant, si rien ne rentre, rien ne sort non plus. Il est donc possible d'obtenir des zones complètement neutres au niveau des rayonnements électromagnétiques. Elles sont donc censées isoler complètement de tous les champs [électriques] issus d'une large gamme de fréquences.

Ces cages sont donc des rêves pour des électrosensibles ou pour protéger des données sensibles,... Cependant, elles comportent aussi quelques complexités et désavantages comme développé ci-après.



Fig 54 : Principe de base d'une cage de Faraday

Tout d'abord, une des premières solutions pour créer une cage de Faraday est de placer sur les six façades du projet des **feuilles en acier**, cuivre, tissu métallique, qui seront reliées à la terre. De telles infrastructures peuvent avoir un gros inconvénient si tous les aspects ne sont pas réfléchis. En effet, si cette cage est très efficace lorsqu'elle est complètement hermétique, il est nécessaire d'y créer des ouvertures ne serait ce même que pour pouvoir y entrer. Dans le domaine architectural en général, toute rupture au niveau de la paroi, changement de matériaux, angles, ouvertures,... est propice à la création de fuites, problèmes d'étanchéité,... Dans le cas des cages de Faraday, le principe est tout à fait le même. Une porte dans une paroi peut poser de vrais problèmes de conductivité et donc d'isolation face aux ondes extérieures.

Premièrement, les **portes** peuvent faire l'objet d'une réflexion particulière [Fig 55]. Ces portes sont construites soit en bois recouvert d'une feuille de cuivre par exemple soit complètement en acier. Leur montage doit faire l'objet d'une certaine attention : joints spécifiques, connexions avec la cage de Faraday,... En procédant précautionneusement, la protection électromagnétique est garantie. Les facteurs d'atténuation des différents types de portes peuvent atteindre 120 dB (HOLLAND SHIELDING SYSTEMS BV, 2018). Il s'agit par exemple de produits développés par l'entreprise Holland Shielding Systems BV.

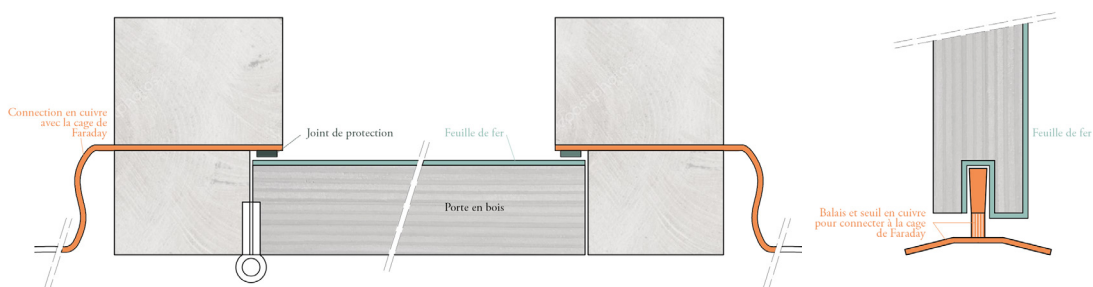


Fig 55 : Détail de construction d'une porte en bois recouverte de cuivre pour les cages de Faraday

Deuxièmement, les **fenêtres** réclament également une certaine attention. Comme déjà vu, le verre utilisé simplement n'a pas un bon facteur d'atténuation à cause, entre autre, de son épaisseur. C'est pourquoi, pour améliorer ses performances, des entreprises proposent d'y insérer une grille métallique. Les deux couches de verre et le grillage vont être maintenus par un cadre en aluminium, en cuivre [Fig 56],... Une fois la fenêtre placée dans la cage et les joints soigneusement réalisés, ce complexe assure une conductivité parfaite et aucune fuite ou affaiblissement des propriétés de la paroi n'est à constater. D'autres systèmes peuvent également être utilisés. Par exemple, dans le cas de fenêtres existantes, il est possible de recourir à des mailles blindées en veillant à la réalisation des détails techniques. Les performances de telles fenêtres sont reprises dans le graphique [Fig 57] (HOLLAND SHIELDING SYSTEMS BV, 2018). Il est possible de remarquer que l'atténuation d'une fenêtre est légèrement inférieure à celle d'une porte. Cela est probablement dû à la nature des matériaux qui les composent. Il est donc conseillé de les limiter.

Cette technique de cage de Faraday entièrement construite sur place et reliée à la terre convient essentiellement pour les constructions neuves où le problème a été réfléchi en amont. Il est en effet plus difficile à mettre en œuvre car le bâtiment doit être presque entièrement terminé et le câblage électrique doit être pensé en fonction. De plus, ce type de système est relativement onéreux (MARDIGUIAN, 2017).

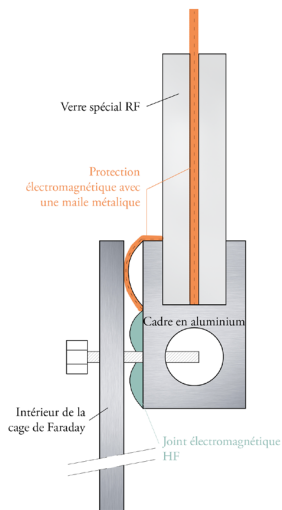


Fig 56 : Détail d'une fenêtre dans une cage de Faraday

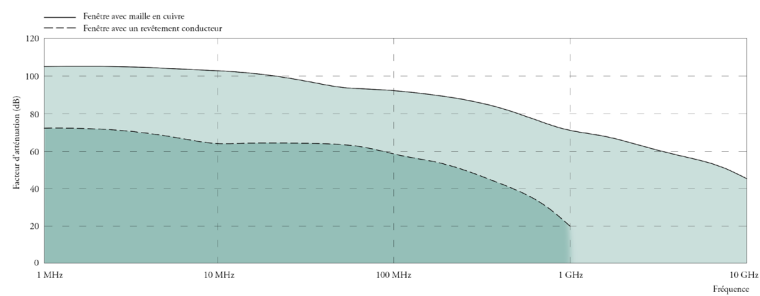


Fig 57 : Facteur d'atténuation en fonction du type de fenêtre

D'autres possibilités pour se protéger des ondes ont donc fait l'objet de différentes recherches.

Une alternative à ces cages est ensuite la **cage modulaire**. Il s'agit dans ce cas d'ériger une structure autoportante indépendante du bâtiment pour y installer des panneaux isolants électromagnétiquement. Ce type de produit est par exemple développé par la société française Siepel SAS (HEMERA RF, 2015). Leur structure portante est constituée soit de profils métalliques ou de charpentes en bois. Leurs parois de remplissage sont des panneaux sandwichs à la composition bien particulière afin de s'isoler au maximum des ondes. Ce sont des panneaux de particules d'une densité de 700kg/m^3 recouverts de deux feuilles d'acier galvanisé de 0,6 mm d'épaisseur. L'ensemble du complexe fait 20 mm. L'enjeu de ce type de construction est de parvenir à gérer les joints et éviter les fuites. En effet, chaque panneau est placé l'un à côté de l'autre. La jonction entre ces derniers est donc d'une importance capitale pour garantir l'efficacité de la protection. Pour assurer la conductivité électrique entre les parois, la firme a imaginé des profils en acier électro galvanisé fixés avec des vis spécifiques. Il n'y a donc pas de joints, de boulons,... et la cage peut donc être démontée. Un autre point critique est la porte. L'entreprise Siepel SAS a conçu des portes à haute performance qu'ils vont placer précautionneusement pour éviter toute fuite ou perte de bonne conductivité. Grâce à ces détails, ces cages modulaires vont avoir de très bonnes caractéristiques. En effet, comme le montre le graphique [Fig 58], l'atténuation des champs peut atteindre presque 140 dB pour la cage modulaire. Ce résultat est donc largement au-dessus de tout ce qui a été vu auparavant. De plus, l'épaisseur de la paroi est extrêmement fine. Ces associations sont donc très efficaces pour se protéger des ondes électromagnétiques (SIEPEL SAS, 2013). Une autre entreprise a mis au point un système de cage de Faraday préfabriquée (HOLLAND SHIELDING SYSTEMS BV, 2018). Il s'agit dans ce cas-ci d'une structure métallique remplie avec des panneaux en acier galvanisé de 2 mm d'épaisseur [Fig 59]. L'atténuation de ce type d'infrastructure est sensiblement différent de celui de la firme précédente. Cependant, les deux solutions semblent se valoir dans les plus hautes fréquences.

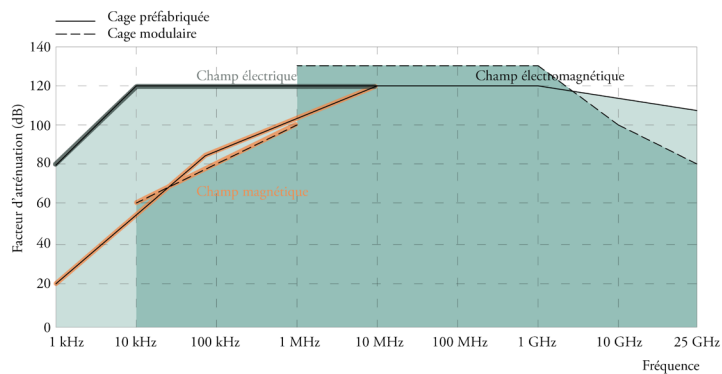


Fig 58 : Influence du facteur d'atténuation en fonction du type de cage



Fig 59 : Exemple de cage de Faraday modulaire

Par ailleurs, ces deux modèles de cages comportent quelques désavantages : ils sont difficiles, voire impossibles à démonter sans abîmer le matériel. Leur influence sur l'environnement n'est donc pas négligeable lorsqu'il s'agit d'évacuer la matière métallique, la recycler,... De plus, l'éco-bilan des métaux est loin d'être le meilleur [voir chap. 2.4.1.2.]. Ce qui ne prône donc pas en leur faveur. Ces problématiques de démontage et d'évacuation entraînent donc la nécessité de dédier une pièce à ça et donc perdre la polyvalence de certains locaux. Une cage de Faraday « adaptable » peut par exemple être utile pour un électrohypersensible qui veut se protéger différemment dans son habitation ou encore lorsque la protection de systèmes confidentiels doit être assurée mais pas tout le temps,... Un brevet a été déposé il y a quelques années pour créer des **cages de Faraday escamotables** (DIDIER, 2004). La polyvalence de l'espace peut donc être conservée. Cette technique consiste à avoir un plancher et un toit fixes, fonctionnant comme une cage de Faraday. Les parois latérales sont alors amovibles [Fig 60]. Ces dernières peuvent être constituées de tissu électromagnétique, de grillage,... et sont à enrouler comme des volets ou à faire pivoter. L'efficacité de ce système est essentiellement basé sur la performance des joints et jonctions entre les panneaux, tissus, une fois que l'enveloppe est refermée. Une série de détails a donc été imaginée pour assurer l'imperméabilité des joints et une bonne conductivité de l'ensemble. Il s'agit par exemple de systèmes à glissières avec bandes de tissus, de raccords d'angles,... L'attention doit également être portée sur les systèmes d'enroulement au plafond et les raccords au sol. Ils doivent être parfaitement étanches.

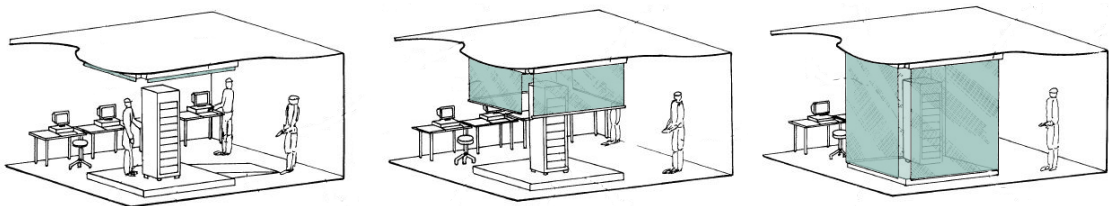


Fig 60 : Exemple de cage de Faraday escamotable

Enfin, il est intéressant de souligner que le problème des champs magnétiques n'est pas encore tout à fait résolu surtout dans le domaine des basses fréquences. De plus, pour ces fréquences, la protection semble moins optimale. C'est pourquoi, EuroMC a développé un blindage magnétique particulièrement efficace pour les basses fréquences (EUROMC, 2012).

Il existe également des films en cuivre autocollants à appliquer sur les parois. Ils permettent d'obtenir de meilleures performances face aux champs magnétiques (HOLLAND SHIELDING SYSTEMS BV, 2018). Le chapitre dédié à l'aménagement traite plus en profondeur cette technique.

Les cages de Faraday semblent être un bon complément à l'utilisation des matériaux traditionnels pour se protéger des ondes électromagnétiques même si ces dernières ont des impacts sur l'environnement non dérisoires et peuvent parfois avoir un coût non négligeable. De plus, le résultat esthétique de telles infrastructures peut en décourager plus d'un. Vivre dans une boîte métallique n'est pas vraiment le fantasme de beaucoup de personnes. Il importe donc à l'architecte de les intégrer au mieux dans le projet. Ces cages peuvent être recouvertes par une série de matériaux de finition sans pour autant affaiblir leurs performances de protection.

Pour résumer cette partie à propos des cages de Faraday, elles constituent une bonne solution pour se protéger des ondes électromagnétiques même si les résultats ne sont pas aussi optimistes au niveau des champs magnétiques à basses fréquences. Elles peuvent être réalisées avec des matériaux métalliques conducteurs, mis en œuvre sur chantier ou préfabriqués et la plupart du temps reliés à la terre. Elles pourront ainsi évacuer les ondes environnantes captées. Elles peuvent être intégrées harmonieusement dans le projet d'architecture grâce à tous les parements, finitions utilisés habituellement.

Les cages de Faraday semblent bien efficaces mais elles sont parfois moins faciles à adapter au domaine de l'architecture. Des entreprises françaises spécialisées se sont penchées sur la question. Elles ont développé un système de parois censé arrêter les ondes électromagnétiques à hautes et basses fréquences. Il s'agit par exemple du procédé Greyshiel, « an intelligent concrete » (GN, 2016).

2.4.3. Les matériaux alternatifs - «an intelligent concrete»

L'entreprise EuroMC a travaillé en collaboration avec Spie Batignolles pour développer une nouvelle technique architecturale visant à protéger ses occupants de toute émission électromagnétique. Ils ont donc travaillé sur un **BÉTON INTELLIGENT** (GN, 2016). Le but est d'associer le béton et un treillis métallique afin de couvrir la plus large gamme de fréquences possible. En fonction de la fréquence à laquelle la paroi va être soumise, le béton ou le treillis sera plus efficace (SPIE BATIGNOLLES, 2017). Si ce procédé est retenu pour l'édification d'un bâtiment, toutes les parois de la pièce à isoler doivent être réalisées avec ce matériau.

Tout d'abord, le **béton** employé a des caractéristiques spécifiques qui vont le rendre plus performant. Premièrement, il va avoir une proportion ciment-sable de 1/5, ce qui est plutôt courant. Deuxièmement, comme déjà développé dans les précédents chapitres, plus l'épaisseur du béton est importante, plus l'atténuation des ondes augmente. C'est pourquoi, ce système est souvent élaboré pour des dimensions de 30 à 50 cm. Troisièmement, pour des raisons notamment structurelles, le béton va être armé mais pas avec des armatures traditionnelles car les performances seraient vues à la baisse. Ils vont donc utiliser des fibres de verre ou d'acier. Plus il y en aura, plus les ondes pourront trouver leur chemin facilement, plus le béton sera conducteur et donc plus il sera efficace une fois relié à la terre. Quatrièmement, ce matériau a de meilleures caractéristiques d'atténuation une fois qu'il est exposé aux hautes fréquences. C'est donc surtout dans ce domaine qu'il sera exploité (MARDIGUIAN, 2017).



Fig 61 : Intelligent concrete

Ensuite, en ce qui concerne le **treillis métallique**, il va être utilisé en complément du béton. Il est très performant à condition que chaque recouvrement, chaque intersection soit bien réalisé. De plus, plus la maille est petite, plus l'atténuation est importante [Fig 62]. La protection vis-à-vis des ondes est plus intéressante dans le domaine des basses fréquences (MARDIGUIAN, 2017).

Enfin, l'intérêt de ces recherches est de **combiner** les avantages des **deux matériaux**. Par exemple, le béton est meilleur quand il est en présence de hautes fréquences tandis que le treillis l'est pour les basses et moyennes fréquences. En les associant, les performances vont être acceptables et ce, pour toutes les ondes électromagnétiques non ionisantes d'origine artificielle. A titre d'illustration, les résultats obtenus pour un mur fibré de 50 cm d'épaisseur avec un treillis à mailles de 5x5 sont présentés ci-dessous [Fig 63]. Jusqu'à environ 50 MHz, c'est la partie métallique qui va travailler et au-delà, le béton prendra le relai.

Il est possible d'optimiser les performances de cette combinaison en ne coulant pas le treillis dans la paroi en béton. En effet, les expériences ont montré que la protection était plus importante lorsque les deux couches étaient clairement distinctes. De plus, en disposant le treillis à l'extérieur, il est plus aisé d'avoir une réalisation correcte au niveau des recouvrements. Cela assure donc une bonne continuité. Il est également plus pratique d'ériger et d'arranger les mailles à l'extérieur de tout coffrage, béton (MARDIGUIAN, 2017). Le fait d'agir sur l'épaisseur du béton, la forme, la dimension et la qualité des fibres, la dimension de la maille,... peut entraîner une amélioration de la protection vis-à-vis de l'environnement électromagnétique.

Tout comme les cages de Faraday, une attention particulière doit être portée aux détails et ouvertures pour éviter toute fuite. Une série d'accessoires ont été prévus comme des grilles de ventilation, portes,... (SPIE BATIGNOLLES, 2017). Ils ont été conçus pour ne rien laisser passer en terme d'ondes. Cependant, la jonction entre ces appareils et le béton intelligent est toujours problématique. C'est pourquoi, pour assurer la continuité de la protection, les spécialistes ont imaginé une feuille en acier galvanisé à disposer sur toute l'épaisseur du mur [Fig 64]. Cette feuille établira donc le contact entre les différentes parties et fonctionnera sur le même principe que la cage de Faraday en redirigeant les ondes vers le sol par l'intermédiaire du béton intelligent (MARDIGUIAN, 2017).

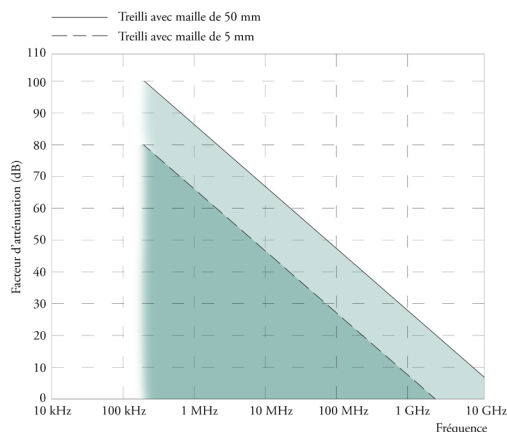


Fig 62 : Influence du facteur d'atténuation en fonction de la dimension de la maille du treillis

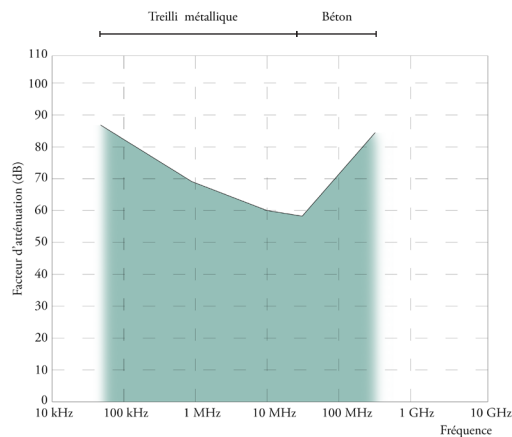


Fig 63 : Combinaison des performances du béton et du treillis

Les cages de Faraday, par leur principe de construction, ne rencontrent normalement aucun problème à leurs angles. Dans le cas du béton intelligent, assurer la continuité des fibres dans le béton et du treillis est un peu moins aisé. C'est pour cette raison que des joints ont été élaborés pour pallier à tout risque de fuites [Fig 65]. D'autres détails ont également été réalisés lorsqu'il y a des joints de dilatation dans le bâtiment (SPIE BATIGNOLLES, 2017),...

Le treillis présent sur une face de la paroi n'est peut-être pas esthétiquement intéressant à conserver dans un salon par exemple. Sans altérer les performances du complexe, il est possible de placer une finition traditionnelle sur le treillis comme des plaques de plâtres,...

Pour résumer cette partie, il semble que ce type de béton associé à du treillis soit un bon compromis entre les matériaux traditionnels peu performants et les cages de Faraday parfois difficiles à mettre en œuvre et à habiter.

De telles parois coutent environ 50% de moins qu'une cage de Faraday et sont plus faciles à construire. De plus, elles ne nécessitent pas de maintenance et leurs performances sont garanties (GN, 2016). Elles doivent cependant être conçues dès le début, ce qui n'est pas le cas des cages de Faraday qui peuvent parfois être rapportés à la construction par la suite.

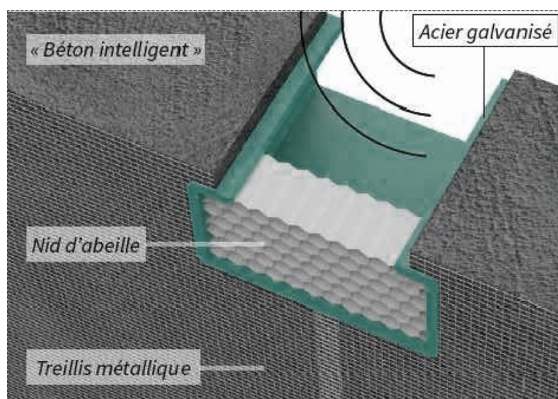


Fig 64 : Intégration d'appareil dans le béton intelligent

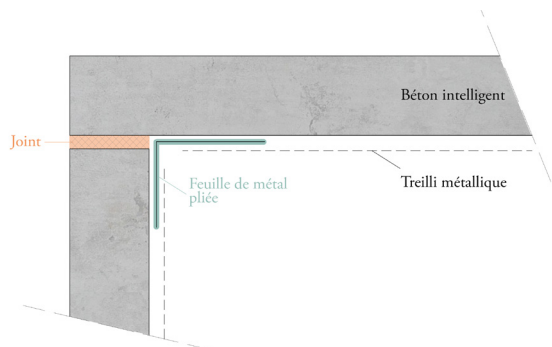


Fig 65 : Traitement des angles

2.4.4. Conclusion

Pour conclure ce chapitre sur les matériaux, il existe trois voies pour traiter l'exposition aux ondes électromagnétiques dans notre environnement intérieur.

Tout d'abord, les **matériaux traditionnels** utilisés en architecture, le béton, la terre, le bois, les métaux, la pierre, le verre et les polymères, peuvent apporter une protection primaire pour s'en isoler. Pour la plupart, leurs performances ne sont pas très élevées mais elles suffisent largement dans de nombreux cas.

Ensuite, les **cages de Faraday** offrent une protection optimale surtout pour les champs électriques. Ce type d'infrastructure, une fois intégré dans un bâtiment est précieux pour un électrosensible ou pour des entreprises qui cherchent à protéger leurs dossiers confidentiels.

Enfin, des **nouveaux matériaux**, comme le béton intelligent, commencent à apparaître sur le marché. Il est possible de situer leurs performances entre celles des matériaux traditionnels et des cages de Faraday. Ils sont donc de bons compromis.

De manière générale, les trois solutions ont leurs avantages et leurs inconvénients. Leur utilisation dans une construction va varier en fonction des objectifs du maître d'ouvrage et donc du niveau de protection exigé. Un client qui cherchera une certaine efficacité se tournera d'avantage vers une cage de Faraday ou des matériaux alternatifs. Il choisira probablement l'un ou l'autre en tenant compte des opportunités que chacun peut offrir. En effet, les premières sont très efficaces au niveau de la protection électromagnétique mais sont plus dures à mettre en place et à habiter. Les nouveaux matériaux, quant à eux, sont moins répandus sur le marché et un peu moins performants mais beaucoup plus faciles à construire et à s'approprier.

Il est également important de souligner que si les champs ne peuvent plus entrer dans la pièce, l'utilisation du téléphone par exemple va devenir plus compliquée. De plus, comme il y a peu de réseau, ce dernier peut développer une puissance plus importante, ce qui peut être encore pire. Il importe donc de rester vigilant.

2.5. La mise en forme

La **MISE EN FORME**, les proportions de la construction ont beaucoup d'importance pour les architectes. C'est en effet notamment par ce biais que le bâtiment va pouvoir exister dans son contexte. Cette forme peut également être réfléchie, au même titre que l'implantation et les matériaux, en fonction des émissions électromagnétiques. Elle permet tantôt d'accentuer la concentration des ondes à un endroit et tantôt de la limiter. Toute forme va modifier l'environnement électromagnétique d'un milieu et peut avoir différents impacts sur l'homme (BIRCKNER, 2015, p.198). Pour développer cet aspect, une fois de plus, la physique apporte des éléments de réponse grâce aux principes optiques. En effet, les règles concernant le contact d'une onde lumineuse sur une surface sont tout à fait compatibles avec les ondes électromagnétiques. Ce sont toutes les deux des ondes mais vibrant à des fréquences différentes (KANE, 2014, p.591).

Tenir compte des formes dans l'environnement électromagnétique semble intéressant à différents niveaux. Tout d'abord, cela permet d'étudier les effets qu'elles ont sur notre environnement, notre voisin,... Elles sont capables de focaliser en différents points une concentration plus ou moins importante d'ondes. Ensuite, il est également possible que certaines entreprises recherchent la plus grande uniformité au niveau des émissions électromagnétiques de leur appareil wi-fi par exemple. L'idéal est de rester hyper connecté peu importe l'endroit où ils se trouvent dans le bâtiment. Ces deux principes vont pouvoir être analysés grâce à la réflexion. Enfin, l'enveloppe d'un édifice est rarement complètement fermée ou opaque. L'homme a besoin de renouveler son air, d'entrer dans le bâtiment, d'avoir des vues vers l'extérieur,... Les ouvertures sont essentielles. Malheureusement, elles constituent un point faible dans la paroi. Ce phénomène peut être développé et approfondi grâce à la diffraction.

The form is « ***The shape and structure of something as distinguished from its substance or material. Also, the manner of arranging and coordinating the elements and parts of a composition so as to produce a coherent image ; the formal structure of a work of art.***»

(CHING, 2007, p.413)

2.5.1. La mise en forme globale

Lorsque l'allure d'un bâtiment est réfléchi, il s'agit en premier lieu de s'attarder sur les réflexions qu'elle peut occasionner. Pour rappel, la réflexion est le principe physique par lequel « *une partie de l'onde incidente est renvoyée dans son environnement après avoir heurté une surface, une paroi* » (LETAWE, 2013, p.107). Il s'agit du même principe qui a été développé dans le chapitre sur les matériaux à la seule différence que, dans le cadre des formes, le principe géométrique sera d'avantage analysé. Il est évident que lorsqu'il y a réflexion, il faut tenir compte à la fois des propriétés intrinsèques des matériaux et de leur forme. Pour plus de facilité et de clarté, dans le cadre de ce TFE, les deux aspects ont été distingués.

Pour revenir à la mise en forme globale de l'édifice, il est important de souligner qu'**une onde incidente percutant une paroi sous un certain angle va être renvoyée avec le même angle** dans son environnement. L'angle incident est en effet toujours égal à l'angle réfléchi (KANE, 2014, p.593). C'est sur ce principe géométrique que la forme va pouvoir être analysée. Il existe deux types de réflexions faisant intervenir l'état de surface de l'édifice. Il s'agit de la réflexion spéculaire [Fig 66] et de la réflexion diffuse [Fig 67].

Tout d'abord, la réflexion spéculaire se produit lorsque la surface est parfaitement lisse. Dans ce cas, le trajet de l'onde réfléchi est tout à fait prédictible grâce à la règle de l'angle incident qui est égal à l'angle réfléchi (LETAWE, 2013, p.107).

Ensuite, la réflexion diffuse a lieu quand la surface est rugueuse, plus anarchique (LETAWE, 2013, p.108). À ce moment, les rayons incidents ne vont pas tous être renvoyés dans la même direction comme l'illustre le schéma. Il est toutefois possible de constater qu'une telle surface accidentée peut être comparée à un ensemble de petites réflexions spéculaires sur chaque surface plane de la paroi.

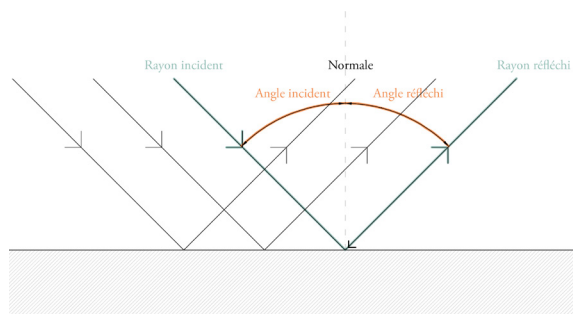


Fig 66 : Réflexion spéculaire

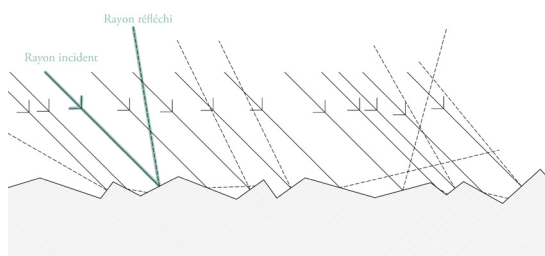


Fig 67 : Réflexion diffuse

Il est possible de comparer ces caractéristiques avec les ondes acoustiques, d'avantage connues dans le domaine architectural. Celles-ci peuvent en effet être rapprochées aux champs électromagnétiques à quelques petites nuances près : elles ont besoin d'un support matériel pour se propager [l'air],... Lorsque la bonne répartition du son est recherchée dans une salle de spectacle par exemple, les spécialistes, acousticiens recommandent d'avoir le moins de murs parallèles, plans, réguliers,... Ils recherchent en fait un maximum de réflexions de manière à éviter les échos mais également pour s'assurer que tous les recoins de l'espace soient atteints par le son. Expliqué de cette manière, le principe peut être relativement clair. Mais une pièce est rarement composée d'un seul mur avec l'une ou l'autre réflexion. En continuant de se concentrer sur le principe d'équivalence entre l'angle d'incidence et l'angle réfléchi, il est possible de trouver quelles sont les formes à privilégier plutôt que d'autres si l'absence de concentration de rayonnements électromagnétiques est recherchée. A titre d'exemples, quelques mises en formes très différentes ont été sélectionnées et les réflexions internes qu'elles peuvent occasionner sont particulières en faisant abstraction des matériaux qui les composent [Fig 70].

Enfin, il est intéressant de souligner qu'une onde se promène rarement seule dans l'environnement. En effet, la population est sans cesse baignée dans les rayonnements qui vont pouvoir évidemment interagir entre eux. Lorsqu'ils sont de même fréquence, ils vont pouvoir s'additionner ou se soustraire l'un à l'autre (KANE, 2014, p. 601). Le domaine scientifique définit donc ce phénomène comme faisant l'objet d'interférences possibles. Ils vont différencier les interférences destructives et les interférences constructives (LETAWE, 2013, p.83).

Une fois que deux ondes de même fréquence se rencontrent, elles peuvent premièrement se soustraire et s'annuler lorsqu'elles sont en opposition de phase*, c'est-à-dire, lorsque leurs vibrations sont décalées d'une demi longueur d'onde [Fig 68] (LETAWE, 2013, p.110). Deux ondes qui se rencontrent peuvent donc donner du repos. Il s'agit dans ce cas-ci des interférences destructives.

Deuxièmement, deux ondes qui s'entrechoquent peuvent également être amplifiées [Fig 69]. Cela se produit lorsqu'elles vibrent en phase, ce qui signifie que leurs vibrations se déroulent en même temps. Dans ce cas, l'onde résultante sera beaucoup plus importante. Il s'agit des interférences constructives.

Ce principe d'interférences va essentiellement concerner les zones où les concentrations de rayonnements sont plus importantes, dans les angles par exemple. En effet, vu la quantité d'ondes qu'il y réside, il y a de très grandes chances pour qu'elles se rencontrent à un moment ou à un autre. Elles pourraient donc être potentiellement amplifiées ou annulées. Ce n'est donc pas parce que la concentration d'ondes est plus importante à un endroit qu'il y a nécessairement plus de rayonnements même si le risque est évidemment plus élevé.

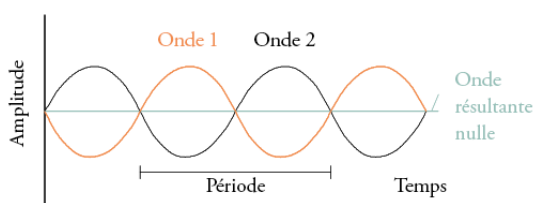


Fig 68 : Interférence destructive

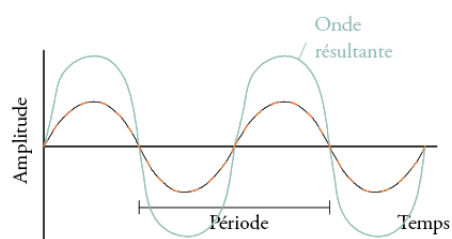


Fig 69 : Interférence constructive


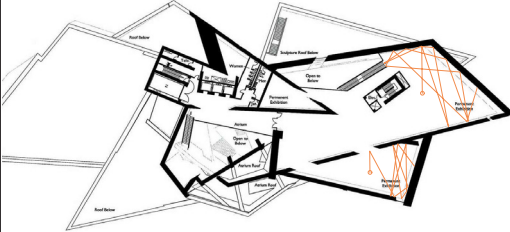

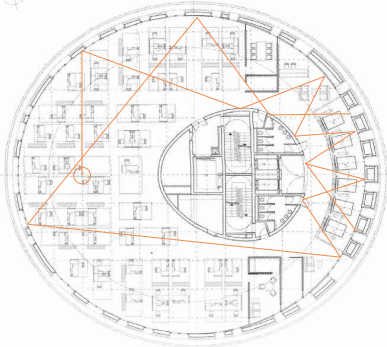
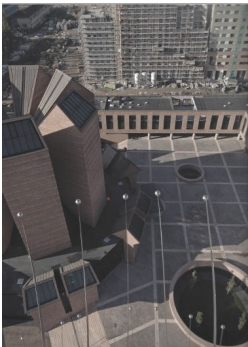
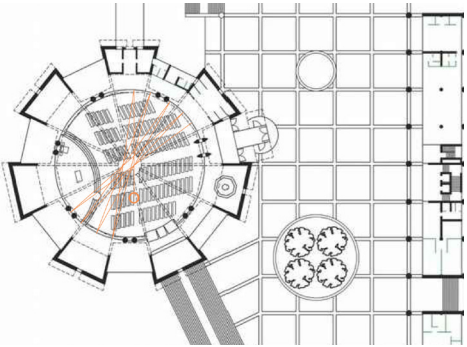

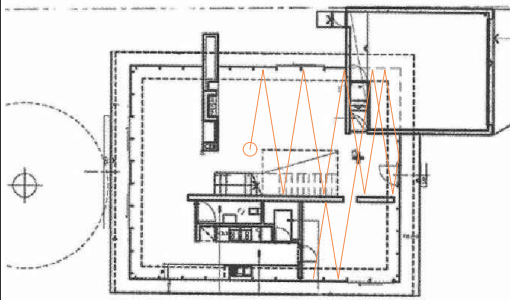
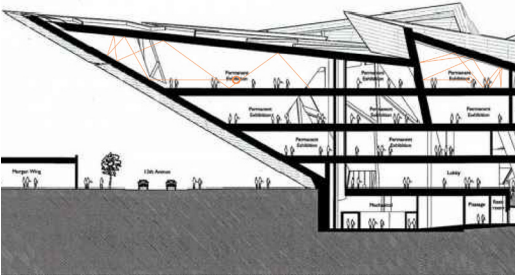
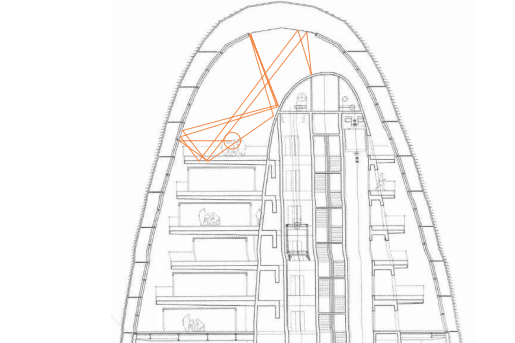
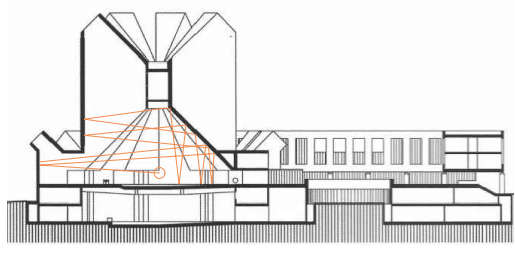
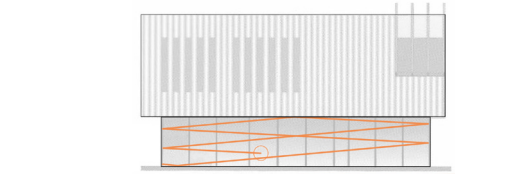
NOM DU BÂTIMENT + ARCHITECTES	PHOTO	PLAN
Extension du Denver Art Museum - Daniel Libeskind - 2006		
Tour Agbar - Ateliers Jean Nouvel - 2005		
Eglise de Santo Volto - Mario Botta - 2006		
Barro House - Wood Marsh Architecture - 2004		

Fig 70 : Exemple des réflexions en fonction des mises en forme

Remarques sur le tableau : Le trajet des ondes a été effectué pour un seul train d'onde, un seul faisceau pour un appareil émettant des ondes électromagnétiques. Cela ne reflète évidemment pas la réalité. En effet, dans un même bâtiment, il y a une multitude d'émetteurs et de nombreuses ondes qui voyagent dans l'espace. Simplifier à ce point permet de comprendre la logique du développement. De toute manière, que ce soit avec un ou plusieurs appareils et rayonnements, les zones de

COUPE	COMMENTAIRES	REFERENCE
	<p>Les formes anguleuses semblent concentrer les réflexions dans les coins.</p>	<p>SANCHEZ VIDIELLA, 2010, p. 48-57</p>
	<p>Les formes plutôt arrondies semblent mieux répartir les ondes électromagnétiques même si des endroits sont légèrement plus desservis que d'autres.</p>	<p>SANCHEZ VIDIELLA, 2010, p. 434-445</p>
	<p>Les formes plus régulières répartissent mieux les différentes ondes.</p>	<p>SANCHEZ VIDIELLA, 2010, p. 452-461</p>
	<p>Le carré semble répartir de manière très homogène les réflexions des ondes.</p>	<p>SANCHEZ VIDIELLA, 2010, p. 708-715</p>

concentration restent relativement similaires.

Dans ce tableau, il est possible de constater que plus la forme est proportionnée, sans angles, moins il y aura de concentration d'ondes à certains endroits. La même conclusion peut être tirée s'il s'agit d'émissions d'ondes issues de l'extérieur sur l'enveloppe.

Pour résumer cette première partie, il est intéressant de constater que les mises en forme angulaire, avec des recoins,... sont à éviter pour se protéger au maximum de la concentration des ondes ainsi que des interférences constructives. Par exemple, un lit situé dans un coin de maison est potentiellement plus exposé aux ondes que si il se trouvait au milieu d'une pièce. Au même titre, une entreprise cherchant à être hyper connectée en tout point du bâtiment évitera la construction de pièces un peu trop complexes avec de nombreux recoins. En effet, il y aurait plus de risques d'avoir des zones où les émissions sont très bonnes et d'autres où il n'y a presque rien. Une bonne répartition des ondes sera préférée afin de conserver une certaine mobilité au sein des différents bureaux. Il faut cependant rester lucide, la diversité des ondes présentes dans un espace assure, de manière globale, une bonne répartition des rayonnements dans toute la pièce.

Une attention toute particulière peut donc être retenue par l'architecte concernant le dessin de la mise en forme de son bâtiment. Ce dernier peut avoir quelques influences sur son environnement électromagnétique intérieur ou extérieur.

2.5.2. Les ouvertures

L'enveloppe extérieure d'un bâtiment est évidemment percée d'un ensemble de baies, portes et fenêtres. Ces ouvertures constituent une rupture dans la performance électromagnétique de la façade. Elles sont donc à réfléchir pour éviter tout problème.

Pour illustrer l'influence qu'elles peuvent avoir, il est intéressant d'analyser le principe de **diffraction**. Il s'agit d' «une modification de direction de propagation d'une onde quand elle rencontre un obstacle matériel dont la taille est de l'ordre de grandeur de sa longueur d'onde* » (LETAWE, 2013, p.86). Dans ce cas-ci, la longueur d'onde et donc la fréquence ont toute leur importance. En effet, comme cité ci-dessus, le phénomène de diffraction se produit lorsque la longueur d'onde est du même ordre de grandeur que la dimension de la baie. Lorsqu'un bâtiment est construit, les ouvertures ont souvent des mesures de l'ordre du mètre. Certaines ondes radios et téléphones du côté des hautes fréquences, sont donc concernées. Si la dimension de la fente est supérieure à la longueur d'onde, il n'y aura qu'une toute petite diffraction sur les bords [Fig 71]. Par contre, si les dimensions sont similaires, une onde plane peut se transformer en onde circulaire (LETAWE, 2013, p.86) [Fig 72]. Il est donc possible de dire que dans ce cas, la baie devient comme source d'une nouvelle onde. En ce qui concerne la petite ouverture par rapport à la longueur d'onde, le rayonnement incident est fortement atténué. L'onde pénètre donc beaucoup moins dans la construction (DEMOULIN, 2012). Il ne faut donc pas espérer être protégé de tous les rayonnements si on se trouve juste à coté d'une baie.

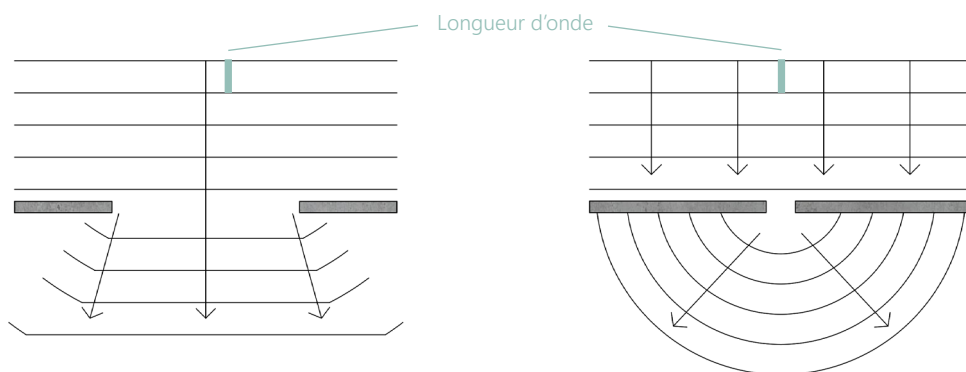


Fig 71 : Diffraction quand la longueur d'onde est plus petite que la dimension de la fente

Fig 72 : Diffraction quand la longueur d'onde est environ égale à la dimension de la fente

Ce principe devient particulièrement intéressant lorsqu'il y a plusieurs ouvertures l'une à côté de l'autre. Chacune d'entre elles va diffracter l'onde, ce qui va donner naissance à des interférences. En effet, toutes les ouvertures deviennent des nouvelles sources et au vu de leur proximité, les différentes ondes ne peuvent que s'entrechoquer [Fig 73] (LETAWE, 2013, p.110). D'une seule onde plane initiale, il peut en naître plusieurs diffractées qui vont interagir entre elles. Une fois de plus, il y aura des interférences constructives et destructives [voir p. 85]. Plus il y a de fenêtres l'une à côté de l'autre, plus elles peuvent être la source de nouvelles émissions et plus ces dernières ont la possibilité de s'amplifier à cause des nombreuses interférences.

Pour résumer l'influence des ouvertures sur la propagation des ondes électromagnétiques, il semblerait qu'elles puissent poser problème essentiellement pour une plage de fréquences spécifiques : les hautes fréquences [ondes radios, téléphones,...]. De plus, une amplification des rayonnements est risquée lorsque plusieurs baies se trouvent côte à côte. Ces deux constatations sont malheureusement des réalités et pour s'en prémunir, seul l'emploi de matériau particulier comme le verre métallique relié à la terre peut convenir. La meilleure des solutions reste cependant le moins possible d'ouvertures, ce qui est en contradiction avec une vie saine et agréable.

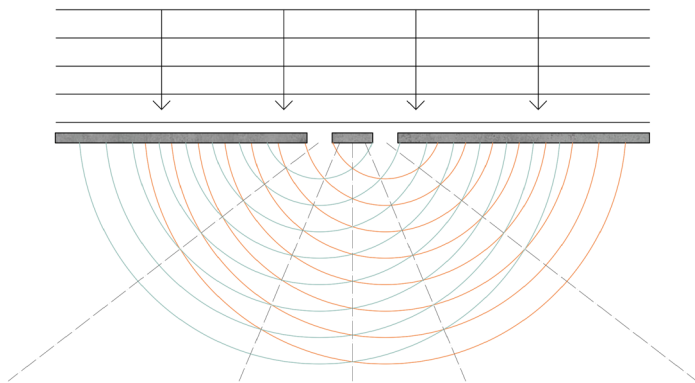


Fig 73 : Interférences entre ondes diffractées issues de deux ouvertures

2.5.3. Conclusion

En conclusion, **la mise en forme architecturale peut avoir beaucoup d'influence sur l'environnement électromagnétique intérieur et extérieur.**

Tout d'abord, si des personnes cherchent à se protéger des ondes, il leur est conseillé de s'opposer à toute forme anguleuse ou trop complexe afin d'éviter des concentrations et interférences non désirées. Cette première caractéristique est régie par la loi de la réflexion dans le domaine scientifique.

Ensuite, les ouvertures dans les façades constituent des points faibles au niveau électromagnétique. Dans certaines conditions, où la dimension de la baie est environ égale à la longueur d'onde, il peut se produire des phénomènes de diffraction ce qui entraîne une propagation plus importante de l'onde dans une pièce. Les rayonnements peuvent également être amplifiés lorsque plusieurs ouvertures ont été réalisées l'une à côté de l'autre.

L'architecte peut évidemment veiller à tous ces caractères formels lorsque le maître d'ouvrage émet des volontés de restriction ou d'uniformité au niveau électromagnétique. La mise en forme doit bien sûr être réfléchiée dès la conception du projet. Il faut également veiller à ne pas se retrouver dans un appauvrissement architectural : en effet, comme expliqué, le mieux est de travailler des formes peu complexes. Il ne faut donc pas tomber dans la monotonie et il revient à l'architecte d'être ingénieux dans les mises en formes qu'il peut offrir. Limiter les ouvertures pour diminuer les zones de fuite est également conseillé. Ce n'est cependant pas viable de vivre dans un bunker. L'architecte peut donc rechercher le juste milieu et trouver le meilleur compromis entre quantité de fenêtres et points faibles électromagnétiques.

2.6. L'aménagement intérieur

Le gros œuvre est à présent terminé. Ce n'est pourtant pas pour cette raison que le bâtiment est vraiment habitable :

« L'architecture vit souvent de l'intérieur, elle n'existe pas s'il n'y a pas d'accessoires, d'aménagement »

(FOLVILLE, 2017).

En effet, les occupants vont s'approprier l'espace afin de s'y sentir le mieux possible. Ils vont par exemple y apporter une série d'appareils électriques qui faciliteront leur quotidien. Ils choisissent également les revêtements muraux, les parois, ... Il va également de soi qu'il y a un besoin crucial de mobilier. L'architecte peut assister son client dans ces différentes tâches lorsque ce dernier a des revendications au niveau électromagnétique. En effet, tous ces aménagements peuvent être réfléchis afin de se protéger des rayonnements, afin d'éviter des piratages de données,... (CHIDE, 2015) Il faut savoir que nous passons plus de 80% de notre temps dans un environnement bâti (DURALEX PEINTURES, s.d., p.2). Il est donc indispensable que ce dernier soit aménagé au mieux. Des expériences ont été réalisées pour connaître la proportion des ondes reçues sur toute une journée (BBEMG, 2016). Il est possible de constater que les tâches ménagères, le travail en bureau occupent une part non négligeable des rayonnements auxquels nous sommes soumis.

Dans ce chapitre, les appareils électriques, la finition des parois et le mobilier sont abordés et réfléchis en fonction des ondes électromagnétiques. Ils permettent en effet de les limiter ou de les accentuer en agissant sur ces différents paramètres dans l'**AMÉNAGEMENT INTÉRIEUR**.

2.6.1. Les appareils électriques

Les différents appareils électriques insérés dans les habitations émettent des rayonnements de basses fréquences. En effet, leur fonctionnement est directement lié au réseau de distribution. Ce dernier est alimenté en courant électrique qui est de basse fréquence (OMS^a, 2014).

Remarque : Certaines confusions peuvent apparaître avec des appareils comme les micro-ondes. Il faut en effet bien faire la distinction entre la source d'énergie qui va faire fonctionner l'appareil [le courant électrique et donc de la basse fréquence] et l'utilité de l'objet. Dans ce cas-ci, le micro-onde va émettre, comme son nom l'indique, des micro-ondes qui vont permettre de réchauffer les aliments. Ces ondes sont dans le domaine des hautes fréquences et ont été générées par différents processus de transformation de l'électricité. Les rayonnements ne peuvent sortir de l'enveloppe de l'appareil car ils sont dangereux pour la santé. Il n'y a donc que les champs issus du courant de distribution qui vont se retrouver dans notre environnement.

Les bâtiments sont de plus en plus envahis par toutes ces technologies, que ce soit les appareils électroménagers ou encore la domotique* très tendance aujourd'hui. Les occupants se trouvent donc baignés dans un flux électromagnétique constant.

Tout d'abord, les **appareils électroménagers** font partie intégrante de notre vie. Ils sont partout ! Le tableau ci-contre reprend, à titre d'exemple, les principaux ainsi que les champs qu'ils émettent [Fig 74]. Plusieurs éléments sont à constater. Premièrement, comme déjà évoqué, la distance joue un rôle primordial. Plus on se tient écarté de l'objet, moins les rayonnements seront importants (OMS^a, 2014). Deuxièmement, certaines machines possèdent de grandes fourchettes au niveau des champs émis. Il s'agit, par exemple, du champ magnétique du rasoir électrique. Cette grande différence vient essentiellement de la conception et de la fabrication de l'appareil (OMS^a, 2014). Troisièmement, les rayonnements émis sont globalement faibles pour des utilisations à distance normale. En effet, dans une habitation, il y aurait des champs magnétiques de 0,1 μ T en moyenne, pour l'ensemble des appareils se trouvant dans une pièce (OMS^a, 2014). Ce qui est très largement en dessous des normes. Il est également intéressant d'ajouter que ce n'est pas parce que un appareil est éteint qu'il n'émet plus rien (LEDENT, 2015, p.173). En effet, comme déjà expliqué, il existe un champ électrique même si l'appareil ne fonctionne pas quand il est branché sur le secteur. L'idéal pour se protéger est donc de le débrancher ou de s'en éloigner.

Chaque appareil pris individuellement a donc peu d'effet et est, à première vue, totalement inoffensif. Néanmoins, premièrement, il y a rarement, dans une pièce, une seule machine qui émet des ondes. En effet, l'accumulation des différents champs émis ne conduit-elle pas à des grandeurs plus importantes ? Deuxièmement, un autre facteur à mettre en avant est le temps. Une petite exposition de courte durée n'a peut-être aucun effet, par contre, se trouver huit heures non stop à moins de 50 cm de son réveil ne peut-il pas augmenter les risques ?

PIECES	APPAREILS ELEC-TRIQUES	DISTANCE (cm)	CHAMP ELEC-TRIQUE (V/m)	CHAMP MAGNE-TIQUE (μ T)	PIECES	APPAREILS ELEC-TRIQUES	DISTANCE (cm)	CHAMP ELEC-TRIQUE (V/m)	CHAMP MAGNE-TIQUE (μ T)
CUISINE	Grille pain	5		5.25	BUREAU	Photocopieur	10		1 - 1.2
		30	80	0.4		Ordinateur	10		0.5 - 30
		50		0.07			30		< 0.01
	Machine à café	30	60	0.08 - 0.15		Écran d'ordinateur	30		0.05 - 0.2
	Réfrigérateur	30	120	0.01 - 0.25	CHAMBRE	Radio réveil	5		2
		100		< 0.01			30	< 150	0.75
	Four micro-onde	5		17			50		0.25
		30		0.2		Couverture chauffante	0	250	0.3 - 5
		50		0.07			Rasoir électrique	3	< 150
	Lave-vaisselle	30	< 150	0.6 - 3				Sèche-cheveux	5
	Cuisinière électrique	30		0.1 - 0.35	30	80	1		
	Four électrique	30	8	8 - 12	50		0.2		
		100		0.01 - 0.04	SALLE - DE - BAIN	Chauffage électrique par le sol	30	< 150	8 - 12
	Aspirateur	30	50	2 - 20		Chauffage électrique	30	< 150	0.15 - 5
100			0.13 - 2	Onduleur		0		165	
Machine à laver	30	< 150	0.15 - 3			30		2	
	100		0.01 - 0.15			60		0.31	
Sèchoir	30	< 150	0.08 - 0.3	Compteur d'énergie		30	< 150	0.6 - 3.5	
SALON	Télévision	30	60			0	Stéréo	30	180

Fig 74 : Champ électrique et magnétique émis par quelques électroménagers

Ensuite, la **domotique*** dans les habitations est un domaine très à la mode qui ne cesse de croître (SYBELLAS, 2015). Ces infrastructures cherchent à tout contrôler dans les bâtiments. Pour ce faire, elles utilisent généralement le wifi ou les données Bluetooth. Toute la maison peut donc être complètement baignée dans un flux constant, permanent et omniprésent d'ondes électromagnétiques. L'augmentation de la domotique va donc de paire avec l'accroissement des champs électromagnétiques dans les maisons. Ce système n'est évidemment

pas conseillé si on désire s'en protéger. Cependant, des alternatives existent. Par exemple, l'entreprise espagnole Domomob a développé de la domotique mais sans wifi. Ils utilisent le câblage électrique existant pour faire transiter toutes les informations (SYBELLAS, 2015). En procédant de la sorte, les champs liés au wifi sont inexistant. Une source d'ondes électromagnétiques peut donc être supprimée.

Les appareils électriques dans les bâtiments sont donc omniprésents mais pris individuellement, n'engendreraient que peu de risques. Il faut cependant veiller à limiter leur prolifération ainsi que des expositions trop prolongées. De plus, s'en écarter protège déjà grandement ses utilisateurs. L'architecte peut être particulièrement vigilant au niveau de tous les appareils technologiques qu'il pourrait intégrer dans la construction [domotique, complexe de ventilation, chauffage sol,...] afin de ne pas multiplier les sources d'ondes électromagnétiques.

2.6.2. La finition des parois intérieures

Il existe d'autres moyens pour aménager son intérieur en faisant attention aux ondes électromagnétiques. Il s'agit évidemment de tout ce qui est peinture, finition des parois d'une pièce. Pour se protéger de notre environnement électromagnétique, il existe, par exemple, les métasupports, les peintures électromagnétiques et les films agissant comme des cages de Faraday. Ces différents systèmes alternatifs ont l'avantage de pouvoir être mis en œuvre une fois la construction terminée ou lors d'une **rénovation**. De plus, ils sont applicables sur tout type de support (CTP, s.d.). Il est donc possible de se préoccuper des rayonnements électromagnétiques *a posteriori*. Cependant, ces différentes finitions n'ont pas les mêmes performances que les cages de Faraday ou le béton intelligent par exemple.

Tout d'abord, le "métasupport" est une impression électronisante réalisée sur différents supports (CHIDE, 2015). Il s'agit de motifs imprimés sur du papier ou du tissu. Chacun d'entre eux va avoir une action particulière sur une certaine plage de fréquences. Ces motifs seront superposés afin de combiner les effets et ainsi intervenir sur une plus large gamme de rayonnements.

Premièrement, le métapapier a été développé en France par le CTP [Centre Technique du Papier] et ses partenaires [Fig 75] (SUPLY, 2015). Il s'agit d'un papier peint dont les motifs sont imprimés avec de l'encre conductrice (CTP, s.d.). Ce métapapier est capable d'atténuer les ondes GSM à 0.9, 1.8 et 2.1 GHz ainsi que celles issues du wifi qui oscillent à 2.45 et 5.5 GHz. Toutes les autres fréquences peuvent donc quand même traverser le papier peint. Cet aspect est intéressant quand les ondes radios doivent passer par exemple (CHIDE, 2015). Le métapapier possède un facteur d'atténuation de 30 dB s'il est positionné en une couche et de 60 dB s'il est appliqué en deux couches avec un petit vide (CTP, 2010, p.23). Ces performances sont donc bien inférieures à d'autres procédés déjà analysés. Ce papier peint peut également être recouvert par de la peinture, un autre papier peint,... sans que ses performances ne soient altérées.

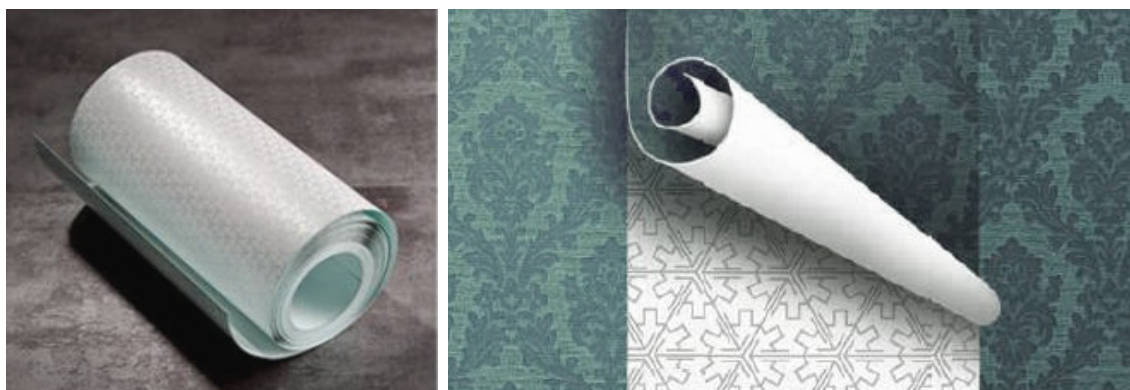


Fig 75 : Métapapier

Deuxièmement, le métatextile a également fait son apparition il y a quelques années [Fig 76]. Le produit "Estompe" a lui aussi été développé par le CTP et ses partenaires et fonctionne sur le même principe que le métapapier. En effet, des motifs sont imprimés sur du tissu grâce à de l'encre à base d'argent (SENF, 2015). Une fois de plus, les différents motifs utilisés atténuent l'une ou l'autre fréquence. Leur superposition permet de couvrir une plus large gamme de rayonnements électromagnétiques (SUPLY, 2015). Il existe deux motifs principaux, comme pour le métapapier : un pour les ondes GSM et un autre pour le wifi (BASSAND, 2015). Le tissu peut être appliqué sur différentes surfaces murales ou être utilisé pour les rideaux,... (OTT, 2015)

Ensuite, il existe également des **peintures** qui ont été étudiées pour atténuer au maximum les ondes électromagnétiques de certaines fréquences. L'entreprise française Duralex a, par exemple, développé une peinture électro conductrice permettant d'atténuer les hautes et basses fréquences (DURALEX PEINTURES, s.d., p.2). Premièrement, la peinture HF est particulièrement efficace de 400 MHz à 7,5 GHz. Les spécialistes parlent de réduction de 95% à partir de 400 MHz et 75% entre 2 et 7,5 GHz lorsqu'une couche est appliquée (DURALEX PEINTURES^a, 2017). Deuxièmement, la peinture BF protège des ondes entre 50 Hz et 16 kHz. Elle est capable d'absorber les champs électriques jusque 99% d'après la firme (DURALEX PEINTURES^b, 2017, p.1).

De manière générale, ces peintures électro-conductrices peuvent être placées sur tout type de support. Elles peuvent également être recouvertes par de la peinture acrylique,...

Pour que ces peintures soient efficaces, il est conseillé de les relier à la terre afin d'évacuer les ondes (DURALEX PEINTURES, s.d., p.9). Elles pourraient être comparées aux parois métalliques elles aussi très conductrices. L'énergie qui a été absorbée doit être évacuée. Mais mettre une peinture à la terre n'est pas vraiment chose évidente. C'est pourquoi Duralex a créé un kit de raccordement avec un ruban conducteur [Fig 78].



Fig 76 : Métatextile

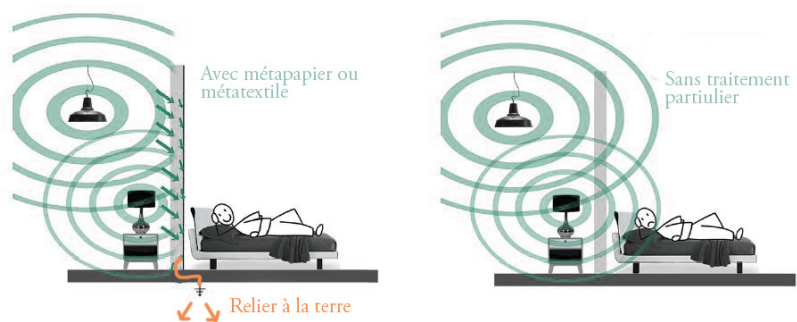


Fig 77 : Intérêt des métrasupports



Fig 78 : Système de mise à la terre

Enfin, une autre alternative en terme de finition est un **film autocollant** en cuivre ou en aluminium [Fig 79-81] à placer sur le mur (HOLLAND SHIELDING SYSTEMS BV, 2018). Cette solution a été développée notamment par la firme néerlandaise Holland Shielding Systems BV. Ces feuilles adhésives sont capables de transformer une pièce en véritable cage blindée. Déjà, à basses fréquences, les facteurs d'atténuation sont importants [Fig 80]. Ce film possède donc d'excellents résultats de protection. De plus, ce dernier peut être placé sur tout type de paroi. Pour éviter les fuites, des recouvrements entre les différentes feuilles sont nécessaires. Il existe également une série d'accessoires pour la ventilation,...

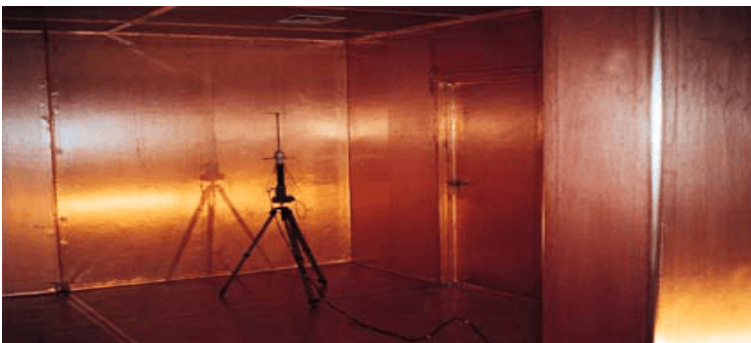


Fig 79 : Système Mu-Cuivre



Fig 81 : Système Amucor en aluminium

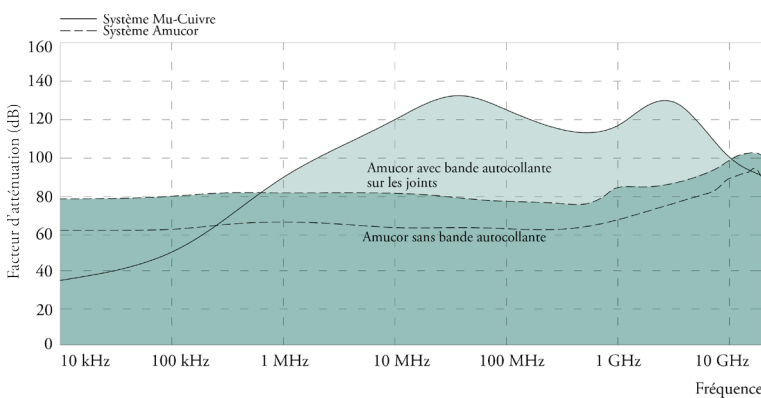


Fig 80 : Influence du facteur d'atténuation en fonction des deux systèmes

	BASSES FREQUENCES	HAUTES FREQUENCES
METASUPPORTS	pas d'effets	atténuées
PEINTURES ELECTRONISANTES	atténuées plus ou moins fortement si peinture reliée à la terre	
FILMS AUTOCOLLANTS	fortement atténuées	

Fig 82 : Résumé des protections électromagnétiques des différents systèmes

L'ensemble de ces solutions comporte évidemment des avantages et des inconvénients.

Premièrement, elles permettent une réflexion à propos des ondes électromagnétiques dans un environnement déjà construit (HOLLAND SHIELDING SYSTEMS BV, 2018). Ce qui est beaucoup plus compliqué à envisager pour les cages de Faraday,... De plus, la mise en œuvre des peintures, papiers peints est de loin plus facile (CTP, 2010, p.23). Cela prend également peu de place dans la pièce et coûte beaucoup moins cher.

Deuxièmement, ces solutions de finition sont capables d'arrêter un certain type de fréquences (SENF, 2015). Ce qui n'est pas le cas des cages de Faraday qui stoppent tout. Cela peut être vu à la fois comme un avantage mais aussi comme un inconvénient. En effet, c'est intéressant quand la recherche de protection face aux ondes est importante mais peut-être pas au point de s'isoler complètement du monde. Les ondes radios par exemple passent encore dans le cas des métasupports. Cependant, certaines personnes peuvent aussi souhaiter se retrouver dans un environnement exempt de tout rayonnement. Il faut donc choisir l'une ou l'autre option.

Troisièmement, en terme d'inconvénients, à l'exception des films, les différentes solutions développées sont beaucoup moins efficaces que les cages de Faraday par exemple. De plus, certaines ne font qu'atténuer les ondes. Une partie peut donc encore passer (SUPLY, 2015). Il faut également rappeler l'importance des raccords afin d'éviter les fuites.

L'architecte peut donc être attentif à ces différents outils et chercher à les intégrer au mieux dans son projet lorsque des demandes particulières ont été formulées. Dans le cas des rénovations, ces différentes solutions peuvent être intéressantes à explorer.

2.6.3. L'aménagement, le mobilier

Il est évidemment indispensable de réfléchir à l'aménagement intérieur du bâtiment. Toutes les dispositions peuvent être prises dès le départ car si l'attention n'est pas aussi portée sur ce dernier, cela pourrait avoir moins d'efficacité face aux ondes électromagnétiques. Par exemple, mettre le lit contre la paroi où se trouve le réfrigérateur n'est pas l'idéal si il est nécessaire de s'isoler des rayonnements [Fig 83]. Il est possible de donner quelques conseils en prenant comme point de départ l'implantation, les matériaux et la forme.

Tout d'abord, en terme d'**implantation**, il faut réfléchir à mettre le plus de distance possible entre les endroits de repos et les infrastructures électriques par exemple (BIRCKNER, 2015). Plus l'éloignement sera important, plus des précautions seront prises pour limiter l'exposition aux champs électromagnétiques [Fig 84].

Ensuite, comme déjà développé, les **matériaux** ont des comportements différents face à l'environnement électromagnétique. Par exemple, dormir à coté d'une table de chevet métallique peut être plus gênant que si elle était en bois. En effet, la première peut devenir une nouvelle source électromagnétique. Il est également possible d'établir des liens avec la matière même du lit [Fig 85-86]. D'autres personnes évoquent aussi la superposition des pièces dans la maison. Par exemple, avoir une chambre au-dessus d'un garage est déconseillé. Ce dernier [comportant souvent beaucoup d'outils métalliques, des voitures,...] peut perturber légèrement l'environnement électromagnétique de la pièce au-dessus qui a peut être justement besoin de stabilité et tranquillité dans le cadre d'une chambre par exemple (BIRCKNER, 2015).

Par ailleurs, au niveau de la **mise en forme** du bâtiment, le bon emplacement du routeur wifi par exemple peut avoir toute son importance si les habitants désirent capter le signal à différents endroits (SIMOTEL, 2015). Le schéma montre par exemple l'influence de la géométrie des murs sur la bonne répartition du réseau [Fig 87]. De plus, comme déjà développé, certains espaces avec des coins, des angles,... sont d'avantage propices

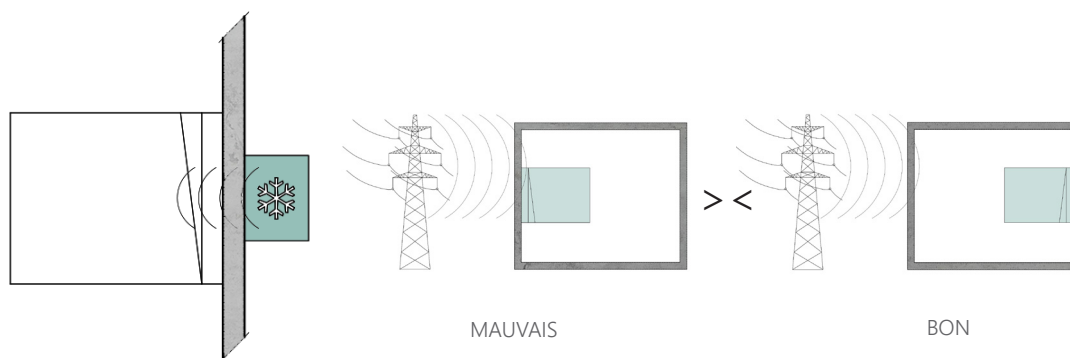


Fig 83 : Mauvais positionnement du lit par rapport aux électromagnétiques Fig 84 : Positionnement du lit par rapport à l'implantation

à des concentrations et perturbations électromagnétiques. Placer le lit dans ces endroits est donc sûrement à éviter. Il faut également réfléchir à l'aménagement en fonction des ouvertures et fenêtres qui constituent des points faibles dans la protection électromagnétique des parois.

Enfin, il faut citer les nombreux appareils électriques qui équipent toute la construction. S'en éloigner au maximum durant les phases de repos ou d'activités prolongées au même endroit est l'idéal. Il ne faut par exemple pas se reposer dans le divan qui est situé juste à côté de l'ordinateur.

Les aménagements ont donc toute leur importance quand les ondes électromagnétiques sont évoquées. Dans la continuité de leur mission, les architectes peuvent donner des conseils pour avoir le plus d'efficacité possible dans la démarche visant à se protéger de l'environnement électromagnétique.

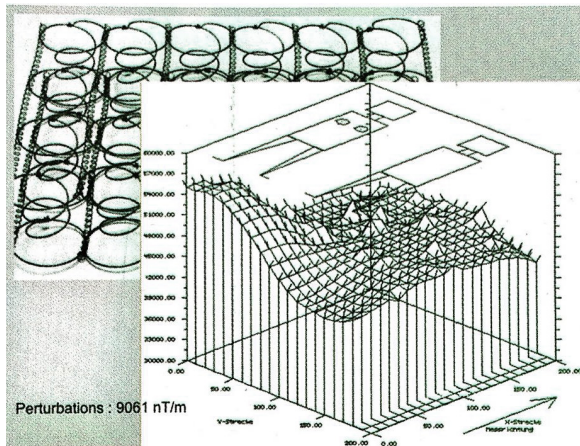


Fig 85 : Champ magnétique sur un matelas à ressort - Perturbation de $9.1 \mu\text{T}$

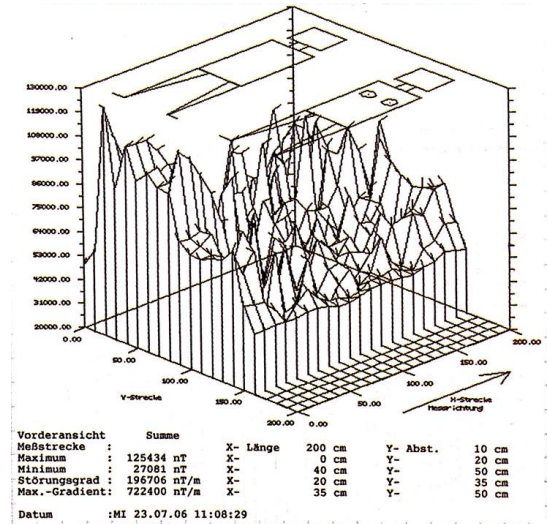


Fig 86 : Champ magnétique sur un matelas contenant des aimants - Perturbation de $196.7 \mu\text{T}$

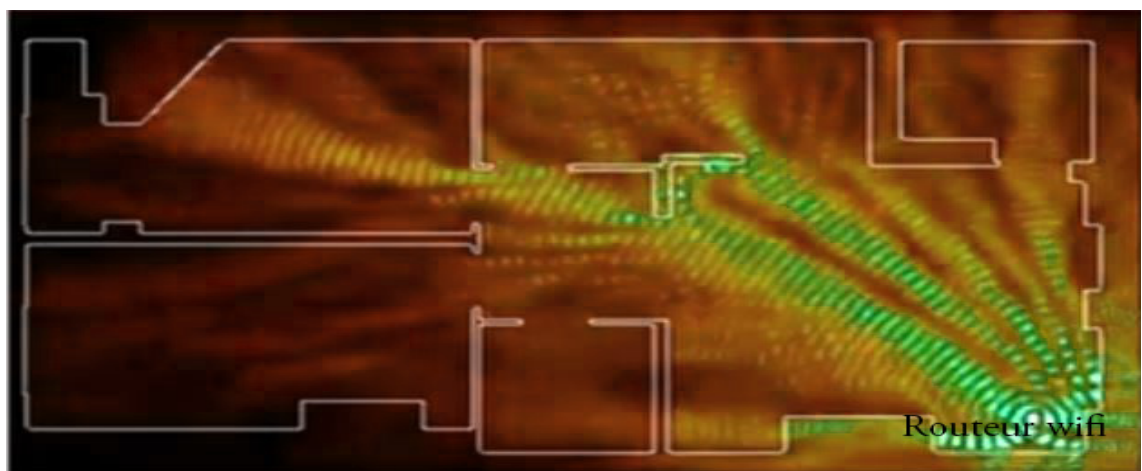


Fig 87 : Influence de la forme sur la position dun routeur wifi

2.6.4. Les appareils anti-ondes

Il arrive parfois que des personnes s'inquiètent subitement à propos des ondes électromagnétiques. Avant d'entreprendre des travaux comme ceux cités précédemment, certains petits détails peuvent déjà aider et faire la différence. Il faut, par exemple, vérifier son installation électrique ainsi que son raccordement à la terre (SANTÉ ET HABITAT, 2009), éviter les chauffages par le sol (LEGAY, 2016, p.114),... L'un des maîtres mots pour la protection face aux ondes est l'**éloignement et la distance** (SANTÉ ET HABITAT, 2009). Plus l'objet émetteur est loin, plus les rayonnements qui nous parviennent seront faibles.

Mais cela se révèle souvent insuffisant pour apaiser leur inquiétude. Les personnes vont donc chercher des alternatives plus faciles et qui leur semblent plus efficaces. Ils vont alors parfois se diriger vers des marchands vendant des appareils anti-ondes. Il s'agit par exemple de housses de protection pour la box Internet, des voiles écrans à disposer contre les fenêtres, des pendentifs captant les mauvaises ondes (LOUPPE, 2018),... Mais est-ce vraiment la bonne solution et la plus durable ?



Fig 88 : Appareils anti-ondes

2.6.5. Conclusion

En conclusion, que ce soit au niveau des équipements électriques, au niveau des finitions intérieures ou encore de l'aménagement à proprement dit, l'architecte a toutes les cartes en mains pour agir ou conseiller le maître d'ouvrage sur les solutions à adopter concernant la propagation des ondes. Les moyens d'action sont variés et il y en a pour tous les goûts et toutes les situations : bâtiment existant ou nouvelle construction, atténuation ou barrage aux ondes, travail sur les murs ou sur l'organisation spatiale, sélection des fréquences à isoler ou pas,... Il existe donc énormément d'opportunités pour se protéger des rayonnements électromagnétiques. Il est possible d'agir au niveau des appareils électriques en les limitant ou en s'en écartant, de travailler sur le traitement des parois grâce à des peintures, papiers peints spéciaux, d'organiser correctement son espace intérieur en fonction des caractéristiques de son environnement.

03

... POUR CONSTRUIRE

3.1. Introduction

Tous ces principes théoriques et ces données techniques peuvent être pris en compte dans le cas où l'architecte est confronté à un électrosensible ou une personne voulant protéger ses données du piratage,... Cependant, cela serait d'autant plus intéressant de voir leur application concrète dans un bâtiment, dans la vie de tous les jours. Il existe des architectes qui ont déjà été confrontés à la question des ondes électromagnétiques. Il s'agit donc d'une occasion pour observer et analyser la manière dont ils ont procédé, quels sont les outils qu'ils ont privilégiés et si possible, pour quelles raisons ?

À travers ce chapitre, différentes architectures sont analysées sous la même structure que le développement du TFE, c'est-à-dire, l'étude de l'implantation, des matériaux, des formes et de l'aménagement.

3.2. Méthodologie

Le fait d'amener des exemples concrets d'architectures actuelles va permettre de comprendre d'avantage les différents outils développés et analysés dans les chapitres précédents. Il s'agit donc de montrer l'application de ceux-ci dans des constructions réelles. Ils vont offrir la possibilité d'ouvrir les yeux sur la réalité de la construction. Les volontés spécifiques des maîtres d'ouvrage à propos de l'environnement électromagnétique doivent être respectées au mieux, mais comment les architectes vont-ils les traduire concrètement ?

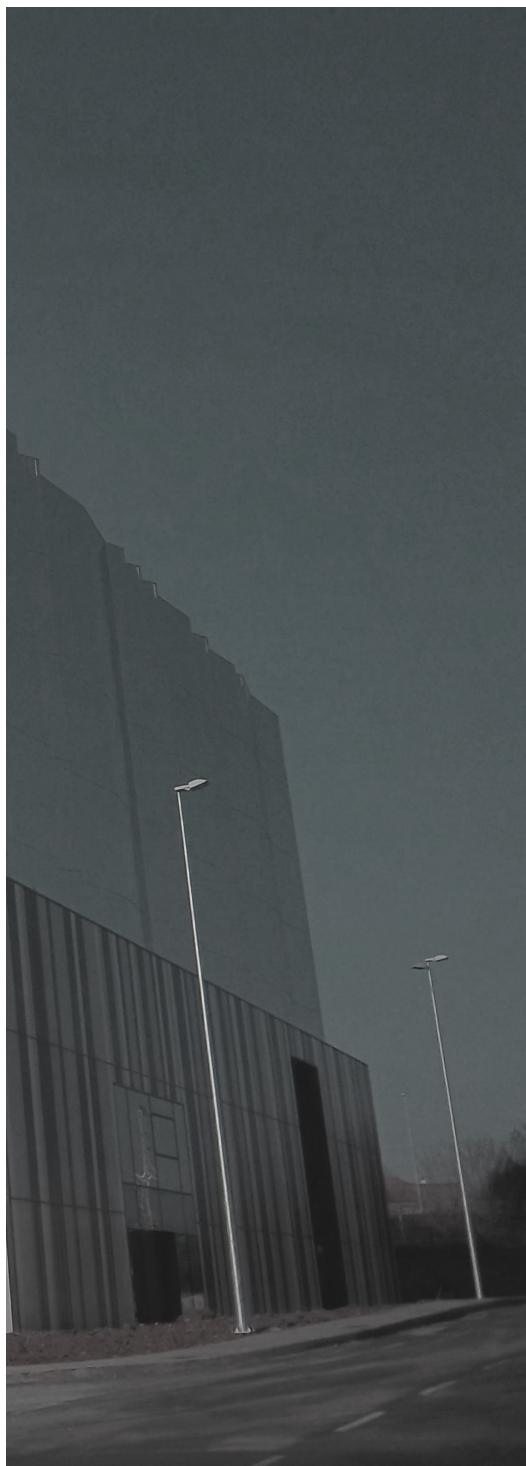
Pour développer ces différents exemples, j'ai tout d'abord d'effectué une première recherche dans différents articles (CORDIER, 2014) (JOCHEM, 2014) (RUPRECHT, 2013). Cela permet de découvrir les différents projets qui abordent la question des ondes électromagnétiques ainsi que de comprendre globalement leurs préoccupations et options retenues. Ces premières investigations ont été effectuées par méthode exploratoire car aucune liste ne semble reprendre l'ensemble des projets ayant fait l'objet d'une réflexion particulière sur l'environnement électromagnétique. Elles ont donc également permis de dégager les architectes qui ont déjà travaillé dans le domaine. Il s'agit tout d'abord du bâtiment **High Voltage Laboratory Artech** édifié par le groupe ACXT Architects (ARTECHGROUP, 2013). Ensuite, le **Sydney nanoscience hub** de Architectus a également dû solutionner des problèmes d'ordre électromagnétique (ROSS, 2016). Par ailleurs, une approche particulière menée par Andreas Zimmermann a conduit à l'élaboration de la **MCS Gerechtes Wohnhaus** (CORDIER, 2014). Enfin, un petit clin d'œil sera fait à Steve Tyler, ce gérant d'un bar anglais **Gin Tub** un peu particulier (BBC, 2016). Ces différents projets ont donc été découverts par le biais des recherches menées.

Au travers des différents articles, tout n'était pas toujours très clair ou bien expliqué. C'est pourquoi, en complément, des contacts ont été pris avec les architectes concernés afin d'obtenir, si nécessaire, de plus amples informations techniques. Au vu de la localisation des différents projets, Espagne, Australie,... , il n'a pas été possible de se rendre sur place afin d'interroger les architectes et/ou occupants des lieux. Pour cette raison, des mails et questions ont été échangés avec les architectes afin d'obtenir des réponses aux questions posées durant la lecture des articles. Certains ont répondu, d'autres pas ...

Afin de rester dans l'objet du TFE, ces différents projets seront analysés essentiellement sous leurs aspects électromagnétiques. Certaines des spécificités du bâtiment n'ont donc pas toutes été reprises lorsqu'elles sortaient de ce cadre. De plus, lorsque les informations manquaient et que les questionnaires envoyés aux architectes n'ont pas connu de suite, l'analyse plus approfondie des projets a dû être abandonnée. Il s'agit en particulier du bâtiment Trafag Sensors & Controls AG pour lequel trop peu d'informations ont été récoltées à ce jour.

3.3. High voltage laboratory Artèche





Le bâtiment **HIGH VOLTAGE LABORATORY** est, comme son nom l'indique, un laboratoire pour tester des transformateurs diélectriques à haute tension. Il s'agit de l'un des plus grands existant en Europe (ARTECHEGROUP, 2013). Cet édifice a été commandé par le groupe Artèche, entreprise spécialisée dans les équipements et infrastructures électriques (ARTECHE, 2018). **ACXT Architects** a été contacté pour réaliser le travail. Ce bureau espagnol, avec de nombreuses succursales un peu partout dans le monde, possède beaucoup d'expériences au niveau technologique et dans l'ingénierie. En effet, bon nombre des projets qu'ils ont réalisés leur ont été confiés pour ces raisons (IDOM, 2018). La construction a été achevée en 2013 et est localisée à Mungia, en Espagne.

Les commanditaires recherchaient un lieu de grande dimension où ils pourraient réaliser tous leurs tests. Leurs appareils sont mis sous des tensions énormes et vont donc émettre des champs électriques très intenses, ce qui est potentiellement très dangereux. Comme déjà expliqué précédemment, la tension et le champ électrique sont liés : plus la tension augmente, plus le champ électrique sera important. À titre d'illustration, la plupart des appareils électriques domestiques fonctionnent avec du 220 V et vont donc émettre des champs d'environ 60V/m pour les plus communs. Mais dans le cas des expériences menées par Artèche, ils parlent de tensions de minimum 1 500 000 V (DECONS NET, 2017). Il est donc facile d'imaginer le champ qui peut en résulter. C'est pourquoi, pour protéger les occupants, des dispositions architecturales ont été prises au niveau des ondes électromagnétiques. De plus, les résultats obtenus ne doivent pas être influencés par l'environnement électromagnétique extérieur.

Pour reprendre la structure du TFE, il est intéressant d'analyser l'implantation, les matériaux, les formes et l'aménagement de ce bâtiment. Comment ces différents outils ont-ils été exploités pour construire ce laboratoire un peu particulier ?

3.3.1. L'implantation

La réflexion à propos de l'implantation vis-à-vis des ondes électromagnétiques présentes sur le site n'a été que très sommaire. Le client l'a en effet désigné parmi les parcelles industrielles qu'il possédait. Cependant, force est de constater qu'il n'y a aucune ligne haute tension, antennes relais,... à proximité (JOSE SANCHEZ AGUILAR, 2018). Ce qui constitue un avantage pour éviter toute fluctuation trop importante de l'environnement électromagnétique qui perturberait les expériences [Fig 89].



Fig 89 : Implantation du High voltage laboratory Arteche

3.3.2. Les matériaux

Pour la précision des résultats ainsi que la protection des travailleurs, la solution de la cage de Faraday a été retenue (ACXT ARCHITECTS, 2014). Elle ne laisse rien passer, ce qui est un argument de taille lorsque les expériences sont effectuées à de telles tensions (ARQUITECTURAVIVA SL, 2015). Cette cage est évidemment composée de matériaux très conducteurs, de l'acier galvanisé, relié à la terre (JOSE SANCHEZ AGUILAR, 2018). Le champ absorbé par l'acier est donc directement dirigé vers le sol. La peau utile de la cage se situe à l'intérieur de l'édifice. Après cette face, les couches se succèdent : isolation thermique, structure métallique [Fig 90],... Les plateaux d'acier galvanisé ont été soudés l'un à l'autre. Chacun d'entre eux possède des renforcements en acier inoxydable tous les 50 cm (JOSE SANCHEZ AGUILAR, 2018). Toutes les parois de la pièce ont été imaginées et conçues de cette façon afin de constituer la cage de Faraday et donc stopper au maximum les champs électromagnétiques.

Ensuite, la façade a été construite en panneaux d'acier inoxydable poli [Fig 92]. Premièrement, l'acier inoxydable joue un rôle supplémentaire vis-à-vis de la cage de Faraday. En effet, il est également relié à la terre, indépendamment de la cage, pour supprimer tout champ extérieur ou éventuellement résiduaire des laboratoires en cas de fuites (JOSE SANCHEZ AGUILAR, 2018). Deuxièmement, il s'agit d'un métal poli pour des raisons essentiellement esthétiques. En effet, il va refléter l'environnement extérieur afin de se fondre au mieux dans le paysage et atténuer l'imposante masse du volume [Fig 93] (ARQUITECTURAVIVA SL, 2015).

En ce qui concerne les principaux matériaux utilisés pour agir contre la propagation des ondes électromagnétiques, les architectes ont donc essentiellement opté pour l'acier galvanisé et l'acier inoxydable.

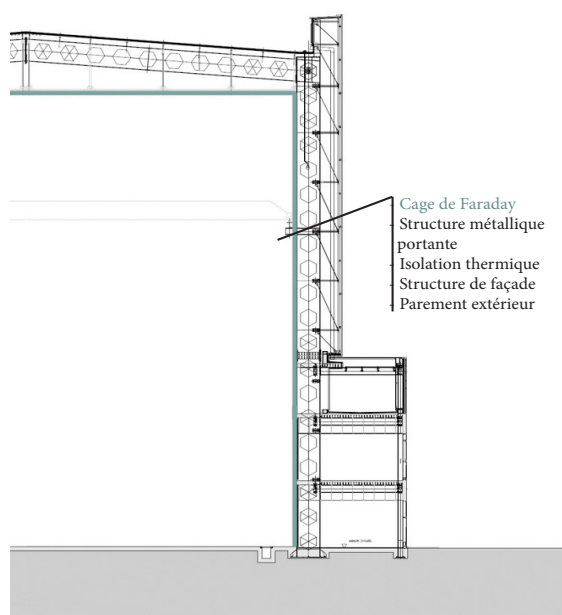


Fig 90 : Détail de l'enveloppe extérieure

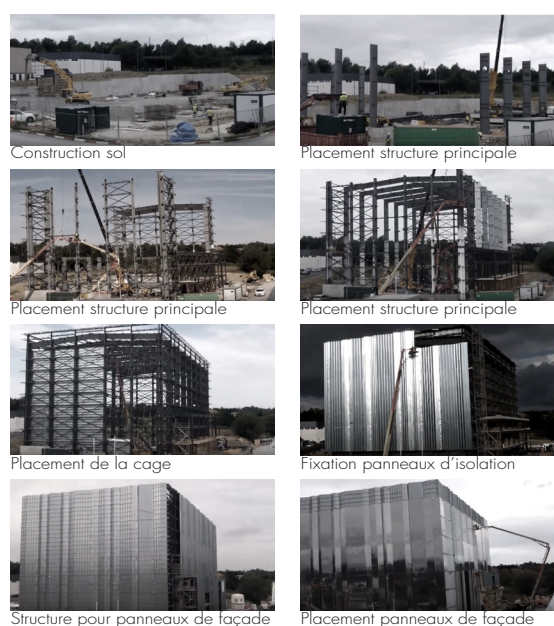


Fig 91 : Etapes de la construction

Enfin, il est possible de constater qu'il y a très peu d'ouvertures dans la cage étant donné le point faible qu'elles constituent dans la paroi. Il n'y en a aucune qui donne vers l'extérieur, cependant, il était indispensable pour les chercheurs d'avoir des vues vers le laboratoire tout en étant protégé des rayonnements. C'est pourquoi, les fenêtres intérieures ont été conçues en leur ajoutant un grillage en acier galvanisé d'une maille de 50x50 mm [Fig 94] (JOSE SANCHEZ AGUILAR, 2018).

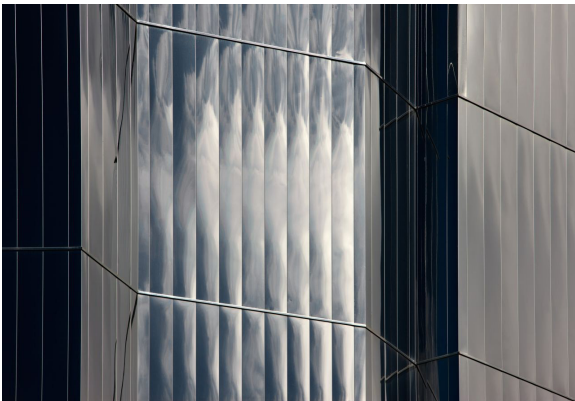


Fig 92 : Acier inoxydable poli de la façade



Fig 93 : Reflet de l'environnement grâce à la façade



Fig 94 : Salle d'observation - fenêtres avec un grillage

3.3.3. La mise en forme globale

Tout d'abord, en ce qui concerne la mise en forme globale de l'édifice, elle a été premièrement réfléchi pour éviter toute concentration d'ondes. Ce volume rectangulaire interne assure ainsi une bonne répartition des rayonnements dans tout le hall afin de ne pas trop perturber les résultats obtenus [Fig 95]. De plus, les panneaux de la cage ont été soudés entre eux. Cela permet d'éviter les bords indésirables qui auraient été présents en cas de recouvrements des tôles,... La surface intérieure est donc extrêmement plate (JOSE SANCHEZ AGUILAR, 2018). Par ailleurs, pour éviter toute perturbation supplémentaire, le volume des salles de réunion et observation a été rejeté en dehors du corps principal du laboratoire. Deuxièmement, l'allure extérieure de l'enveloppe a été particulièrement étudiée. Les plis présents ont une vocation principalement esthétique pour refléter le contexte environnant et favoriser son intégration dans le milieu [Fig 96]. De plus, ces vibrations font référence au rythme des impulsions électriques (ACXT ARCHITECTS, 2014). Il faut cependant remarquer que toutes ces ondulations vont provoquer des réflexions diffuses dans l'environnement. La direction des ondes renvoyées vers les bâtiments voisins est donc imprévisible [Fig 97].

Ensuite, comme déjà expliqué, les ouvertures peuvent avoir des influences considérables sur la répartition des ondes électromagnétiques. Dans ce cas-ci, celles réalisées entre le laboratoire et les salles d'observation ne constituent pas un problème à part entière. En effet, les matériaux utilisés, le verre recouvert d'un grillage en acier, suffisent amplement pour empêcher le passage des ondes d'une pièce à l'autre.

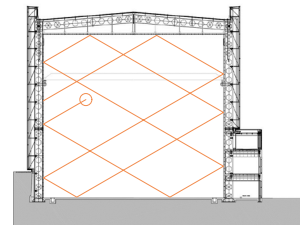
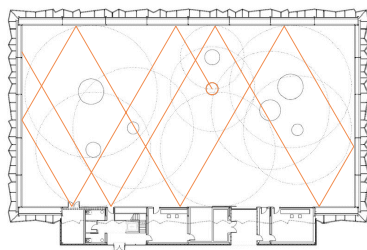


Fig 95 : Uniformité des réflexions des ondes



Fig 96 : Structure métallique de la façade



Fig 97 : Réflexions diffuses dans l'environnement

3.3.4. L'aménagement intérieur

Dans le cas du bâtiment High Voltage Laboratory, l'aménagement n'a occupé que le second plan de la conception. A part la nette distinction entre le laboratoire et les salles d'observations [Fig 98], peu de dispositions ont été prises vis-à-vis de l'arrangement et l'agencement. Les matériaux et la forme sont apparemment amplement suffisants pour gérer les ondes électromagnétiques.

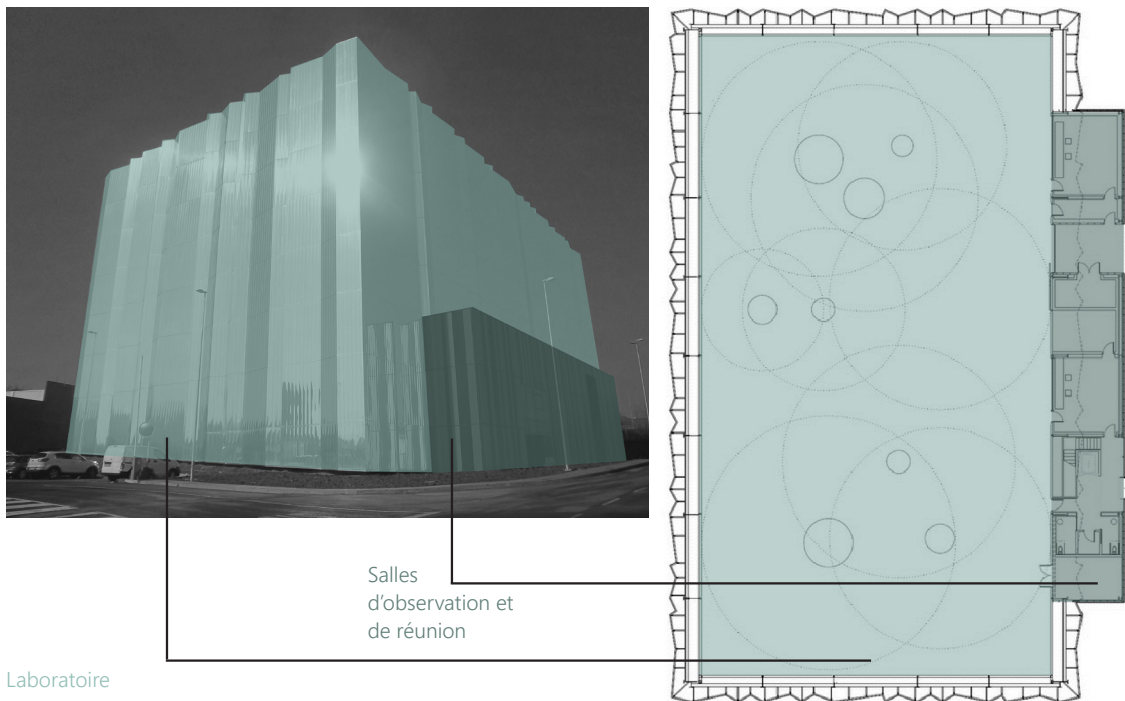


Fig 98 : Organisation fonctionnelle intérieure

3.3.5. Conclusion

Ce bâtiment espagnol semble d'avantage chercher des solutions au niveau des matériaux et de la forme pour protéger les travailleurs et chercheurs des émissions importantes occasionnées par les tests des transformateurs à haute tension. La cage de Faraday, l'acier galvanisé et inoxydable ainsi que le volume simple et épuré intérieur, semblent constituer les maîtres mots qui résument l'intervention et le projet des architectes dans cet environnement électromagnétique.



Fig 99 : Vue intérieure du laboratoire où les transformateurs sont prêts à être testés

3.4. MCS Gerechtes Wohnhaus





« Aujourd'hui, cet immeuble symbolise notre sortie de l'invisibilité »

(CORDIER, 2014)

« Der Markt scheut Experimente und erfüllt nicht alle Wohnbedürfnisse. Dafür braucht es Selbsthilfe, aber auch private und öffentliche Unterstützung¹. »

(WOHNBAUGENOSSENSCHAFT, 2011, p.2).

Ces citations illustrent que le bâtiment **MCS GERECHTES WOHNHAUS** a été conçu dans une optique tout à fait différente des autres édifices analysés. Dans ce cas-ci, la fonction scientifique, de recherche n'est pas du tout abordée. Et pour cause, il s'agit d'une série d'appartements pour EHS et MCS. En effet, les différents logements ont été spécialement imaginés pour des ElectroHyperSensibles et des personnes Sensibles aux agents Chimiques Multiples. Ces dernières souffrent de douleurs, démangeaisons cutanées,... lorsqu'elles sont en présence de substances trop odorantes, d'additifs,... (WOHNBAUGENOSSENSCHAFT, 2011, p.5) Ce bâtiment crée donc le lien entre les problèmes liés aux ondes électromagnétiques et les préoccupations "écologiques" de ces personnes.

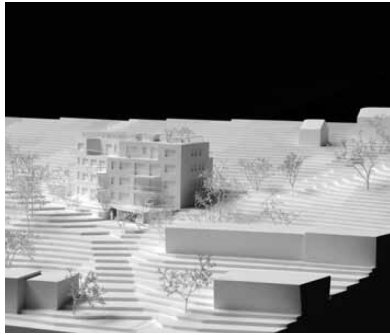
1 - Le marché craint des expériences et ne remplit pas tous les besoins d'habitation. Pour cela, il y a un besoin d'effort personnel, mais aussi le soutien privé et public. - Traduction personnelle

L'immeuble comporte quinze appartements et est actuellement complet. Ses occupants ont dû être sélectionnés sur base de nombreux critères tant les demandes pour ce type de logement semblent importantes (CORDIER, 2014). De plus, la MCS Gerechtes Wohnhaus constitue un projet pilote unique en Europe (STADT ZURICH, 2018). L'association *Gesundes Leben und Wohnen* menée par Christian Schifferle, EHS et souffrant de MCS, est à l'initiative du projet et cherche à répondre à toutes ces demandes en tentant de rassembler des fonds pour ériger de nouveaux bâtiments du même type (SCHIFFERLE, s.d.).

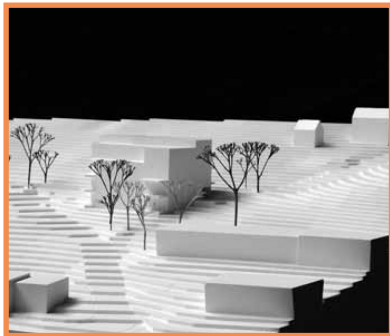
Les mérites de l'élaboration de cette construction peu commune reviennent au bureau suisse **Andreas Zimmermann Architekten AG**. Leur projet a été sélectionné parmi cinq autres [Fig 100] (STADT ZURICH, 2010). Les principaux critères de leur sélection ont été leur prix plus attractif que leurs concurrents ainsi que le principe de l'oignon qui sera développé un peu plus loin (WALPEN, 2010). La complexité de la demande a conduit les architectes à s'associer à une série de spécialistes en ondes électromagnétiques. Ils ont par exemple travaillé avec l'entreprise *Mensch und Technik* qui a apporté un soutien technique aux architectes (MENSCH TECHNIK, 2018).

L'édifice, situé dans un petit village proche de Zurich en Suisse, a été terminé avec succès en 2013.

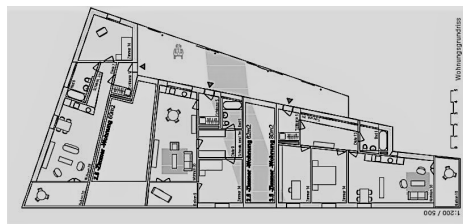
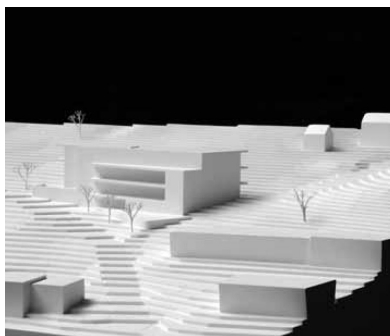
Cet immeuble devait remplir beaucoup de critères afin de correspondre au mieux à ses habitants. Les aspects concernant l'implantation, les matériaux et l'aménagement ont été particulièrement développés.



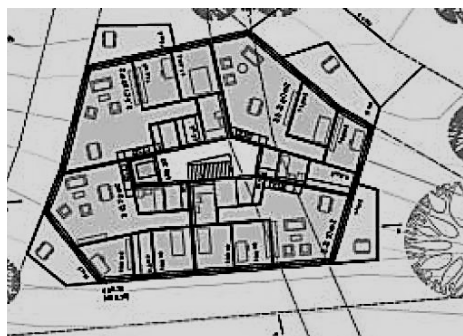
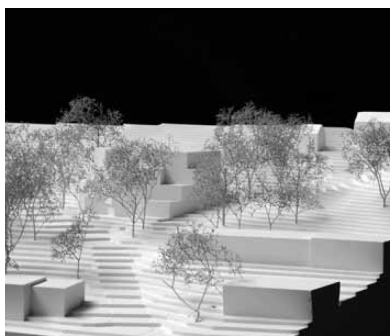
Architectes :
G. + A Pfister



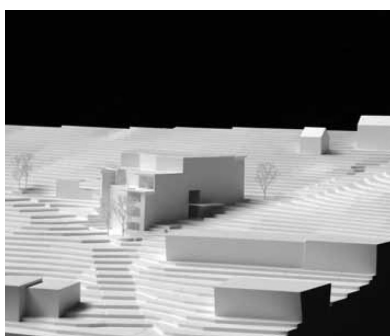
Architectes :
**Andreas
Zimmermann
Architekten AG**



Architectes :
**Roland Hüser
& Stefan Schmid
GmbH**



Architectes :
bhend.klammer



Architectes :
**Oikos & Partner
GmbH**

Fig 100 : Projets présentés au concours

3.4.1. L'implantation

L'implantation et surtout le futur terrain devant recevoir l'immeuble ont été longuement étudiés. En effet, dès le début, il s'agissait d'analyser notamment l'environnement électromagnétique. Moins d'ondes il y avait au départ, moins les habitants auraient de risque d'y être exposés dans leur appartement.

Au départ, trois terrains pouvaient prétendre au titre de futur implantation pour la MCS Gerechtes Wohnhaus [Fig 101] (STADT ZURICH^b,2013). Le site sur les hauteurs du petit quartier de Leimbach a été retenu pour diverses raisons [Fig 102].

Tout d'abord, la **montagne** toute proche confère un cadre protecteur électromagnétiquement à la parcelle [Fig 103] (CORDIER, 2014). En effet, comme déjà expliqué, le relief permet de stopper certaines ondes, essentiellement les basses fréquences.

Ensuite, le fait de se positionner sur les hauteurs permet de surplomber toutes les ondes qui sont émises depuis le **village** (CORDIER, 2014). Cela

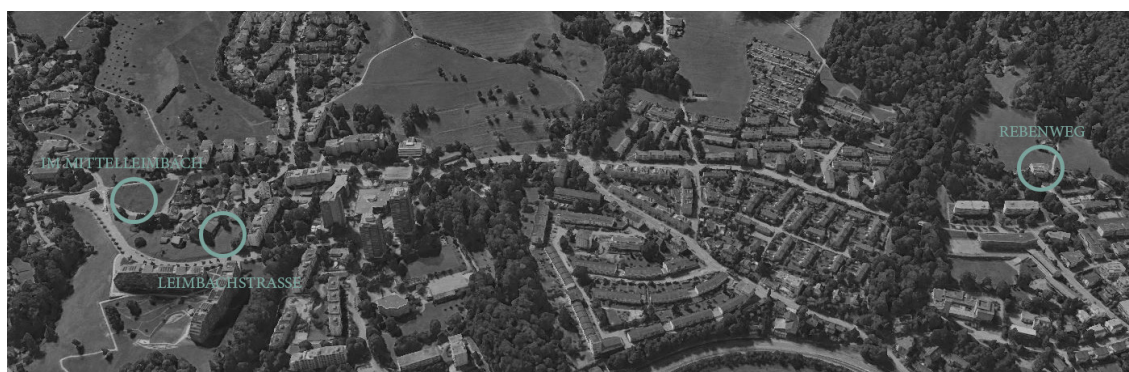


Fig 101 : Terrains potentiels pour construire



Fig 102 : Implantation du bâtiment - Rebenweg

est d'avantage renforcé par l'éloignement qu'il existe par rapport à ce dernier. La distance entre l'édifice et les sources électromagnétiques est en effet l'un des principes fondamentaux pour justement s'en protéger.

Par ailleurs, la proximité de la **forêt** permet d'atténuer les rayonnements électromagnétiques [Fig 104]. La propagation des ondes est en effet perturbée par la succession d'obstacles constitués par les arbres.

De plus, aucune **antenne relais, ligne à haute tension**,... n'est à recenser à proximité du site. La pollution électromagnétique extérieure est donc fortement limitée (STADT ZURICH, 2010).

Enfin, pour répondre aux volontés des personnes souffrant des MCS, la **qualité de l'air** devait être irréprochable (WALPEN, 2010). L'environnement ne devait en aucun cas être pollué.

Toutes ces caractéristiques ont permis de mettre en avant le terrain Rebenweg. Il semblait être le meilleur compromis pour satisfaire un maximum les futurs occupants de la MCS Gerechtes Wohnhaus.

La ville de Zurich a trouvé et offert le terrain à l'association. Pour cette dernière et pour les habitants, il s'agissait d'un début de reconnaissance de leur maladie vis-à-vis des autorités (CORDIER, 2014) ...



Fig 103 : Coupe topographique aux alentours du bâtiment



Fig 104 : Importance de la végétation dans l'environnement proche

3.4.2. Les matériaux

Le choix des matériaux a été crucial dans l'élaboration du projet. Il fallait répondre à la fois aux revendications relatives aux ondes électromagnétiques pour les EHS mais également gérer les odeurs, le côté écologique pour les personnes souffrant des MCS et ne surtout pas avoir de contradictions entre les deux.

Tout d'abord, Les architectes se sont attardés sur les **ELECTROHYPERSENSIBLES**. Pour protéger les habitants de leur environnement électromagnétique, les architectes et leurs partenaires n'ont pas opté, comme dans les autres cas, pour une cage de Faraday (ZIMMERMANN, 2018). La protection vis-à-vis des ondes électromagnétiques n'est donc pas absolue. Certaines fréquences peuvent donc entrer ou sortir du bâtiment. Enfermer les EHS dans une cage de Faraday les aurait sûrement trop coupé du monde extérieur : pas de GSM, de radios, de signal internet,... Les concepteurs ont donc travaillé avec une série de matériaux spécifiques pour construire et mettre sur pied l'immeuble en respectant les volontés des différentes parties.

Premièrement, pour ériger l'enveloppe porteuse, les architectes ont souhaité employer le béton. Pour assurer sa résistance, ce matériau ne se suffit pas à lui-même. Généralement, des armatures métalliques sont ajoutées. Mais ces dernières sont très conductrices et auraient donc modifié les champs magnétiques existants, ce qui n'est pas du tout l'idéal pour un EHS. La solution alternative a été de remplacer ces armatures métalliques par des fibres de verre, électromagnétiquement beaucoup plus neutres [Fig 105-106]. Elles sont certes plus chères mais ne conduisent pas, ou presque pas le courant et les ondes (SCHOCK BAUTEILE AG, 2018). Le **béton renforcé par des armatures en fibre de verre** a donc été employé dans les éléments porteurs de l'immeuble. Deuxièmement, pour compléter l'action de protection vis-à-vis des ondes issues de l'environnement, un **tissu absorbant** a été placé entre l'isolation thermique et l'enduit extérieur [Fig 107-108] (ZIMMERMANN, 2018). Ce tissu sert évidemment à atténuer les rayonnements électromagnétiques mais permet également de jouer un rôle de renfort pour la couche de finition (STO AG, 2018). Il s'agit en fait de fils métalliques tissés enduits d'un revêtement spécial conducteur. Ce tissu est à relier à la terre pour évacuer toutes les ondes captées. Il devait se

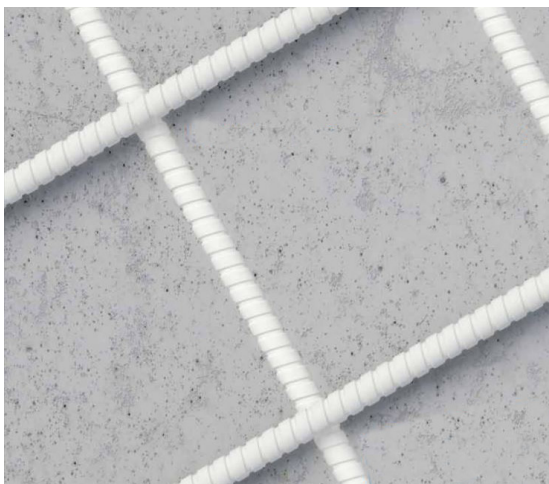


Fig 105 : Armatures en fibres de verre

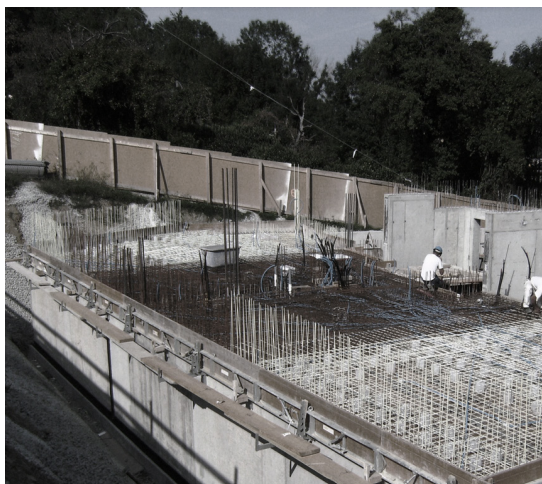


Fig 106 : Placement des armatures en fibres de verre

trouver impérativement sur toutes les façades du bâtiment afin d'avoir une efficacité la plus optimale possible. Il offre des atténuations de minimum 99% dans les hautes fréquences allant de 6MHz à 10GHz. Ce produit réduit également les champs électriques basse fréquence des lignes à haute tension,... (STO AG, s.d., p.3) Pour éviter toute fuite, les raccordements entre deux bandes doivent posséder un recouvrement de minimum 10 cm. La réalisation des détails est très importante [Fig 109].

Les parois verticales du bâtiment offrent donc à présent une relativement bonne protection face aux ondes électromagnétiques.

Troisièmement, les sols et planchers rencontrent également une réflexion particulière. En plus des fibres de verre dans la dalle de béton, un tissu, **filet** a été disposé avant la surface de finition pour atténuer les champs magnétiques de pointe [Fig 110-111] (ZIMMERMANN, 2018). Les effets de distorsion du champ vont donc être réduits, ce qui sera plus viable pour les EHS (MENSCH TECHNIK, s.d.). Ce filet peut également être incorporé dans la chape ou n'être posé qu'aux endroits où il est vraiment nécessaire : par exemple sous le lit, sous le tapis où se trouve le divan,... Cela permet de réaliser quelques petites économies.

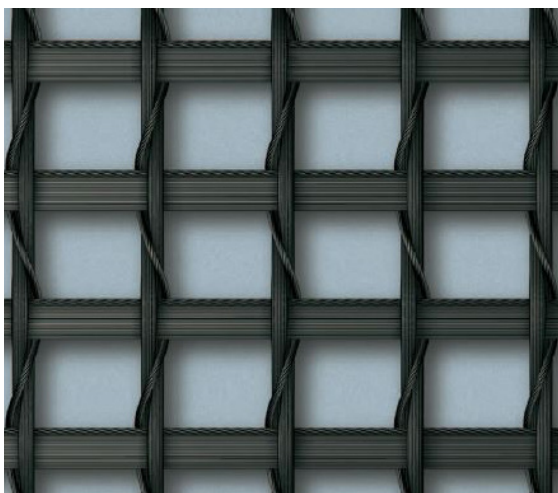


Fig 107 : Tissu absorbant les ondes électromagnétiques

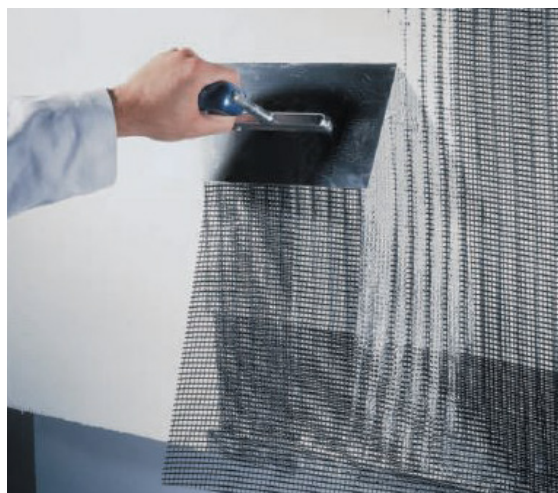


Fig 108 : Placement du tissu absorbant les ondes électromagnétiques entre l'isolation thermique et la finition extérieure

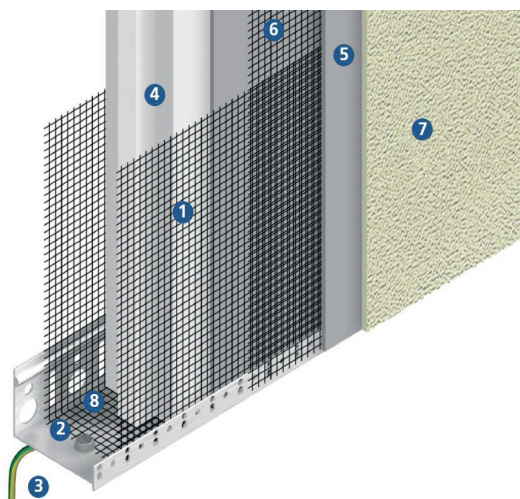
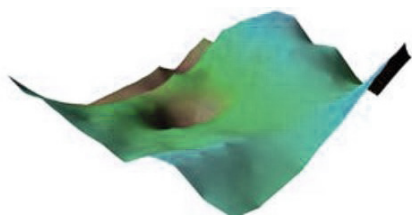
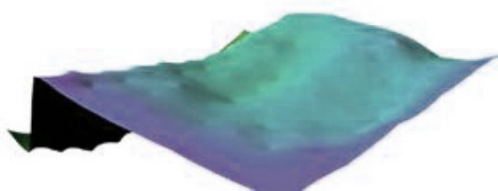


Fig 109 : Détail technique pour le placement du tissu

- 1 - tissu absorbant avec recouvrement de 10 cm
- 2 - parafoudre spécial hautes fréquences
- 3 - connexion du parafoudre
- 4 - panneaux d'isolation thermique
- 5 - Sto elasto = Sous couche pour niveler et préparer le support de l'enduit de façade
- 6 - enrobage du tissu absorbant
- 7 - couche de finition extérieure : dans ce cas-ci : enduit de chaux
- 8 - contact entre tissu absorbant et rail pour être mis à la terre



Champs magnétiques de pointe très importants sans le filet



Champs magnétiques de pointe atténués avec le filet

Fig 110 : Influence du filet sur les champs magnétiques de pointe

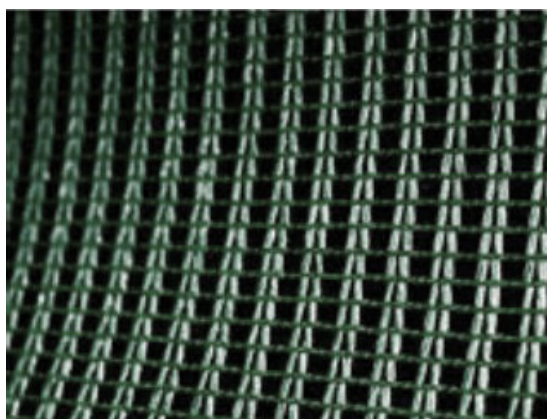


Fig 111 : Filet pour atténuer les champs magnétiques de pointe



Fig 112 : Placement du filet

Quatrièmement, pour définitivement clôturer l'enveloppe extérieure du bâtiment, il reste à évoquer les ouvertures (ZIMMERMANN, 2018). Elles aussi ont été traitées spécifiquement. Les **châssis en PVC** ont été recouverts par une **fine feuille métallique**. Le PVC ne cause en effet aucun problème pour les MCS à l'opposé du bois qui peut dégager des odeurs, qui contient des résines,...(STADT ZURICH⁹,2013). Les rayonnements électromagnétiques sont donc, à ce niveau également, reconduits vers la terre. En ce qui concerne le vitrage employé, les architectes ont décidé de privilégier l'isolation thermique. Le verre est en effet composé d'une feuille d'argent (EUROGLAS GMBH, 2018). Au-delà de cette composition, il est possible de voir l'avantage électromagnétique qu'elle peut éventuellement apporter.

Avec l'utilisation de l'ensemble de ces procédés, les ondes électromagnétiques sont suffisamment atténuées pour que les EHS puissent vivre sainement.

Ensuite, en ce qui concerne les **PERSONNES SENSIBLES AUX AGENTS CHIMIQUES MULTIPLES**, une série d'autres dispositions ont été prises. Le maître mot dans ce cas-ci a été de recourir au maximum à des **matériaux naturels**, exempts de toute odeur ou additif (CORDIER, 2014). C'est pourquoi, la chaux, la pierre, le béton brut,... ont été employés. Le sol, par exemple, a été recouvert de grès, les murs extérieurs enduits de chaux (SIMON, 2014, p.6), les murs intérieurs revêtus de plâtre sans additifs,... Grâce à ces préoccupations constructives, les personnes souffrant de sensibilité aux agents chimiques n'ont pas trop de soucis à se faire.



Fig 113 : Photos du bâtiment et de ses matériaux

Enfin, les matériaux employés sont généralement laissés à l'état brut [Fig 113]. Ils ont été sélectionnés pour des raisons bien particulières et il n'était en rien nécessaire de réitérer le réflexion pour des peintures,... qui auraient pu poser problème aux personnes souffrant de MCS.

3.4.3. La mise en forme globale

Dans ce bâtiment, la préoccupation de la mise en forme n'a été considérée qu'au second plan au niveau électromagnétique. Ce pentagone est issu de la géométrie de la parcelle (ZIMMERMANN, 2018). Il permet également de concentrer au maximum toutes les techniques au centre et laisser la périphérie pour les appartements qui peuvent alors profiter de vues différentes sur les environs.

3.4.4. L'aménagement intérieur

Les nombreux aménagements réalisés dans le bâtiment contribuent à sa viabilité pour les EHS et personnes souffrant de MCS. Une fois de plus, il est possible d'analyser cette organisation distinctement pour une "maladie" et pour l'autre.

Tout d'abord, pour protéger les **EHS**, le principe de base était : plus on se dirige vers la périphérie du bâtiment, plus l'environnement sera sain (ZIMMERMANN, 2010). Les architectes ont donc décidé de rassembler toutes les techniques dans un noyau central de façon à épargner les pièces de vie de tout rayonnement (WOHNBAUGENOSSENSCHAFT, 2011, p.3). Ce **principe de "l'oignon"** leur a valu leur sélection parmi les autres projets. En procédant de la sorte, les installations électriques étaient situées le plus loin possible des pièces de vie, chambres [Fig 114],... De plus, l'un des objectifs était qu'aucun mur attenant aux aires de repos ne contienne d'équipements électriques. (ZIMMERMANN, 2018) Tous les câblages électriques ont également été recouverts d'un revêtement spécial censé arrêter au maximum les ondes. La quantité de prises électriques, véritables sources de champs a également été limitée (CORDIER, 2014).

Ensuite, concernant le côté plus écologique pour les personnes souffrant de **MCS**, des aménagements particuliers ont également été effectués. Encore une fois, le principe général cherchait à être de plus en plus pur au fur et à mesure que les milieux de vie se rapprochaient. C'est pourquoi, à l'entrée de chaque appartement, un **sas** a été prévu afin que les habitants puissent se débarrasser de leurs vêtements trop odorants, trop toxiques (SIMON, 2014, p.6). Cet espace est donc ventilé individuellement du reste. En effet, chaque pièce possède son propre purificateur d'air (CORDIER, 2014). Pour reprendre l'idée du hall d'entrée et de cette évolution vers le plus pur, il est possible de remarquer que la chambre, où le repos est le plus important, occupe la position la plus éloignée tandis que le salon et la cuisine se trouvent en première place [Fig 115] (WALPEN, 2010). Certains habitants ont cependant critiqué la position de la cuisine. En effet, elle est parfois directement liée au salon, ce qui n'est vraiment pas l'idéal pour les personnes souffrant de MCS au niveau des odeurs. Elles vont se répandre un peu partout (WALPEN, 2010).

Il est donc possible de constater que les deux principes sont en parfaites corrélation l'un avec l'autre.
Le centre du bâtiment est considéré comme "pollué" alors que la périphérie est l'endroit où il fait bon vivre.

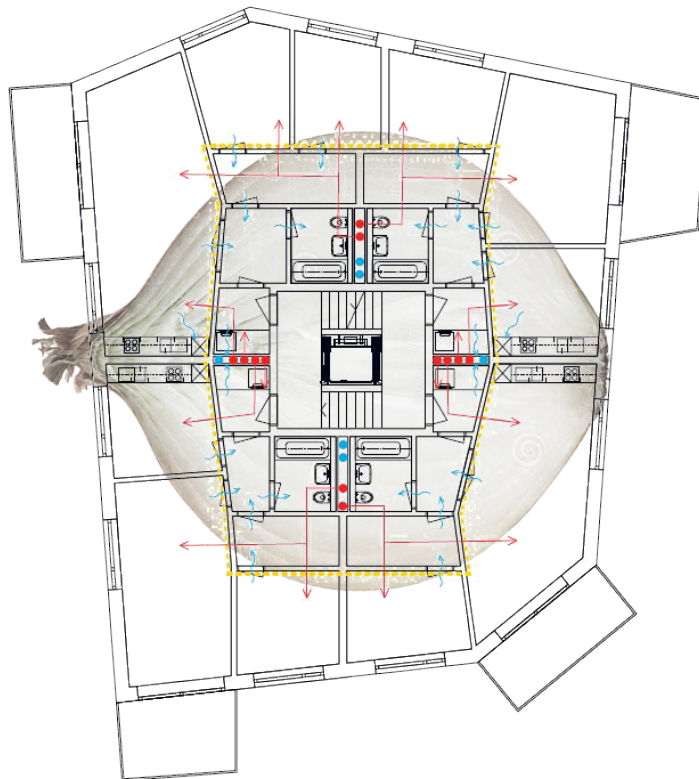


Fig 114 : Principe de l'oignon pour les EHS

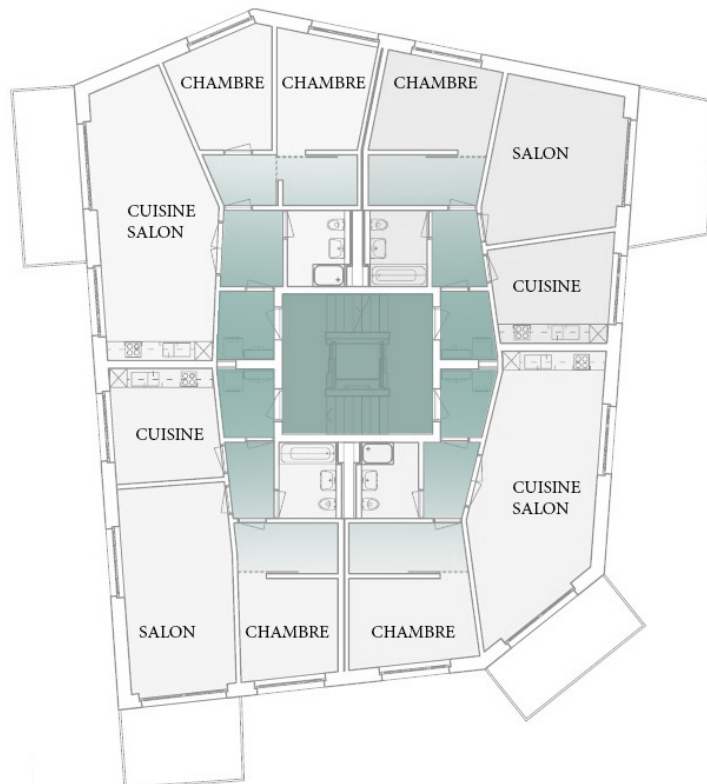


Fig 115 : Principe du plus pur pour les MCS

3.4.5. Conclusion

Les actions menées par les architectes et leurs partenaires sont donc nombreuses et variées. L'absence d'émissions toxiques ainsi que l'"électrobiologie" semblent avoir guidé leur démarche tout au long du processus (SCHOCK BAUTEILE AG, 2018). Tout d'abord, l'implantation a été particulièrement réfléchie afin de ne pas se surcharger de problèmes électromagnétiques dès le départ. Ensuite, beaucoup de recherches ont été effectuées concernant les matériaux. Il a fallu trouver le juste milieu entre aucune onde et le maximum tolérable par les EHS dans l'environnement intérieur. Le côté écologique, inodore des matières était aussi un critère de choix indispensable. Enfin, l'aménagement a occupé une place prépondérante dans la conception du projet. Plus on se dirige vers la périphérie du bâtiment, plus l'environnement sera sain.

Un aspect intéressant à soulever lorsqu'un tel édifice est analysé est le coût. En effet, avec toutes ces technologies, matériaux, organisations, le prix de l'immeuble a été majoré d'environ 25% (CORDIER, 2014). Le caractère de la demande et les nombreuses études qu'elle engendre, le contrôle intensif des travaux,... contribuent également à cette augmentation (WOHNBAUGENOSSENSCHAFT, 2011, p.1 et 6). De plus, il s'agit entièrement d'appartements mis en location. Au vu de la forte demande pour ce type de logement ainsi que les coûts initiaux très élevés, les loyers, eux aussi ont suivi cette tendance : entre 1000 et 1400 € par mois (CORDIER, 2014). Heureusement, la commune a contribué et contribue toujours aux frais dans le but de soutenir les habitants.

Une autre démarche à souligner est l'écoute particulièrement attentive des revendications des occupants *a posteriori*. Des rapports d'évaluation ont été rédigés de manière à voir ce qu'il serait nécessaire d'améliorer et éventuellement étudier un renouvellement possible de l'expérience. De manière générale, les occupants sont très satisfaits de leur vie dans la MCS Gerechtes Wohnhaus (ZIMMERMANN, 2018). Leurs douleurs, leurs maux ont évolué positivement. Les symptômes sont toujours présents mais beaucoup moins intenses et donc plus viables. Leur situation sociale s'est également améliorée. Ils ont la possibilité de discuter avec des personnes qui souffrent de la même chose, ils peuvent se comprendre,...

Leur attente au niveau de leur nouveau milieu de vie semble donc plus que satisfaisante (BOLLIGER-SALZMANN, 2015). Les habitants soulignent cependant que seul, le bâtiment n'est pas capable de tout résoudre. En effet, ils sont tous différents, ils ont tous des symptômes différents, plus ou moins intenses,... Le fonctionnement d'une telle infrastructure dépend donc aussi du comportement de chaque individu. L'entente et le respect des occupants sont très importants. Pour pouvoir bien vivre, un ensemble de règles sont intégrées d'entrée de jeu : pas de GSM, pas de parfum,... dans l'enceinte de l'immeuble (CORDIER, 2014).

[Pour d'avantage d'informations concernant le rapport d'évaluation, je vous propose de vous référer au document BOLLIGER-SALZMANN, 2015]

Il existe d'autres bâtiments à travers le monde qui ont fait l'objet d'une réflexion au sujet des ondes électromagnétiques. Malheureusement, certains sont de très petite taille ou les informations récoltées ne sont pas suffisantes pour une étude de cas plus approfondie, comme cela a été fait pour les deux exemples précédents. Cependant, il semble intéressant de relever l'un ou l'autre point car ils permettent une approche encore différente sur l'environnement électromagnétique et l'architecture. Le **Sydney Nanoscience Hub** ainsi que **The Gin Tub** seront donc brièvement abordés ci-après. Il faut toutefois rester vigilant : certaines affirmations ne sont pas toujours sûres au vu de la fiabilité des différentes sources.

3.5. Sydney Nanoscience Hub





Le **SYDNEY NANOSCIENCE HUB** est un bâtiment de recherche et d'enseignement scientifique (ARCHITECTUS, 2018). Il a été imaginé et construit par le groupe **Architectus**. Ce bureau, qui possède une antenne à Sydney, s'est spécialisé dans le secteur industriel, à grande ou petite échelle, et regroupe architectes, architectes d'intérieur, designers,... (ARCHITECTUS, 2018) Le bâtiment est essentiellement dédié à la nanoscience. Ce domaine est actuellement en pleine expansion et désigne l'étude des matériaux à l'échelle du nano, ce qui est extrêmement petit. L'ambition du projet était de rassembler un maximum de grands chercheurs mondiaux pour qu'ils puissent travailler et réaliser leurs expériences dans les meilleures conditions possibles (THE UNIVERSITY OF SYDNEY, 2016). En effet, étant donné que les expériences sont réalisées à des dimensions microscopiques, le moindre changement environnemental [chocs, température,...] peut tout faire basculer et perturber complètement les résultats. Comme l'a décrit Simon Ginger, directeur de l'établissement : « *When you're focusing down on atoms, a tiny little vibration associated with someone walking down the hall can be like an earthquake. This means that everything needs to be completely controlled so that the things we're observing are true and not the result of environmental disturbances.* » (KLEIN, 2016). Pour ces raisons, des locaux ont dû être aménagés afin qu'aucune perturbation environnementale, chocs, variations de températures, de rayonnements électromagnétiques,... ne puisse être ressentie par l'infiniment petit (ROSS, 2016). Des salles électromagnétiquement, écologiquement les plus neutres au monde ont donc été créées dans l'établissement pour être à même d'attirer les plus grands chercheurs dans le domaine (THE UNIVERSITY OF SYDNEY, 2018). Tout est absolument contrôlé et régulé dans certains espaces.

Le bâtiment comporte donc une série de locaux d'enseignement, de laboratoires de recherche traditionnels auxquels vont s'ajouter des salles blanches régulées et maîtrisées individuellement. Ce sont ces dernières qui seront développées ci-après. Elles ont en effet un traitement particulier par rapport aux autres pièces de l'institut. L'une des particularités du Sydney Nanoscience Hub est : seules certaines zones ont été isolées des ondes. Le reste du bâtiment est donc conçu de manière tout à fait traditionnelle.

3.5.1. L'implantation

L'implantation de l'édifice semble être issue de la volonté de rester accolé au bâtiment existant de l'université. Les environs sont fortement bâtis et comportent de nombreuses voiries, ce qui n'est peut-être pas le rêve quand la stabilité environnementale est le maître mot pour les locaux de recherches. Dans un tel contexte urbain, le réseau GSM est généralement très bien couvert, les lignes de distribution d'électricité souvent très denses,... Il faut donc trouver un série d'outils architecturaux pour s'isoler de toutes ces perturbations.



Fig 116 : Implantation du bâtiment

3.5.2. Les matériaux

Tout d'abord, pour se protéger de ce contexte relativement hostile en terme d'ondes électromagnétiques, une solution retenue a été de créer un ensemble de **cages de Faraday** : une pour chaque laboratoire. Les expériences réalisées dans l'une ne doivent en rien perturber les recherches effectuées dans l'autre. Afin de les construire, les concepteurs ont englobé la pièce en question par une feuille de 6 mm d'aluminium [Fig 117-118]. Cette pellicule intercepte donc les champs électriques issus des GSM, wifi, ascenseurs,... pour les rediriger vers le sol et les éliminer (THE UNIVERSITY OF SYDNEY, 2018). Les champs magnétiques sont quand à eux constamment analysés par des appareils. Ces derniers sont capables de déceler la moindre fluctuation (THE UNIVERSITY OF SYDNEY, 2018).

Ensuite, un autre aspect est intéressant à souligner dans la conception de ces laboratoires : il est en effet également indispensable de se protéger des vibrations issues du camion qui passe, de la personne qui marche dans le couloir,... Les cages de Faraday ont donc été réalisées de manière à ne pas transmettre ces vibrations à l'intérieur. Ce sont des **pièces flottantes** [Fig 119] (KLEIN, 2016). Les planchers sont découplés

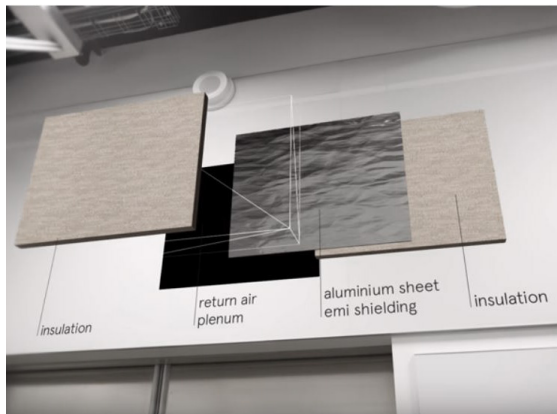


Fig 117 : Composition des murs de la cage de Faraday

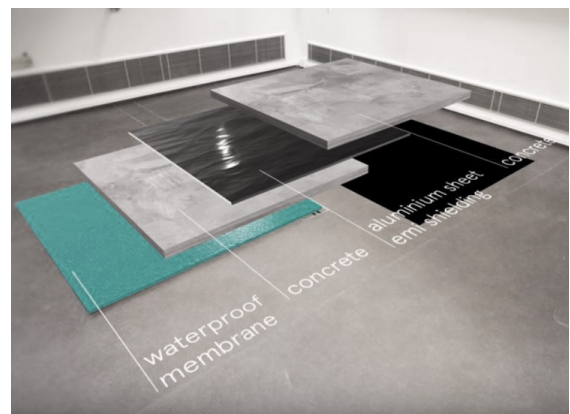


Fig 118 : Composition du plancher de la cage de Faraday



Fig 119 : Indépendance structurelle des laboratoires

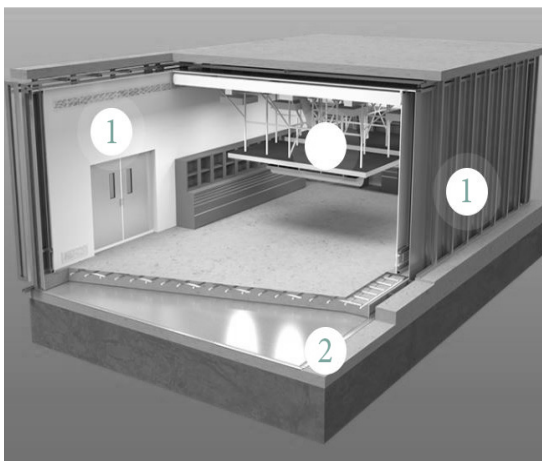


Fig 120 : Traitement des ouvertures dans les cages de Faraday

du bâtiment principal et ont été construits en béton. Ce dernier est renforcé à l'aide de fibres de verre qui sont électriquement beaucoup plus neutres que les traditionnelles armatures métalliques. Cela permet donc de contribuer à la stabilité électromagnétique des locaux de recherches (THE UNIVERSITY OF SYDNEY, 2018).

Enfin, les cages de Faraday sont évidemment interrompues par une série d'ouvertures. Afin de garantir la bonne isolation électromagnétique, les fenêtres ont été recouvertes d'un grillage métallique [Fig 120]. Ainsi, il n'y a pas de rupture dans la protection qu'offrent les cages.

Chaque laboratoire possède donc sa propre cage de Faraday et est dissocié du reste du bâtiment [Fig 121]. En procédant de la sorte, la pièce est à l'abri de toute perturbation électromagnétique et vibrationnelle. Dans ce cas-ci, il est possible d'observer une certaine économie de moyen. Seules les pièces d'expérimentation ont fait l'objet d'une réflexion particulière. L'entièreté de l'édifice n'a en effet pas été traité contre l'environnement électromagnétique.



1 - Mur :

- * Isolation thermique
- * Plénum pour le retour d'air
- * Feuille d'aluminium
- * Isolation

2 - Dalle flottante :

- * Membrane étanche
- * Béton renforcé avec des fibres de verre : 30 cm ép.
- * Feuille d'aluminium
- * Béton

Fig 121 : Résumé des matériaux utilisés

3.5.3. La mise en forme globale

La forme des locaux de recherche du Sydney Nanoscience Hub est relativement simple. Il s'agit en effet de volumes rectangulaires [Fig 122]. Il y a donc peu de recoins, angles,... ce qui favorise la bonne répartition et une absence de concentration d'ondes électromagnétiques.



Fig 122 : Allure et volumes réguliers du bâtiment

3.5.4. L'aménagement intérieur

En ce qui concerne l'aménagement, certaines dispositions ont été prises afin d'assurer la stabilité de l'environnement dans les laboratoires. Tout d'abord, au niveau électrique, les câblages ont été recouverts de blindage électromagnétique (THE UNIVERSITY OF SYDNEY, 2018). Ensuite, des systèmes de régulation de pression, de température,... ont été installés dans chaque local [Fig 123] (THE UNIVERSITY OF SYDNEY, 2018). Les pièces sont donc exemptes de toute variation, quel que soit le paramètre environnemental considéré.



Fig 123 : Système de régulation de température, humidité,...

3.5.5. Conclusion

Pour conclure cette brève analyse sur le Sydney Nanoscience Hub, il est possible de constater que seules quelques pièces ont fait l'objet d'une réflexion particulière sur les ondes électromagnétiques. Le choix des matériaux et de leur mise en œuvre semble être l'option majeure retenue pour réguler au maximum les rayonnements. La cage de Faraday était sûrement la solution la plus efficace pour s'opposer à toute pénétration des ondes environnementales dans le laboratoire. De nombreuses autres techniques ont été utilisées afin de conserver des constantes atmosphériques, d'humidité,... les plus neutres possibles pour ne pas perturber les résultats obtenus à la suite des expériences.

3.6. The Gin Tub





The **GIN TUB** attire lui aussi l'attention par les convictions que son gérant, Steve Tyler, véhicule. Il s'agit d'un bar à cocktails, avec un environnement intérieur sans ondes GSM, situé à Hove au sud de l'Angleterre (D.N., 2016). Mais pourquoi chercher à bloquer ces rayonnements dans un pub ? C'est ici que l'opinion de Steve Tyler devient intéressante.

« Par essence, les pubs anglais sont des lieux de sociabilisation, que l'addiction aux communications mobiles est en train de tuer. »

traduction - Steve Tyler (D.N., 2016).

Pour cette raison, le barman a décidé de condamner tous les GSM dans son établissement en stoppant les émissions et réception d'ondes (BBC, 2016). En procédant de la sorte, les personnes n'ont pas d'autre choix que de communiquer entre elles et surtout arrêtent de s'isoler derrière leur téléphone.

« It's better to socialise with the people they are with, rather than the people they are not with »

Steve Tyler (GANDER, 2016).

3.6.1. Les matériaux

Pour arrêter au maximum les ondes électromagnétiques, Steve Tyler et son équipe ont opté pour une idée se rapprochant fortement de la cage de Faraday (BBC, 2016). Les rayonnements ne sont en effet pas complètement stoppés mais fortement atténués. Le signal GSM est donc brouillé (D.N., 2016). Cela est amplement suffisant pour décourager les utilisateurs de recourir à leur smartphone.

Pour réaliser ce blindage électromagnétique, ils ont injecté du papier d'argent dans les parties creuses du mur de briques et recouvert le plafond avec des fils de cuivre (GANDER, 2016). Cette cage imaginée simplement et réalisée avec les moyens du bord remplit raisonnablement sa fonction pour atténuer les ondes GSM.



Fig 124 : Ambiances intérieures

3.6.2. L'aménagement intérieur

Mais Steve Tyler ne s'est pas arrêté là. Pour prendre un peu le contre-pied de son concept, il a décidé d'installer une série d'anciens téléphones fixes sur toutes les tables du bar (BBC, 2016). Ces derniers servent essentiellement à la communication interne au pub. Tout d'abord, ils permettent de commander les boissons, ce qui supprime toute file au bar (GANDER, 2016). Ensuite, ils offrent la possibilité de parler avec les autres personnes assises à d'autres tables. Encore une fois, à ce niveau, le côté des rencontres, sociabilité,... est mis en avant (GANDER, 2016).



Fig 125 : Aménagement avec les anciens téléphones

3.6.3. Conclusion

Pour conclure cette très brève analyse, il est possible de constater que Steve Tyler a trouvé la réponse à son "problème de sociabilité" dans les recherches menées à propos des ondes électromagnétiques. Le fait d'employer un système faisant référence à la cage de Faraday lui a permis d'atteindre son objectif : supprimer les GSM dans son bar. « *He wanted to force people to interact in the real world and remember how to socialise* » - Steve Tyler (BBC, 2016).

De manière générale, les personnes qui fréquentent le bar ont l'air plutôt satisfaites de l'initiative prise par le barman. C'est en effet une opportunité pour discuter avec d'autres gens, ils se sentent plus libres vis-à-vis des technologies,... (GANDER, 2016)

Cependant, ce pub soulève également quelques inquiétudes : comment procéder si il faut contacter les secours en cas de problèmes, de terrorisme,... (DEMEURE, 2016) ? Il semblerait toutefois qu'une ligne d'appel d'urgence soit installée dans l'établissement et de toute façon, une fois sorti du bar, l'environnement électromagnétique habituel est bel et bien présent. D'autres pensent également que les GSM font partie intégrante de notre vie. Les supprimer de la sorte est donc un peu étrange (GANDER, 2016).

Cet exemple illustre une fois de plus les nombreuses applications offertes par les réflexions effectuées dans le domaine électromagnétique.

À travers toutes ces théories à propos des outils de conceptions architecturaux, certains parviennent à atteindre la dimension sociale au sein d'une architecture parfois pragmatique. La boucle est ainsi bouclée...

04

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'environnement électromagnétique n'a cessé de croître durant les dernières décennies. Il est la résultante des nombreuses évolutions technologiques comme le développement du transport de l'électricité, l'arrivée des GSM, du wifi, du réseau 3G et 4G,... Tous ces appareils et infrastructures génèrent une prolifération d'ondes électromagnétiques non-ionisantes d'origine artificielle dans notre milieu de vie. Ce phénomène, au sein de la société, pose énormément de questions au niveau des conséquences sanitaires, législatives, économiques, sociales,... Les différents acteurs, les scientifiques, les pouvoirs publics, les lobbies économiques et les citoyens, vont chacun avoir leur propre représentation sociale relative aux ondes électromagnétiques et chacun va développer différents mécanismes d'action. Ce Travail de Fin d'Études a été élaboré dans le but de questionner certaines de ces polémiques en lien avec le domaine architectural et avec les inquiétudes soulevées par la population.

La partie sur les **REPRÉSENTATIONS SOCIALES** relatives aux ondes électromagnétiques a permis de mettre en avant le contexte dans lequel le questionnement prend place. Les avis divergents des scientifiques, les polémiques au sein des pouvoirs publics, les conflits d'intérêts des lobbies économiques, semblent résumer l'état d'esprit dans lequel la population se trouve - population où réside une minorité de personnes souffrant physiquement et mentalement de ces ondes. Ces différents acteurs, par les expériences et les actions qu'ils mènent, donnent des débuts de pistes de réflexions à d'autres domaines professionnels. Grâce à cette analyse des représentations sociales, un possible lien peut être établi avec le domaine architectural : l'architecte a la possibilité d'aller puiser des débuts de réponses dans ce contexte incertain et de les appliquer dans ses constructions.

L'architecte pourrait ainsi constituer certains de ses propres **OUTILS DE CONCEPTION** au sein de l'environnement électromagnétique. L'analyse de cette transposition de données, issue à l'origine d'une analyse d'avantage sociale pour poursuivre dans le domaine architectural, permettrait de mettre en évidence quatre aspects sujets à réflexion lors d'une construction. Il s'agit de l'implantation, des matériaux, de la mise en forme et de l'aménagement intérieur. En réfléchissant sur chacune des quatre caractéristiques, l'architecte aurait la possibilité de travailler sur la

perméabilité ou l'imperméabilité de son projet face aux ondes électromagnétiques.

En procédant de la sorte, il serait également en mesure de pouvoir répondre de manière appropriée aux demandes de ses maîtres d'ouvrage relatives aux rayonnements électromagnétiques étant donné que, par le biais des outils de conception qu'il développe, il aurait intégré leurs avis existant sur la question.

Des constructions basées sur ces préoccupations électromagnétiques ont déjà vu le jour. Ces exemples analysés ont permis de dégager des enseignements supplémentaires et distincts à propos des réponses abordées sur le questionnement des ondes électromagnétiques en architecture.

Les architectes ont réussi à travailler différemment avec leurs outils de conception afin de répondre au mieux aux **objectifs variés** imposés par les maîtres d'ouvrage. La question des ondes électromagnétiques peut en effet être soulevée pour différentes raisons.

Dans le High Voltage Laboratory, il est nécessaire de pouvoir réaliser des tests sur des produits commercialisables très dangereux au niveau électrique. En ce qui concerne la MCS Gerechtes Wohnhaus, il faut apaiser au maximum les maux et les souffrances des EHS et personnes atteintes de MCS. Au niveau du Sydney Nanoscience Hub, aucune perturbation d'origine électromagnétique ne peut exister afin de pouvoir réaliser des expériences scientifiques très précises. Le Gin Tub, quand à lui, recherche d'avantage la dimension sociale de la communication humaine en abolissant les GSM.

Chacun de ces bâtiments a donc intégré la question des ondes électromagnétiques différemment. Les architectes ont dû travailler, avec des **degrés d'importance variés**, sur l'implantation, les matériaux, la mise en forme et l'aménagement intérieur. En fonction du contexte, du budget, des contraintes esthétiques,... les différents outils de conception ont été employés de manière inégale pour obtenir le meilleur résultat possible et rencontrer au maximum les objectifs spécifiques fixés.

Il semblerait donc possible d'élaborer, sur base des représentations sociales relatives aux ondes électromagnétiques, une démarche architecturale pour mener à bien des constructions où l'objectif de départ, un peu particulier mais très actuel, serait de bien vivre au sein de son environnement électromagnétique. Un ensemble d'outils et de réflexions peuvent ainsi être utilisés pour édifier un bâtiment qui serait en phase avec son environnement vibratoire et ses occupants. L'architecte est l'une des personnes à pouvoir agir sur le bâti.

Pour terminer, à l'exception des nombreux questionnements soulevés durant tout le Travail de Fin d'Études, le débat est loin d'être clos. Il me semble que toutes ces polémiques ne sont qu'un début, elles n'ont pas fini de faire parler d'elles. Dans ce climat d'incertitude, il serait donc intéressant de s'interroger sur l'intégration, dans un maximum de projets architecturaux, des réflexions liées aux ondes électromagnétiques. De cette manière, les architectes ne pourraient-ils pas inclure l'idée du principe de précaution dans leur dispositif de "projetation" en proposant des analyses de l'environnement électromagnétique dès le début ? Après tout, les architectes ont les capacités d'apporter des réponses plausibles et cohérentes avec les outils de conception développés. En proposant des réflexions sur l'implantation, les matériaux, la mise en forme et l'aménagement intérieur, ils ont

la possibilité d'agir sur le traitement des ondes électromagnétiques dans notre environnement construit. Cependant, vu les avis divergents sur le sujet, les architectes et les maîtres d'ouvrage sont-ils suffisamment ouverts à une étude, qui pourrait être réalisée pour les nouvelles constructions, rénovations, sur la propagation de ces rayonnements ? Faudrait-il donc laisser libre choix ou imposer de telles analyses afin d'assurer le principe de précaution ? La multiplication des projets qui renfermeraient des approches liées à la conception tenant compte des ondes électromagnétiques ne contribuerait-elle pas à approfondir les nombreuses recherches engagées dans le domaine architectural ?

Je pense intimement qu'en augmentant au maximum le nombre d'interventions tenant compte des rayonnements électromagnétiques en architecture, de nouvelles techniques et technologies auraient peut-être la possibilité de voir le jour et pourraient ainsi perfectionner les outils de conception architecturaux existants. Ces principes, en devenant d'avantage répandus, contribueraient à leur vulgarisation. En cas de problèmes avérés, les travaux déjà réalisés par précaution offriraient une meilleure protection. Cependant, l'architecte ne peut pas prétendre tout résoudre au vu de l'ampleur du problème et du manque de certitudes...

« Le projet **ARCHITECTURAL** n'a de sens que s'il permet une meilleure qualité de vie pour toutes les personnes qui sont amenées à y vivre ou y travailler... »

Michel Klarfeld, architecte français (KLARFELD, s.d.)

Lexique

- **Anisotropie** : caractéristique du bois qui est composé d'un ensemble de fibres entraînant des changements de propriétés suivant la direction de ces dernières (MICHAUX, 2013, p.28)
- **Câble de garde** : câble situé au sommet d'un support d'une ligne à haute tension et permettant de soutenir les boules rouges et/ou blanches servant à signaler une ligne transposée (ELIA^a, 2015, p.6)
- **Domotique** : «*ensemble des techniques de gestion automatisée appliquées à l'habitation*» (dictionnaire LAROUSSE)
- **Longueur d'onde** : «*distance entre deux points ayant la même élongation*» (LETAWE, 2013, p.75). Il s'agit donc de la distance qu'il y a entre deux vibrations consécutives de l'onde.
- **Onde vibrant en opposition de phase** : lorsque leurs vibrations sont décalées d'une demi longueur d'onde. Les ondes vont donc s'annuler (LETAWE, 2013, p.110).
- **Ondes vibrant en phase** : lorsque leurs vibrations se déroulent en même temps. Les ondes vont donc s'additionner (LETAWE, 2013, p.110).
- **Permittivité** : voir p.57
- **Réflexion** : «*se produit lorsqu'une partie de l'onde retourne dans son milieu d'origine peu importe l'obstacle qu'elle rencontre*» (LETAWE, 2013) voir p.58
- **Résistivité** : voir p.57
- **Salle blanche** : pièce dans laquelle aucune onde électromagnétique ne peut pénétrer. Dans la plupart des cas, il y a même des recherches pour que la salle soit complètement vierge de champs.
- **Smartcities** : «*système qui se base sur l'utilisation large de techniques d'information et de communication grâce notamment aux réseaux mobile afin de contribuer à la qualité de vie des citoyens dans l'esprit du développement durable*.» (ROLAIN, 2016, p.18)
- **Terne** : câble conducteur d'électricité d'une ligne à haute tension (ELIA^a, 2015, p.6)

Bibliographie

Livres et ouvrages

- **Baudouin, B.** (2017). Le pouvoir des formes qui nous entourent (Ambre éditions). France.
- **Birckner, J.** (2015). L'influence du lieu: géobiologie et santé. Paris: Guy Trédaniel éditeur.
- **Cachard, O.** (2016). Le droit face aux ondes électromagnétiques. Paris: LexisNexis.
- **Feynman, R., Leighton, R., & Sands, M.** (2006). The Feynman lectures on physics (Vol. 2). Californie.
- **Kane, J. W., & Sternheim, M. M.** (2014). Physique: cours, QCM, exemples et 1900 exercices corrigés. Paris: Dunod.
- **Pétry-Amiel, D., & Carru, C.** (2013). Champs vibratoires et architecture plaidoyer pour une architecture responsable. Escalquens: Dangles.
- **Sánchez Vidiella, Á.** (2010). Atlas des nouvelles formes. Paris: Place des Victories.

Articles et revues

- **Ah-Rantala, P., Ukkone, L., Sydanheimo, L., Keskilammi, M., & Kivikoski, M.** (2003). Different kinds of walls and their effect on the attenuation of radiowaves indoors. IEEE Electromagnetic Compatibility Magazine, 1020-1023.
- **Ansseau, M., Beauvois, V., Demaret, I., Ledent, M., & Scantamburlo, G.** (2015). Champs électriques et magnétiques 50Hz et santé : quel message au grand public ? (p. 172-178). Consulté à l'adresse <http://orbi.ulg.ac.be/bitstream/2268/182052/1/5%20LEDENT%20Champselec.pdf>
- **ArquitecturaViva SL.** (2015). ACXT, High-Voltage Laboratory in Mungia (Spain). ArquitecturaViva, 04/2015(173). Consulté à l'adresse <http://www.arquitecturaviva.com/en/Info/News/Details/7047>
- **Bassand, L.** (2015). Un tissu contre les ondes. l'Est républicain. Consulté à l'adresse <http://www.senfa.fr/wp-content/uploads/ESTOMPE-EST-REPUBLICAIN-nov-2015.pdf>
- **BBEMG.** (2012). Valeur des champs EM générés par les appareils électrodomestiques à fréquence industrielle (50 Hz). Consulté à l'adresse <http://www.bbemg.be/files/FR/ce-cm-maison.pdf>

- **Bru, M.** (2017, juin 9). Ondes électromagnétiques. L'ennemi invisible. Le Soir Mag, p. 26-27.
- **Callet, P.** (2007). Couleur et apparence visuelle L'aspect métallique. Techniques de l'ingénieur Optique instrumentale, base documentaire : TIB449DUO.(ref. article : af3253). Consulté à l'adresse <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/electronique-photonique-th13/optique-instrumentale-42449210/couleur-et-apparence-visuelle-af3253/>
- **Chabreuil, M.** (2010, juin 17). Une plate-forme d'études électromagnétiques au service du développement durable. Techniques de l'ingénieur. Consulté à l'adresse <https://www.techniques-ingenieur.fr/actualite/articles/une-plate-forme-detudes-electromagnetiques-au-service-du-developpement-durable-3140/>
- **Chateauraynaud, F., & Debaz, J.** (2010). Le partage de l'hypersensible : le surgissement des électrohypersensibles dans l'espace public. Sciences sociales et santé, 28(3), 5-33. <https://doi.org/10.3917/sss.283.0005>
- **Chide, J.** (2015, juin). Les métasupports filtrent les ondes électromagnétiques. Industries Créatives. Consulté à l'adresse <https://industries-creatives.com/personnalisation-espace/les-metasupports-filtrent-les-ondes-electromagnetique/>
- **Cordier, S.** (2014, août 12). A Zurich, le premier refuge européen pour électrosensibles. Le Monde. Consulté à l'adresse http://www.lemonde.fr/planete/article/2014/08/12/a-zurich-le-premier-refuge-europeen-pour-electrosensibles_4470194_3244.html
- **Démoulin, B.** (2012). Quelques aspects de la propagation des ondes radioélectriques. Territoire en mouvement, (12), 30-45. <https://doi.org/10.4000/tem.1447>
- **Duralex Peintures.** (s. d.). Systèmes DXelectro. Consulté à l'adresse http://www.duralex-peintures.com/images/guide/Guide_DX_Electro.pdf
- **Duralex Peintures^a** (2017). DX Electro HF. Peinture acrylique de protection contre les hyperfréquences. Consulté à l'adresse http://www.duralex-peintures.com/modules/produits/download_pdf.php?original=technique/1-7-37.pdf&custom=technique/fiche_technique_DX_ELECTRO_HF
- **Duralex Peintures^b** (2017). DX Electro BF. Peinture acrylique de protection contre les basses fréquences. Consulté à l'adresse http://www.duralex-peintures.com/modules/produits/download_pdf.php?original=technique/1-7-36.pdf&custom=technique/fiche_technique_DX%20ELECTRO%20BF
- **Elia^a** (2015). Les champs électromagnétiques et le réseau haute tension - fiches complémentaires. Consulté à l'adresse http://www.elia.be/~media/files/Elia/publications-2/brochures/Champs-electromagnetiques-et-le-reseau-haute-tension_fiches_v2.pdf
- **Elia^b** (2015, février). Les champs électromagnétiques et le réseau à haute tension. Consulté à l'adresse http://www.elia.be/~media/files/Elia/publications-2/brochures/Champs-electromagnetiques-et-le-reseau-haute-tension_brochure_v2.pdf
- **Elloumi, I.** (2016, octobre). Caractérisation des propriétés diélectriques du bois et des composites bois-polymères. Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue école de génie, Québec. Consulté à l'adresse <http://depositum.uqat.ca/677/1/Elloumi%2C%20Imen.pdf>
- **EMF shielding documents.** (2012). EMF shielding by building materials. Attenuation of microwave band electromagnetic fields by common building materials. Consulté à l'adresse www.eiwellspring.org/shielding.html

- **Filali, B., Rhazi, J.-E., & Ballivy, G.** (2006). Mesure des propriétés diélectriques du béton par une large sonde coaxiale à terminaison ouverte. *Canadian Journal of Physics*, 84(5), 365-379. <https://doi.org/10.1139/p06-056>
 - **Gabriel, C. (s. d.)**. Chapitre 6 : optique géométrique et optique physique. Consulté à l'adresse <http://www.claudegabriel.be/Elec%20Physique%206.pdf>
 - **G., N.** (2016, octobre 7). Une solution pour le blindage électromagnétique des bâtiments sensibles. *batiactu*. Consulté à l'adresse <http://www.batiactu.com/edito/nouvelle-solution-blindage-electromagnetique-batiments-46530.php>
 - **Garric^a, A., & Le Hir, P.** (2014, janvier 24). La loi sur les ondes électromagnétiques en 5 questions. *Le Monde*. Consulté à l'adresse http://www.lemonde.fr/planete/article/2014/01/24/tout-comprendre-sur-la-loi-sur-les-ondes-electromagnetiques_4353906_3244.html
 - **Garric^b, A.** (2014, décembre 26). Ces malades des ondes électromagnétiques, qui « survivent ». *Le Monde*. Consulté à l'adresse http://www.lemonde.fr/planete/article/2013/08/30/ces-malades-des-ondes-electromagnetiques-qui-survivent_3468862_3244.html
 - **Huss, A. & al.** (2007). Source de financement et résultats des études sur les effets sur la santé de l'utilisation du téléphone portable. *Environmental health perspectives*, 115(1). Consulté à l'adresse https://www.robindestoits.org/Source-de-Financement-et-Resultats-des-Etudes-sur-les-Effets-sur-la-Sante-de-l-Utilisation-du-Telephone-portable-Huss-A_a312.html
 - **ISSEP.** (2014). Contrôles du champs électromagnétique émis par les antennes de télécommunication. Consulté à l'adresse http://www.issep.be/wp-content/uploads/Fiche-CEM_T%C3%A9l%C3%A9phonie.pdf
 - **Jochen, P.** (2014). Faraday'scher Käfig auf der grüne Wiese. *industrieBau*, (2/2014), 20-23.
 - **Klein, A.** (2016). Sydney's nanoscience lab has floating floors and Faraday cages. *New Scientist*. Consulté à l'adresse <https://www.newscientist.com/article/2084920-sydneys-nanoscience-lab-has-floating-floors-and-faraday-cages/>
 - **Lambrozo, J., & Plante, M.** (2014). Champs électriques et magnétiques de très basse fréquence: il est temps d'être raisonnable. *Environnement Risques Santé*, 13(6), 440-444. <https://doi.org/10.1684/ers.2014.0748>
- (annexe 1)**
- **Ledent, M., Beauvois, V., Demaret, I., Anseau, M., & Scantamburlo, G.** (2015). Champs électriques et magnétiques et santé: quel message au grand public?, 70, 172-178.
 - **Le Hir, P.** (2018, mars 27). Electrosensibles : des symptômes réels qui restent inexpliqués. *Le Monde*. Consulté à l'adresse http://www.lemonde.fr/planete/article/2018/03/27/electrosensibles-les-experts-preconisent-une-prise-en-charge-adaptee_5276783_3244.html
 - **Leygonie, A.** (2010). Quelle architecture pour une crèche « écologique » ? *Cahier de la puéricultrice*, 47(240), 12-15. <https://doi.org/CAHPUE-10-2010-47-240-0007-9820-101019-201004367>
 - **Lilien, J.-L., Dular, P., Sabariego, R., Beauvois, V., Barbier, P. P., & Lorfèvre, R.** (2008). Effects of extremely low frequency electromagnetic fields (ELF) on human beings. An electrical engineer viewpoint. *Revue E Tijdschrift - Tijdschrift voor Elektriciteit en Industriële Elektronica*, 3, 34-50.
 - **Mardiguan, M., & Caron-Fellens, J.** (2017). The intelligent concrete: a new, economical technique for

architectural shielding of buildings. IEEE Electromagnetic Compatibility Magazine, 6(2), 50-54. <https://doi.org/10.1109/MEMC.0.7989998>

- **Mušić, B., Žnidaršič, A., & Venturini, P.** (2010, mai). Electromagnetic absorbing materials. Informacije MIDEM, p. 92-96.
- **Nadaud, S.** (2015). L'adoption de la loi n° 2015-136 du 9 février 2015 relative à l'exposition aux ondes électromagnétiques : premier pas encourageant ou régression décourageante ? Revue juridique de l'environnement, 40(3), 423-436.
- **OMS.** (2011, mai 31). Le CIRC classe les champs électromagnétiques de radiofréquences comme « peut-être cancérogènes pour l'homme ». Consulté à l'adresse http://www.iarc.fr/fr/media-centre/pr/2011/pdfs/pr208_F.pdf
- **OTT, J.** (2015). Senfa réinvente la cage de Faraday. Les DNA. Consulté à l'adresse <http://www.senfa.fr/wp-content/uploads/ESTOMPE-DNA-27nov2015.pdf>
- **Peretti-Watel, P., & Vergélys, C.** (2012). Antennes-relais et cancer : évolution et déterminants du risque perçu par le public, 2005-2010. Santé Publique, 24(3), 209-218. <https://doi.org/10.3917/spub.123.0209>
- **Peretti-Watel, P., Vergélys, C., & Hammer, B.** (2013). Ces ondes qui nous menacent. Perceptions profanes des risques associés à quatre dispositifs émettant des ondes électromagnétiques. Natures Sciences Sociétés, 21(3), 282-292. <https://doi.org/10.1051/nss/2013110>
- **Pirard, W.** (2000). Champs électromagnétiques à proximité des antennes-relais de mobilophonie - Rapport final (résultats et conclusions de l'étude) (p. 85). Belgique: DGRNE, Ministère de la Région Wallonne, ISSeP. Consulté à l'adresse <http://www.issep.be/wp-content/uploads/cem-a-proximite-antenne-relais-rapport-complet.pdf>
- **Pirard, W.** (2003, juin). Champs électromagnétiques et téléphonie mobile.
- **Robert King, D., C. Rowan, J., D. Johnson, D., & E. Reis, B.** (1998). Faraday cage. United States Patent, (5,761,053),
- **Ross, J.** (2016, mars 23). Sydney Nanoscience Hub: from little things big things grow. The Australian. Consulté à l'adresse <http://www.theaustralian.com>
- **Ruprecht, R.** (2013). Hofgarten auf der grünen wiese. werk, bauen+wohnen, (7/8-2013), 80-81.
- **Santé et habitat.** (2009). Je peux réduire mon exposition aux champs électriques, magnétiques et électromagnétiques dans ma maison! La Santé et l'Habitat, (Fiche d'information n°8). Consulté à l'adresse http://www.sante-habitat.be/outils-de-sensibilisation/fiches/?debut_articles=10#pagination_articles
- **Siepel SAS.** (2013). Cages de Faraday modulaires. Siepel. Michael Faraday's Heritage, 2. Consulté à l'adresse www.siepel.com
- **SPF Santé publique, Sécurité de la Chaîne alimentaire et Environnement.** (2014). Les champs électromagnétiques et la santé. Votre guide dans le paysage électromagnétique. Consulté à l'adresse https://www.health.belgium.be/sites/default/files/uploads/fields/fpshealth_theme_file/19090388/Brochure_elektromagnetische_FR_kl_resolutie.pdf
- **Spie Batignolles, & EuroMC.** (2017, octobre). Grey Shield. La protection béton contre les ondes. Consulté à l'adresse <http://www.euomc.fr/wp-content/uploads/2017/12/GreyShield-F.pdf>

- **Stadt Zürich.** (2010). Ein MCS-gerechtes Wohnhaus in Zürich-Leimbach. Consulté à l'adresse https://www.leimbach.zh.ch/dokumente/100907_mm_ein_mcs_gerechtes_wohnhaus_in_zuerich_leimbach.pdf
- **Stadt Zürich^a.** (2013). Besichtigung. MCS-gerechtes mietwohnhaus. Consulté à l'adresse http://www.wbg-zh.ch/wp-content/uploads/MCS_Haus_Factsheet6b_kl.pdf
- **Stadt Zürich^b.** (2013). MCS-gerechtes wohnhaus. Consulté à l'adresse <https://www.stadt-zuerich.ch/hbd/de/index/hochbau/bauten/bauten-realisiert/archiv-bauten/realisiert-2013/MCS-gerechtes-Wohnhaus.html>
- **Sto AG.** (s. d.). Sto - Abschirmgewebe AES. Wärmedämmung mit Schutz vor Elektromog. Für alle StoTherm-Systeme. Consulté à l'adresse http://www.stoag.ch/media/documents/download_broschuere/pdf_fr/fassade_5/Sto-Abschirmgewebe_AES_De_Web.pdf
- **Suply, A.** (2015). Estompe sur la bonne longueur d'onde. l'Alsace. Consulté à l'adresse <http://www.senfa.fr/wp-content/uploads/ESTOMPE-alsace-nov2015.pdf>
- **Valence, A.** (2010). Les représentations sociales (Vol. 1re éd.). Louvain-la-Neuve: De Boeck Supérieur. Consulté à l'adresse <https://www.cairn.info/les-representations-sociales--9782804162573.htm>
- **Valo, M.** (2013, octobre 15). A Paris, l'arrivée de la 4G multiplie les conflits entre opérateurs et riverains. Le Monde. Consulté à l'adresse http://www.lemonde.fr/planete/article/2013/10/15/a-paris-l-arrivee-de-la-4g-multiplie-les-conflits-entre-operateurs-et-riverains_3495844_3244.html
- **Walpen, L.** (2010, mai). MCS-gerechtes Wohnhaus, Zürich. hochparterre.wettbewerbe. Consulté à l'adresse www.gesundes-wohnen-mcs.ch
- **Wohnbaugenossenschaft, & Gesundes Wohnen MCS.** (2011). Haus am Rebenweg in Zürich-Leimbach. Pilotprojekt für gesundes Wohnen. Consulté à l'adresse http://www.gesundes-wohnen-mcs.ch/data/MCS_Prospekt_dritte_Auflage_2011_5580.pdf
- **Zimmermann, A.** (2010). MCS-gerechtes Wohnhaus Zürich-Leimbach. Consulté à l'adresse http://www.gesundes-wohnen-mcs.ch/pdf/PPP_MCS-gerechtes%20Wohnhaus_31082010_1.pdf

Vidéos

- **Belpomme, D.** (2015) Syndrome d'intolérance aux champs électromagnétiques, AMSES Martinique. Consulté à l'adresse <https://www.youtube.com/watch?v=1o4FtXWeRfo>
- **Bilien, J.-Y.** (2012). Les sacrifiés des ondes. Consulté à l'adresse <https://www.youtube.com/watch?v=sHh7kjqPgtA>
- **Decons Net.** (2017). Construcción del Laboratorio de Ultra Alta Tensión en Mungia. Consulté à l'adresse <https://www.youtube.com/watch?v=MEkQI9M6rec>
- **Delrue, M., Eickhoff, E., Jamin, R., & Lejeune, A.** (2017, octobre 9). L'enfer, c'est les ondes. IHECS Corner. Consulté à l'adresse https://www.rtbef.be/auvio/detail_ihecs-corner?id=2263094
- **Le Dréan, Y.** (2016) Ondes électromagnétiques, télécommunication et santé, Rennes: Espace des sciences. Rennes. Consulté à l'adresse <https://www.youtube.com/watch?v=0AXbDnIOSWI>
- **Lefèvre, T.** (2014, août 23). Les hyperallergiques et les électrosensibles ont leur immeuble. France inter. Consulté à l'adresse <https://www.franceinter.fr/emissions/grand-angle/grand-angle-23-aout-2014>

- **Simotel, F.** (2015). Architecture of radio, une application pour mieux comprendre la propagation des ondes Wifi et 3G. BFM TV. Consulté à l'adresse <http://www.bfmtv.com/mediaplayer/video/architecture-of-radio-une-application-pour-mieux-comprendre-la-propagation-des-ondes-wifi-et-3g-622703.html>
- **The University of Sydney.** (2016). Introducing the Sydney Nanoscience Hub. Consulté à l'adresse <https://www.youtube.com/watch?v=4A31maPm8PM&feature=youtu.be>

Contacts et interviews

- **Beauvois, V.** (2017, novembre 20). Interview personnelle réalisée à propos de l'implantation. **(annexe 3)**
- **Letawe, G.** (2017, octobre 24). Interview personnelle réalisée à propos de la théorie sur les ondes électromagnétiques. **(annexe 4)**
- **Jose Sanchez Aguilar, F.** (2018, février 9). Questionnaire envoyé à propos du bâtiment High voltage laboratory. **(annexe 5)**
- **Zimmermann, A.** (2018, mars 15). Questionnaire envoyé à propos du bâtiment MCS Gerechtes Wohnhaus. **(annexe 6)**

Cours et syllabi

- **Beauvois, V.** (2012). Champs électromagnétiques. Présenté à ULg.
- **Folville, X.** (2012). Spatialité, décors et modes de vie. syllabus pour le cours de master 1 et 2 en architecture de l'université de Liège.
- **Henz^a, O., & Possoz, J. P.** (2017). Evaluation environnementale et sanitaire des matériaux, des éléments de construction et des bâtiments. Présenté à Information technique Studio 1/1 Atelier B, Université de Liège.
- **Henz^b, O., & Possoz, J. P.** (2017). L'architecte et la ressource. un (autre) point de départ pour le projet. Présenté à Information technique Studio 1/1 Atelier B, Université de Liège.
- **Letawe, G.** (2013). Physique: Electromagnétisme et Ondes. syllabus pour le cours de 2ème bachelier en kinésithérapie de la haute école de la province de Liège.
- **Michaux, H.** (2013). Matériaux. syllabus pour le cours de premier bachelier en architecture à l'université de Liège.

Rapports

- **Déclaration de Bruxelles.** Déclaration scientifique Internationale sur l'Electrohypersensibilité et la sensibilité aux produits chimiques multiples. (2015). (International Scientific Declaration on EHS & MCS) (p. 5). Bruxelles. Consulté à l'adresse http://eceri-institute.org/fichiers/1441982737_Statment_FR_DEFINITIF.pdf **(annexe 2)**

- **Bolliger-Salzmann, H., Metry, B., Erb, A., Heiniger, S., & Schaffner, E.** (2015). Evaluation des MCS-Pilotprojekts der Wohnbaugenossenschaft Gesundes Wohnen MCS. Eine explorative Studie. Zusammenfassung des Schlussberichtes. Bern. Consulté à l'adresse <https://www.bwo.admin.ch>
- **Comparon, L.** (2005). Etude expérimentale des propriétés diélectriques des matériaux argileux consolidés. Institut de physique du globe de Paris.
- **CTP Centre Technique du Papier.** (2010). Retrospective. CTP's annual report (p. 40). Consulté à l'adresse <http://www.webctp.com/docs/documents/70362411-188B-310B-B890F81C6855D535.Ann.pdf>
- **Didier, L., & Grenet, L.** (2004, mars 26). Cage de Faraday à parois escamotables. 2844961. Paris. Consulté à l'adresse <https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?FT=D&date=20041022&DB=EPODOC&locale=&CC=FR&NR=2844961B1&KC=B1&ND=4>
- **IBPT.** (2016). Rapport final - Enquête sur la situation du marché belge des communications électroniques du point de vue des consommateurs (p. 203). Consulté à l'adresse http://www.bipt.be/public/pressrelease/fr/103/FR_Persbericht_2015.pdf
- **Legay, M., Marro, J., & Rannou, A.** (2016). TPE - Les effets des ondes électromagnétiques sur les êtres vivants. Lycée Félix le Dantec. Consulté à l'adresse https://www.criirem.org/wp-content/uploads/2016/04/TPE-rapport_final_24mars2016.pdf
- **Plattform Ökobilanzdaten im Baubereich.** (2016). Ökobilanzdaten im Baubereich (No. 2009/1:2016) (p. 19).
- **Rolain, Y., Beauvois, V., Erzeel, D., Hecq, W., Lagroye, I., Pollin, S., ... Verschaeve L.** (2016). Rapport du comité d'experts sur les radiations non ionisantes (2015-2016). Unpublished. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3227.5440>
- **Simon, A.** (2014). Rückwärts nach vorn (p. 30). Hochparterre AG. <https://doi.org/10.5169/seals-583395>
- **Stone, W.** (1997). Electromagnetic Signal Attenuation in Construction Materials (NIST Construction Automation Program No. 3) (p. 184). Maryland, USA: National Institute of Standards and Technology.

Sites internet

- **ACXT Architects.** (2014, avril). High voltage laboratory Artech. Consulté à l'adresse <http://www.archello.com/en/project/high-voltage-laboratory-arteche>
- **Admin.** (2015). Faire le vide pour se purger des ondes électromagnétiques. Consulté 25 mars 2018, à l'adresse <https://magnetisme-et-bien-etre.com/faire-vide-pour-purger-ondes-electromagnetiques/>
- **Architectus.** (2018). architectus. Consulté 25 janvier 2018, à l'adresse <http://www.architectus.com.au>
- **Artech.** (2018). artèche. Consulté 4 novembre 2017, à l'adresse <https://www.artèche.com>
- **ArtechGroup.** (2013, mai 12). Ultra high-voltage laboratory. Consulté à l'adresse <https://www.artèche.com/en/ultra-high-voltage-laboratory-0>
- **AZB.** (2017). Association Zones Blanches. Consulté 16 novembre 2017, à l'adresse <http://asso-zonesblanches.org>

- **Association robin des toits.** (2017). Robin des toits. Association nationale pour la sécurité sanitaire dans les technologies sans fil. Consulté 21 janvier 2018, à l'adresse <https://www.robindestoits.org>
- **BBC.** (2016, août 3). Hove bar uses Faraday cage to block mobile phone signals. Consulté 28 septembre 2017, à l'adresse <http://www.bbc.com/news/uk-england-sussex-36943686>
- **BBEMG.** (2016, juillet 8). Belgian BioElectroMagnetics Group. Consulté 2 novembre 2017, à l'adresse <http://www.bbemg.be>
- **CryoZen.** (2018). CryoZen. Consulté 23 janvier 2018, à l'adresse <https://www.cryozen.be>
- **CSTB.** (2015, mars 4). L'étude des champs électromagnétiques grâce à la plateforme Phéline. Consulté 27 septembre 2017, à l'adresse <http://www.cstb.fr/actualites/detail/plateforme-pheline-champs-electromagnetique-040315/>
- **CTP Centre Technique du Papier.** (s. d.). New: an anti-Wi-Fi/GSM wallpaper! Consulté à l'adresse <http://www.webctp.com>
- **Demeure, Y.** (2016, août). Pourquoi ce bar anglais s'est équipé d'une cage de Faraday ? Consulté 27 septembre 2017, à l'adresse <http://sciencepost.fr/2016/08/bar-anglais-sest-equipe-dune-cage-de-faraday/>
- **D.N.** (2016, août). Le patron d'un pub anglais installe une cage de Faraday pour bloquer les téléphones portables. Consulté 27 septembre 2017, à l'adresse <http://www.bfmtv.com/international/le-patron-d-un-pub-anglais-installe-une-cage-de-faraday-pour-bloquer-les-telephones-portables-1022711.html>
- **Duralex.** (2018). DURALEX peintures. Consulté 23 janvier 2018, à l'adresse <http://www.duralex-peintures.com>
- **Euroglas GmbH.** (2018). SILVERSTAR EN2Plus. Consulté 15 mars 2018, à l'adresse <https://www.euroglas.com/en/products/glas/381-silverstar-en2plus-und-en2plus-t.html>
- **EuroMC.** (2012). Blindage magnétique. Consulté 8 novembre 2017, à l'adresse <http://www.euomc.fr/blindage-magnetique.html>
- **Gander, K.** (2016, août). Welcome to the gin tub, the bar encased in copper to stop you looking at your phone. Consulté 5 octobre 2017, à l'adresse <https://www.independent.co.uk/life-style/gadgets-and-tech/gin-tub-bar-brighton-review-no-phones-survival-drinks-a7178976.html>
- **Hemera RF.** (2015). Fournisseur de Cage de Faraday modulaires. Consulté 18 février 2018, à l'adresse <http://www.hemera-rf.com>
- **Holland Shielding Systems BV.** (2018). Cage Amucor Faraday. Consulté 21 février 2018, à l'adresse <https://hollandshielding.fr/Cage-Amucor-Faraday>
- **IDOM.** (2018). IDOM. Consulté 14 mars 2018, à l'adresse www.idom.com
- **Klarfeld, M.** (s. d.). ressource-in. Consulté 5 octobre 2017, à l'adresse <http://www.ressource-in.com>
- **Lamm, N.** (2013). What If Could See Your Cellular Network? Consulté 21 janvier 2018, à l'adresse <http://nickolaylamm.com/>
- **Louppe, B.** (s. d.). Etudes & vie. Consulté 3 mars 2018, à l'adresse <http://www.shop.etudesetvie.be/>
- **Mensch Technik.** (2018). Ausstellung für elektrobiologisches Bauen. Consulté 15 mars 2018, à l'adresse http://www.mensch-und-technik.ch/?name=elektrobiologische_beratungen
- **OA.** (2013). Ordre des architectes. Conseil francophone et germanophone. Consulté à l'adresse <http://www.ordredesarchitectes.be>

- **OMS^a**. (2014, octobre). Champs électromagnétiques (CEM) Que sont les champs électromagnétiques ? Consulté à l'adresse <http://www.who.int/peh-emf/about/WhatisEMF/fr/index4.html>
- **OMS^b**. (2014, octobre). Champs électromagnétiques et santé publique: téléphones portables. Consulté à l'adresse <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs193/fr/>
- **Proximus**. (2018). Quel est le taux de rayonnement de votre GSM ? Consulté 27 mars 2018, à l'adresse <https://www.proximus.be>
- **Senfa**. (2015). Estompe : lauréat du concours 2015. Consulté 8 février 2018, à l'adresse <http://www.senfa.fr/laureat-du-concours-alsace-innovation-2015/>
- **Schiffeler, C.** (s. d.). Stiftung Gesundes Leben und Wohnen. Consulté 29 janvier 2018, à l'adresse <http://stiftung-glw.com>
- **Schöck Bauteile AG**. (2018). Schöck Combar. Consulté 15 mars 2018, à l'adresse <https://www.schoeck-bauteile.ch/fr-ch/combar>
- **Simutech uae**. (2017). Ondes et construction. Consulté 22 octobre 2017, à l'adresse <http://www.simutech-uae.fr/>
- **Stadt Zürich**. (2018). MCS-gerechtes Wohnhaus. Consulté à l'adresse <https://www.stadt-zuerich.ch>
- **Sto AG**. (2018). Sto-Abschirmgewebe AES. Consulté 15 mars 2018, à l'adresse http://www.stoag.ch/de/produkte/produktprogramm/produkt_321010156.html
- **Sybellas, A.** (2015). Une domotique sans ondes électromagnétiques. Consulté 3 mars 2018, à l'adresse <http://www.bienchezsoi.net/breves/une-domotique-sans-ondes-electromagnetiques-305.php>
- **Terrehabitat**. (2018). TERREHABITAT. Consulté 23 janvier 2018, à l'adresse <http://www.terrehabitat.be>
- **The University of Sydney**. (2018). The University of Sydney Nano Institute. Consulté 3 février 2018, à l'adresse <http://sydney.edu.au/nano/hub/index.shtml>

Table des illustrations

L'ensemble des illustrations ont été retouchées ou retravaillées sur base des références citées ci-dessous.

Photo de couverture	
	Lamm, N. (2013). What If Could See Your Cellular Network? Consulté 21 janvier 2018, à l'adresse http://nickolaylamm.com/
Fig 1 : Propagation des ondes électromagnétiques	11
	KANE, 2014, p. 526
Fig 2 : Lampe éteinte produisant un champ électrique	12
	BBEMG, 2016
Fig 3 : Lampe allumée produisant un champ électromagnétique	12
	BBEMG, 2016
Fig 4 : Spectre électromagnétique	13
	ELIA ^a , 2015, p.3
Fig 5 : Distinction entre champ éloigné et champ proche	14
	ELIA ^a , 2015, p.4
Fig 6 : Influence des résultats en fonction du financement	25
	ASSOCIATION ROBIN DES TOITS, 2017
Fig 7 : Récapitulatif des différentes normes	29
	Tableau réalisé sur base de : - BBEMG, 2016 - CACHARD, 2106 - OMS ^a , 2014 - DELRUE, 2017
Fig 8 : Récapitulatif des conséquences engendrées par la découverte de risques sanitaires	32
	Schéma personnel réalisé sur base des données du texte
Fig 9 : Causes suspectées des symptômes des EHS en Suisse	35
	BBEMG. 2016
Schéma de l'implantation	37
	Delaval, X. (s. d.). Xavier Delaval. Architecture et Urbanisme. Consulté 29 mars 2018, à l'adresse http://www.xavierdelaval.be
Schéma des matériaux	37
	https://fr.depositphotos.com/161733852/stock-illustration-freehand-drawing-building-materials.html
Schéma de la mise en forme	37
	Schéma personnel
Schéma de l'aménagement intérieur	37
	Delaval, X. (s. d.). Xavier Delaval. Architecture et Urbanisme. Consulté 29 mars 2018, à l'adresse http://www.xavierdelaval.be
Fig 10 : Influence du champ électrique en fonction de la tension	46
	BBEMG, 2016
Fig 11 : Influence du champ magnétique en fonction de la tension	46
	BBEMG, 2016
Fig 12 : Ligne non transposée - ligne transposée	47
	ELIA ^a , 2015, p.7
Fig 13 : Influence du champ magnétique en fonction de la ligne	47
	ELIA ^a , 2015, p.7
Fig 14 : Liaisons souterraines	48
	Garreau, D. (2012, mai 25). L'électricité doit prendre de la force.

	Sud ouest. Consulté à l'adresse http://www.sudouest.fr/2012/05/25/l-electricite-doit-prendre-de-la-force-724462-3224.php	
Fig 16 :	Cartographie du réseau électrique en Belgique Elia. (2017, janvier 1). Belgique - réseaux électriques à haute tension (de 70 à 380kV). Belgique. Consulté à l'adresse http://www.elia.be/fr/a-propos-elia/publications/cartes	49
Fig 15 :	Influence du champ magnétique en fonction de la sources BBEMG, 2016	49
Fig 17 :	Antenne directionnelle - Photo : https://fr.wikipedia.org/wiki/Antenne-relais_de_t%C3%A9l%C3%A9phonie_mobile - Schéma : PIRARD, 2000, p.25	51
Fig 18 :	Antenne omnidirectionnelle - Photo : http://ouakamwifi.populus.org/rub/2 - Schéma : PIRARD, 2000, p.24	51
Fig 19 :	Antenne directionnelle Schéma personnel réalisé sur base de PIRARD, 2003, p.23	51
Fig 20 :	Antenne omnidirectionnelle Schéma personnel réalisé sur base de PIRARD, 2003, p.23	51
Fig 21 :	Courbes d'iso-valeur d'une antenne directionnelle PIRARD, 2003, p.23	51
Fig 22 :	Implantation du Trafag AG à proximité de la ligne de chemin de fer Schéma personnel réalisé sur base d'une vue Google Earth	53
Fig 23 :	Absorption de l'onde par le relief Schéma personnel réalisé sur base de LETAWE, 2013, p.87	55
Fig 24 :	Diffraction de l'onde par le relief Schéma personnel réalisé sur base de LETAWE, 2013, p.87	55
Fig 25 :	Réflexion diffuse de l'onde par le relief Schéma personnel réalisé sur base de LETAWE, 2013, p.87	55
Fig 26 :	Implantation de la MCS Gerechtes Wohnhaus Schéma personnel réalisé sur base d'une vue Google Earth	55
Fig 27 :	Trajet de l'onde rencontrant une surface ELLOUMI, 2016, p.33	58
Fig 28 :	Réflexion d'une onde KANE, 2014, p.593	58
Fig 29 :	Réflexion métallique sans et avec prise de terre Schéma personnel	59
Fig 30 :	Résumé des caractéristiques électromagnétiques des matériaux usuels pour assurer une bonne isolation aux ondes électromagnétiques Tableau réalisé sur base des données du texte	59
Fig 31 :	Valeur de la permittivité en fonction du rapport eau/ciment du béton FILALI, 2006, p.374	60
Fig 32 :	Facteur d'atténuation du béton avec un rapport E/C de 0.4 STONE, 1997, p.83-85	60
Fig 33 :	Facteur d'atténuation du béton avec ou sans armatures EMF SHIELDING DOCUMENTS, 2012, p.3	60
Fig 34 :	Résumé pour le béton Tableau réalisé sur base des données du texte	61
Fig 35 :	Positionnement des antennes relais PIRARD, 2000, p.46	62
Fig 36 :	Champs électriques obtenus à proximité des antennes relais PIRARD, 2000, p.48	62

Fig 37 : Champs électriques obtenus à l'intérieur de l'appartement PIRARD, 2000, p.51	62
Fig 38 : Facteur d'atténuation de briques de terre cuite STONE, 1997, p.65-67	63
Fig 39 : Résumé pour la terre cuite EMF SHIELDING DOCUMENTS, 2012, p.4	63
Fig 40 : Permittivité du bois en fonction de sa masse volumique ELLOUMI, 2016, p.82	64
Fig 41 : Facteur d'atténuation du bois sec STONE, 1997, p.149-151	64
Fig 42 : Résumé pour le bois Tableau réalisé sur base des données du texte	65
Fig 43 : Résumé pour plastiques et polymères FILALI, 2006, p.35	65
Fig 44 : Résumé pour les métaux KANE, 2014, p.434	66
Fig 45 : Influence de la permittivité en fonction de la fréquence pour différents calcaires COMPARON, 2005, p.64	67
Fig 46 : Influence de la permittivité en fonction de la fréquence pour le grès COMPARON, 2005, p.65	67
Fig 47 : Influence de la permittivité en fonction de la fréquence pour une pierre à 80 % d'humidité COMPARON, 2005, p.236	67
Fig 48 : Influence de la permittivité en fonction de la fréquence pour une pierre à 40 % d'humidité COMPARON, 2005, p.236	67
Fig 49 : Résumé pour le verre - STONE, 1997, p.143-145 - HOLLAND SHIELDING SYSTEMS BV, 2018	68
Fig 50 : Comparaison des facteurs d'atténuation de la combinaison briques - béton STONE, 1997, p.71-73	69
Fig 51 : Comparaison des facteurs d'atténuation de la combinaison blocs terre cuite - briques STONE, 1997, p.77-79	69
Fig 52 : Résumé des éco-bilans des différents matériaux - PLATTFORM OKOBILANZDATEN IM BAUBEREICH, 2016, p.11-13 - HENZ ^a , 2017, p.13	71
Fig 53 : Résumé des caractéristiques électromagnétiques et environnementales des matériaux usuels Tableau réalisé sur base des tableaux précédents sur les matériaux	73
Fig 54 : Principe de base d'une cage de Faraday https://silent-pocket.com/pages/faraday-cage-bag-pouch	74
Fig 55 : Détail de construction d'une porte en bois recouverte de cuivre pour les cages de Faraday HOLLAND SHIELDING SYSTEMS BV, 2018	75
Fig 56 : Détail d'une fenêtre dans une cage de Faraday HOLLAND SHIELDING SYSTEMS BV, 2018	76
Fig 57 : Facteur d'atténuation en fonction du type de fenêtre HOLLAND SHIELDING SYSTEMS BV, 2018	76
Fig 58 : Influence du facteur d'atténuation en fonction du type de cage HOLLAND SHIELDING SYSTEMS BV, 2018	77
Fig 59 : Exemple de cage de Faraday modulaire http://www.s3m-faraday.fr	77
Fig 60 : Exemple de cage de Faraday escamotable DIDIER, 2004, p.17	77

Fig 61 : Intelligent concrete	79
GN, 2016	
Fig 62 : Influence du facteur d'atténuation en fonction de la dimension de la maille du treilli	80
MARDIGUIAN, 2017	
Fig 63 : Combinaison des performances du béton et du treilli	80
MARDIGUIAN, 2017	
Fig 64 : Intégration d'appareil dans le béton intelligent	81
SPIE BATIGNOLLES, 2017, p.3	
Fig 65 : Traitement des angles	81
MARDIGUIAN, 2017	
Fig 66 : Réflexion spéculaire	84
KANE, 2014, p.593	
Fig 67 : Réflexion diffuse	84
KANE, 2014, p.593	
Fig 68 : Interférence destructive	85
LETAWE, 2013, p.84	
Fig 69 : Interférence constructive	85
LETAWE, 2013, p.84	
Fig 70 : Exemple des réflexions en fonction des mises en forme	86
SANCHEZ VIDIELA, 2010, p.48-57 / 434-445 / 452-461 / 708-715	
Fig 71 : Diffraction quand la longueur d'onde est plus petite que la dimension de la fente	89
LETAWE, 2013, p.87	
Fig 72 : Diffraction quand la longueur d'onde est environ égale à la dimension de la fente	89
LETAWE, 2013, p.87	
Fig 73 : Interférences entre ondes diffractées issues de deux ouvertures	90
LETAWE, 2013, p.87	
Fig 74 : Champ électrique et magnétique émis par quelques électroménagers	94
BBEMG, 2016	
OMS ^a , 2014	
Fig 75 : Métapapier	96
CHIDE, 2015	
CTP, 2010, p.27	
Fig 76 : Métatextile	97
SUPLY, 2015	
Fig 77 : Intérêt des métasupports	97
LEGAY, 2016, p.119	
Fig 78 : Système de mise à la terre	97
DURALEX PEINTURES, s.d., p.9	
Fig 79 : Système Mu-Cuivre	98
HOLLAND SHIELDING SYSTEMS BV, 2018	
Fig 80 : Influence du facteur d'atténuation en fonction des deux systèmes	98
HOLLAND SHIELDING SYSTEMS BV, 2018	
Fig 81 : Système Amucor en aluminium	98
HOLLAND SHIELDING SYSTEMS BV, 2018	
Fig 82 : Résumé des protections électromagnétiques des différents systèmes	98
Tableau réalisé sur base des données du texte	
Fig 83 : Mauvais positionnement du lit par rapport aux électroménagers	100
Schéma personnel	
Fig 84 : Positionnement du lit par rapport à l'implantation	100
Schéma personnel	

Fig 85 : Champ magnétique sur un matelas à ressort - Perturbation de 9.1 μ T BIRCKNER, 2015, p.37	101
Fig 86 : Champ magnétique sur un matelas contenant des aimants - Perturbation de 196.7 μ T BIRCKNER, 2015, p.37	101
Fig 87 : Influence de la forme sur la position dun routeur wifi SIMOTEL, 2015	101
Fig 88 : Appareils anti-ondes BIRCKNER, 2015, p.214	102
Fig 89 : Implantation du High voltage laboratory Artech BIRCKNER, 2015, p.214	110
Photo du High Voltage Laboratory Artech Photo fournie par Francisco Jose Sanchez Aguilar	108
Fig 90 : Détail de l'enveloppe extérieure JOSE SANCHEZ AGUILAR, 2018 https://www.archdaily.com/415288/artech-high-voltage-laboratory-acxt-arquitectos	111
Fig 91 : Etapes de la construction Decons Net. (2017). Construcción del Laboratorio de Ultra Alta Tensión en Mungia. Consulté à l'adresse https://www.youtube.com/watch?v=MEkQI9M6rec	111
Fig 92 : Acier inoxydable poli de la façade ARQUITECTURAVIVA SL, 2015	112
Fig 93 : Reflet de l'environnement grâce à la façade ARQUITECTURAVIVA SL, 2015	112
Fig 94 : Salle d'observation - fenêtres avec un grillage Photo fournie par Francisco Jose Sanchez Aguilar	112
Fig 95 : Uniformité des réflexions des ondes Schéma personnel réalisé sur base de https://www.archdaily.com/415288/artech-high-voltage-laboratory-acxt-arquitectos	113
Fig 96 : Structure métallique de la façade ARQUITECTURAVIVA SL, 2015	113
Fig 97 : Réflexions diffuses dans l'environnement Schéma personnel réalisé sur base d'une vue Google Earth	113
Fig 98 : Organisation fonctionnelle intérieure Schéma personnel	114
Fig 99 : Vue intérieure du laboratoire où les transformateurs sont prêts à être testés ARQUITECTURAVIVA SL, 2015	115
Photo de la MCS Gerechtes Wohnhaus STADT ZURICH, 2018	116
Fig 100 : Projets présentés au concours https://www.stadt-zuerich.ch/hbd/de/index/hochbau/wettbewerbe/abgeschlossene_wettbewerbe/archiv-wettbewerbe/wettbewerbe_2010/mcs-gerechtes-wohnhaus.html	119
Fig 101 : Terrains potentiels pour construire Schéma personnel réalisé sur base d'une vue Google Earth	120
Fig 102 : Implantation du bâtiment - Rebenweg Schéma personnel réalisé sur base d'une vue Google Earth	120
Fig 103 : Coupe topographique aux alentours du bâtiment Schéma personnel réalisé sur base d'une coupe Google Earth	121
Fig 104 : Importance de la végétation dans l'environnement proche Schéma personnel réalisé sur base d'une vue Google Earth	121
Fig 105 : Armatures en fibres de verre Schöck Bauteile AG. (2011). Schöck ComBAR. Une armature fiable sans acier, p.1	122

Fig 106 : Placement des armatures en fibres de verre	122
SCHOCK BAUTEILE AG, 2018	
Fig 107 : Tissu absorbant les ondes électromagnétiques	123
STO AG, s.d., p.3	
Fig 108 : Placement du tissu absorbant les ondes électromagnétiques entre l'isolation thermique et la finition extérieur	123
STO AG, s.d., p.6	
Fig 109 : Détail technique pour le placement du tissu	123
STO AG, s.d., p.5	
Fig 110 : Influence du filet sur les champs magnétiques de pointes	124
MENSCH TECHNIK, s.d., p.1	
Fig 111 : Filet pour atténuer les champs magnétiques de pointe	124
MENSCH TECHNIK, s.d., p.2	
Fig 112 : Placement du filet	124
MENSCH TECHNIK, s.d., p.2	
Fig 113 : Photos du bâtiment et de ses matériaux	125
STADT ZURICH ^a , 2013, p.4	
STADT ZURICH ^b , 2013	
BOLLIGER-SALZMANN, 2015	
Fig 114 : Principe de l'oignon pour les EHS	127
Schéma personnel réalisé sur base de WOHNBAUGENOSSENSCHAFT, 2011, p.3	
Fig 115 : Principe du plus pur pour les MCS	127
Schéma personnel réalisé sur base de STADT ZURICH ^b , 2013	
Photo du Sydney Nanoscience Hub	130
ARCHITECTUS, 2018	
Fig 116 : Implantation du bâtiment	132
Schéma personnel réalisé sur base d'une vue Google Earth	
Fig 117 : Composition des murs de la cage de Faraday	133
THE UNIVERSITY OF SYDNEY, 2016	
Fig 118 : Composition du plancher de la cage de Faraday	133
THE UNIVERSITY OF SYDNEY, 2016	
Fig 119 : Indépendance structurelle des laboratoires	133
THE UNIVERSITY OF SYDNEY, 2018	
Fig 120 : Traitement des ouvertures dans les cages de Faraday	133
ARCHITECTUS, 2018	
Fig 121 : Résumé des matériaux utilisés	134
THE UNIVERSITY OF SYDNEY, 2018	
Fig 122 : Allure et volumes réguliers du bâtiment	135
THE UNIVERSITY OF SYDNEY, 2013	
Fig 123 : Système de régulation de température, humidité,...	136
THE UNIVERSITY OF SYDNEY, 2018	
Photo The Gin Tub	138
THE GIN TUB, instagram	
Fig 124 : Ambiances intérieures	140
THE GIN TUB, 2017	
Fig 125 : Aménagement avec les anciens téléphones	141
THE GIN TUB, 2017	

Extrait de l'éditorial : champs électriques et magnétiques de très basse fréquence : il est temps d'être raisonnable

2014

(LAMBROZO, 2014)

Les critères de causalité de Hill sont-ils respectés ?

La force de l'association (le risque relatif) est aux alentours de deux dans les premières analyses combinées. Elle a diminué dans la plus récente, alors même que la qualité méthodologique des études s'est accrue. L'amélioration de la classification entre populations exposées et non exposées, par exemple, aurait pu réduire l'intervalle de confiance, ce qui n'a pas été le cas.

Les plus récentes études montrent plutôt des associations qui ne sont pas statistiquement significatives ou l'absence d'association.

La constance de l'association pour l'ensemble des études ne s'est pas avérée, une majorité d'études ne montrant pas d'association significative. Les études prenant en compte la variabilité des expositions avec un exposimètre ont été négatives.

La relation dose-effet : un des critères les plus fiables de la causalité est une relation croissante entre le niveau d'exposition et l'amplitude de l'effet. Cette relation n'a pas été observée pour la leucémie de l'enfant. De plus, les études épidémiologiques chez les travailleurs exposés à des niveaux de champ magnétique 10 à 15 fois plus élevés, et durant toute leur vie professionnelle, n'ont pas montré d'excès de risque.

La temporalité où l'exposition doit précéder l'effet : le critère est respecté car les champs magnétiques liés à l'usage de l'électricité sont présents partout depuis plus d'une centaine d'années. Cependant, la latence habituelle entre une exposition à un cancérigène et son effet ne l'est pas.

En ce qui concerne l'expérimentation animale, les études de cancérogénèse animale se sont avérées négatives.

Enfin, pour ce qui est de la plausibilité biologique, aucun mécanisme ne « cadre » avec un effet du champ magnétique à ces niveaux d'exposition. Après 30 ans de travaux, « epidemiology stands alone », mais de moins en moins assurée. L'enjeu valait-il ces efforts ? Oui, certainement. Il en allait de la responsabilité des électriciens et des pouvoirs publics de s'assurer de l'innocuité des CEM ou de prendre des mesures de réduction des expositions.

Nous avons aussi beaucoup appris de cette alerte : ne jamais négliger les signaux pouvant annoncer une crise de santé publique, donner des moyens à la recherche en assurant son indépendance, et favoriser le recours à l'expertise collective et pluridisciplinaire pour ne pas avoir raison tout seul.

J. LAMBROZO et M. PLANTE

Extrait de la déclaration scientifique internationale sur l'électrohypersensibilité et la sensibilité aux produits chimiques multiples

Bruxelles, 2015
(DECLARATION DE BRUXELLES, 2015)

Au vu de nos connaissances scientifiques actuelles, nous appelons instamment tous les organismes et institutions nationaux et internationaux, plus particulièrement l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé), à reconnaître l'EHS et le MCS comme de vraies pathologies considérées comme des maladies sentinelles annonciatrices d'un problème de santé publique majeur dans les années à venir dans le monde entier : c'est-à-dire dans tous les pays autorisant l'utilisation sans restriction de technologies électromagnétiques sans fil et la commercialisation de substances chimiques.

L'inaction a un coût pour la société et n'est plus une option désormais.

Bien que nos connaissances scientifiques demeurent incomplètes, unanimement nous déclarons que cette situation représente un danger sérieux pour la santé publique, et exigeons d'urgence la reconnaissance de cette pathologie à tous les niveaux, et en particulier international, pour que les personnes puissent bénéficier d'outils de diagnostic adaptés, de traitements innovants et par-dessus tout, que les mesures majeures de prévention primaires soient adoptées et priorisées, dans la perspective de cette pandémie mondiale.

Sur la base des connaissances scientifiques actuelles, et appliquant le principe de précaution, nous recommandons unanimement qu'une information sur l'utilisation des technologies sans fil soit accessible au public et, que des mesures réglementaires réelles de précaution s'appliquant aux enfants et aux autres sous-groupes de population vulnérables soient prises d'urgence, comme cela devrait être le cas concernant les produits chimiques en application de la réglementation européenne REACH (Enregistrement, Evaluation, Autorisation et Restriction des Produits Chimiques).

Pour atteindre ces objectifs, nous demandons unanimement que les comités institutionnels dont la mission est d'évaluer les risques des champs électromagnétiques et des produits chimiques soient constitués de scientifiques agissant en toute indépendance scientifique, en excluant de fait, tout expert ayant des liens avec l'industrie.

Nous appelons donc tous les organismes et institutions nationaux et internationaux à prendre conscience de ce problème majeur de santé environnemental et à prendre d'urgence leur responsabilité, plus spécifiquement l'OMS, en mettant à jour ses déclarations de 2005 et 2014 sur l'EHS et en reconnaissant l'EHS et le MCS comme incluses dans la classification internationale des maladies (CIM) comme cela est déjà le cas en particulier en Allemagne et au Japon qui ont classé le MCS sous un code spécifique. L'EHS et le MCS devraient apparaître sous des codes séparés dans cette classification afin de sensibiliser la communauté médicale et le grand public, favoriser la recherche sur les populations qui ont acquis ces syndromes pathologiques ; et former des médecins à des traitements médicaux efficaces.

Groupe de médecins du monde entier.

Liège, 20 novembre 2017

(BEAUVOIS, 2017)

L'interview a été réalisée avec Véronique Beauvois, ingénieur civil électricien à l'ULiège et qui fait partie du groupe BBEMG, Belgian BioElectroMagnetic Group. Un résumé a été retranscrit ci-dessous.

Dans le cadre de votre travail, quel est le profil des personnes venant vous trouver pour réaliser des études sur l'environnement électromagnétique ?

Tout d'abord, beaucoup de particuliers viennent demander des informations quand par exemple on va installer une nouvelle antenne relais ou construire une ligne à haute tension près de chez eux. D'autres désirent acheter une maison, un bien, près de l'une de ces infrastructures. De manière générale, il veulent savoir si il y a des risques pour la santé.

Ensuite, des architectes peuvent également venir nous trouver lorsqu'il ont un projet à proximité d'une installation à haute tension ou pour obtenir des informations à propos des réglementations. Par exemple, il y a eu un concours pour une école à Molenbeek. Les architectes sont venus nous trouver pour savoir comment orienter le bâtiment : est ce qu'il est préférable d'orienter la cour de récréation ou les classes du côté du poste électrique ? Dans ce cas-ci, nous leur avons répondu qu'il était sûrement préférable d'éloigner au maximum les classes car les enfants y passent plus de temps. Une autre fois, l'ONE est venue nous trouver pour savoir si le Wi-Fi... pouvait causer des problèmes sanitaires chez les enfants,...

J'ai vu qu'il y avait beaucoup de polémiques sur le sujet et donc, où en sommes nous au niveau des risques sanitaires que peuvent causer les ondes électromagnétiques ?

Aujourd'hui, des réglementations ont été fixées : 100 μ T pour les champs magnétiques basses fréquences voire même 10 μ T en Flandre où ils espèrent atteindre 0,2 μ T [valeur cible]. Normalement, ces normes sont suffisantes et rarement dépassées en Wallonie. Cependant, un étude sur la leucémie infantile a montré de possible liens statistiques avec les champs électromagnétiques basses fréquences. Il s'agit bien de données statistiques issues d'études épidémiologiques, il n'y a donc pas de liens biologiques. C'est notamment pour cette raison que l'OMS [CIRC] a classé ces rayonnements dans la classe 2B.

La théorie sur les ondes électromagnétiques n'est pas toujours évidente à comprendre.

Pourquoi est-ce qu'on parle parfois de champs électriques, parfois de champs magnétiques ou encore de champs électromagnétiques ?

Ce qui est important, c'est de voir ce qui est induit dans le corps. De toute façon, qu'on parle de champs électriques ou de champs magnétiques, il est toujours possible de retrouver l'autre grâce à des formules.

En fonction de ce dont on parle, à courte distance, l'un peut être plus important que l'autre. C'est pourquoi on ne parle que de champs électriques ou de champs magnétiques. Mais à plus longue distance, les deux sont rassemblés c'est pourquoi on évoque les ondes électromagnétiques. En général, à basses fréquences, les deux sont distingués, tandis qu'à hautes fréquences, on parlera de champs électromagnétiques.

Y-a-t-il une logique dans l'implantation des antennes relais sur un territoire ?

Les antennes relais sont positionnées en fonction de la division cellulaire effectuée sur le territoire. Chaque zone va être recouverte par une ou des antennes. Une fois que la demande augmente, la zone est redivisée et une nouvelle antenne est installée. Au pied d'une antenne, on captera toujours bien quelque chose et au pire, une autre antenne plus lointaine couvrira la communication.

Parfois, au-dessus de bâtiments, il y a beaucoup d'antennes car il y en a une par opérateur, plus une par réseau 2G, 3G,...

Est ce que le relief ou la végétation peuvent influencer la propagation des ondes électromagnétiques ?

Pour les ondes basses fréquences, la longueur d'onde est très grande. La végétation ou le relief n'ont donc pas d'influence. Par contre, les hautes fréquences possèdent des longueurs d'ondes plus petites. Elles peuvent donc être perturbées par la végétation mais elles passeront quand même. Par exemple, au Sart-Tilman, le site du Bol d'Air est situé sur une colline et l'antenne est très haute et elle émet très fort. Il y a donc une très grande couverture et peu de perturbations naturelles.

Vous avez contribué à la rédaction de beaucoup de textes sur le sujet. J'ai lu dans certains d'entre eux que les matériaux pouvaient avoir un rôle à jouer. Sauriez-vous m'expliquer à quel niveau ?

En effet, il est possible de réduire les champs électromagnétiques en choisissant le bon matériau. Mais si on veut téléphoner à l'intérieur, il y aura peu de signal et donc le téléphone devra développer une plus grande puissance, ce qui est parfois encore pire. Le béton peut par exemple réduire les ondes électromagnétiques.

Cependant, les gros points faibles quand on évoque les matériaux sont les ouvertures et fenêtres. Certains vont donc recourir à l'utilisation de stores, films à appliquer sur les fenêtres mais des fuites peuvent quand même persister. Il existe également des peintures que l'on peut mettre à la terre,...

Au niveau du BBEMG, comment fonctionne-t-il ?

Le groupe du BBEMG est maintenant financé par ELIA. Des projets leur sont proposés et ELIA peut accepter ou pas de les financer. Une fois le financement attribué, les chercheurs ont toute la liberté pour publier.

Comment procédez-vous pour réaliser un relevé de l'environnement électromagnétique sur un site ?

Pour faire des relevés, on utilise des appareils spécifiques ou on extrapole par calculs, ce qui est indispensable quand on fait des études pour des nouvelles antennes,... En Wallonie, le BBEMG a mis au point un logiciel pour les basses fréquences. En Flandre, ils ont créé un logiciel basé sur la cartographie numérique [GIS].

Quel est votre avis par rapport à toutes ces controverses tournant autour des ondes électromagnétiques ?

Psychologiquement, la population accepte mieux d'être en relation avec un GSM qui émet plus par rapport à une nouvelle antenne qui amènerait moins de risque. Dans le premier cas, c'est eux qui l'ont choisi, ils vont donc plus facilement l'accepter. Par contre, dans le deuxième cas, on leur impose donc ça ne va pas. De plus, la notion de risque n'est pas toujours facile à cerner. Par exemple, une maman va changer son enfant d'école car on va implanter une nouvelle antenne tout près. Du coup, elle va devoir aller le conduire en voiture alors qu'elle y allait à pied avant. Il faut donc craindre les champs électromagnétiques ou l'accident de voiture ?

Les recherches augmentent également par période. Dès que des nouvelles technologies apparaissent [4G, Wi-Fi, nouvelle ligne à haute tension,...], les gens "s'excitent". Même si on veut rénover une ligne à haute tension, la population revient à la charge. Ils focalisent dessus alors qu'il y a parfois des problèmes bien pires à côté.

La théorie des champs est également compliquée et les personnes ne comprennent donc pas toujours la problématique.

Il y a également le problème lié aux ElectroHyperSensibles. Les symptômes sont clairs et présents mais certains ne peuvent s'empêcher de parler de cas psychiatriques. En Suède, ils sont reconnus comme handicapés. Je pense également que l'effet NOCEBO n'est pas innocent à toutes ces controverses. De plus, la presse n'aide pas à démontrer le vrai du faux !

Liège, 24 novembre 2017

(LETAWE, 2017)

L'interview a été réalisé avec Géraldine Letawe, professeur de physique à la Haute école de Liège. Un résumé de ses explications sur les ondes a été retranscrit ci-dessous.

Dans plusieurs articles, les auteurs parlent tantôt de champs, tantôt d'ondes électromagnétiques. Y-a-t-il une différence ?

Une onde désigne la propagation d'une perturbation. Elle va donc aller beaucoup plus loin et elle ne s'arrêtera que lorsqu'elle rencontrera un obstacle. Par contre, le champ est un phénomène plus localisé et se situe autour d'une ou d'un ensemble de particules chargées, en mouvement ou non. Il va donc diminuer beaucoup plus rapidement avec la distance et aura donc peu d'influence.

Est ce que les ondes géomagnétiques peuvent avoir des possibles conséquences sur l'homme au même titre que les ondes électromagnétiques ?

Elles sont d'origine terrestre. Elles ont vraiment très très peu d'influence car leurs valeurs sont extrêmement petites.

Est-il possible d'utiliser les lois de l'optique physique comme la réflexion, l'absorption,... pour les appliquer aux ondes électromagnétiques ?

Les lois de l'optique peuvent aussi être valables pour les ondes électromagnétiques vu que la lumière est un cas particulier de ces dernières. Seules la longueur d'onde et la fréquence varient mais ça reste des ondes. Les réflexions, transmissions, varient en fonction de la matière, son épaisseur, la longueur d'onde, la fréquence,...

En ce qui concerne les cages de Faraday, est-il nécessaire d'avoir une liaison à la terre ?

Elles permettent de neutraliser les ondes électromagnétiques. Il n'y a pas nécessairement besoin d'une prise de terre. Si il y en a une, c'est pour évacuer les particules vers le sol. Un exemple d'une cage de Faraday peut être un GSM emballé dans du papier aluminium. Il ne recevra plus aucun appel,... il est donc bien isolé de tout rayonnement électromagnétique. Il faut cependant faire attention : si rien ne rentre, rien ne sort non plus !

Est-ce que selon vous, la mise en forme architecturale peut avoir une influence sur la propagation des ondes électromagnétiques ?

Ce qui pourrait essentiellement perturber les ondes électromagnétiques sont les obstacles. Les ondes se propagent tant qu'elles ne rencontrent pas d'obstacles, donc si il y a de nombreux murs de refends,... il y a des chances pour que les émissions n'arrivent pas partout. Il y a également tous les phénomènes de réflexion et de réfraction liés aux matériaux.

Quel est votre avis sur les polémiques tournant autour des ondes électromagnétiques ?

On ne m'a jamais démontré que ces ondes avaient des mauvaises influences sur l'homme, du moins en dessous des fréquences GSM, micro-ondes. L'énergie d'un photon augmente si la fréquence augmente. On utilise les basses fréquences seulement pour faire passer de l'information. La fréquence des micro-ondes permet de faire vibrer les molécules d'eau qui en se frottant les unes aux autres, vont commencer à s'échauffer. La fréquence des ondes GSM étant proche de celle des micro-ondes, on pourrait se poser quelques questions quant à leurs conséquences sur l'homme.

Comment expliquer que certaines personnes soient plus sensibles que d'autres ? Peut-être aller voir dans des disciplines comme le reiki [en rigolant] : une personne peut être composée de plus ou moins d'éléments "magnétiques", donc peut être plus de fer ? Ils seraient donc plus sensibles aux ondes électromagnétiques ?

ANNEXE 5

Réponse au questionnaire concernant le High Voltage Laboratory Arteché - ACXT Architects

09 février 2018

(JOSE SANCHEZ AGUILAR, 2018)

Le questionnaire a été envoyé au bureau ACXT Architects. J'ai reçu des réponses de Francisco Jose Sanchez Aguilar, qui travaillait sur le design du bâtiment et particulièrement sur les questions concernant le traitement des ondes électromagnétiques. Ses réponses ont été retranscrites ci-dessous.

Has the localisation of the project been considered to limit electromagnetic fields ? If yes, what are the specifications of your site ?

No. The location of the building was selected by the Client in the plot of his industrial area, close to Mungia (north of Spain). There are not special communications (such radio, tv or mobile) antennas close to this building.

How have the Faraday's cages been done ? Are there specific materials or technics ?

The complete enclosure is a Faraday cage. The functional cage is the inner layer, where the complete surface of the walls and ceiling is made of galvanized steel trays. This surface is absolutely flat, with not edges or tips to avoid concentration of electric fields. All the sheets of those trays are welded to the next ones, with at least two welds with a length of 3 cm/each. The slab has an array of stainless steel plates every 50 cm, placed over the reinforcing bars of that slab. All those elements of the Faraday cage are connected to earth. The outer skin of the building is made of stainless steel, and it is also connected to earth, separately from the inner layer. Of course, the building has not windows to outdoor. The indoor windows from operators rooms to the lab area has a grid (made of galvanized steel) 5x5 cm covering the full area of the windows. It has been taken specific measures (in terms of contact materials and weldings) to avoid galvanic corrosion.

What are the main materials you use to stop electromagnetic fields ?

Stainless Steel and galvanized Steel.

Do the shape (with a lot of bends) and the materials of the covering have an influence on reducing electromagnetic fields ?

Yes, as said before, they must be avoided edges and tips within the inner layer.

Réponse au questionnaire concernant la MCS Gerechtes Wohnhaus - Andréas Zimmermann

15 mars 2018

(ZIMMERMANN, 2018)

Le questionnaire a été envoyé au bureau Andreas Zimmermann Architects. J'ai reçu des réponses de Andréas Zimmermann lui-même, qui a en grande partie imaginé le bâtiment. Ses réponses ont été retranscrites ci-dessous.

I saw in some articles that the building was made like a Faraday cage. How have this been done ? Are there specific materials or technics ?

It is not like a Faraday cage. The protection against different electric / electromagnetic waves isn't absolute. Means, there is some range of waves that can pass into and out from the building. Within the outside plaster of the walls this material was used: http://www.stoag.ch/de/produkte/produktprogramm/produkt_321010156.html the page is also in french. It was important that the protection was all over. Within the windows, the frames are covered by metal caps, the glass is (to make the thermal insulation better) covered with a thin sheet of silver (that is a technique of a standard insulated glass!); a glass like this was used: <https://www.euroglas.com/produkty/glas/381-silverstar-en2plusund-en2plus-t.html>

What are the main materials you use to stop electromagnetic fields ?

see above. The concept for the protection of electromagnetic fields / waves etc. was established by Andy Schmidiger; (the page is only in German) http://www.mensch-und-technik.ch/?name=elektrobiologische_

beratungen A special material inside the building was used in the concrete floors. The steel in the floor slabs are all magnetic (normally). They therefore modify the natural magnetic fields. These modifications may cause damage to sensible people. Therefore the floor slabs of all living and sleeping areas were not reinforced with steel, but with glasfibersticks: <https://www.schoeck-bauteile.ch/fr-ch/combar> (en francais). This material is quite expensive, but it is not magnetisable, and it cannot conduct creeping currents. In addition, this net was used within the plaster of the flooring to balance possible peaks of the magnetic fields: http://www.mensch-undtechnik.ch/upload/nip_netz_zur_bauanwendung_1453656.pdf

Do the shape of the building and the rooms have an influence on reducing electromagnetic fields ?

The geometry of the house results of the shape of the plot. We designed the house with the intent to concentrate all technical elements (water / heating / airconditioning-pipes, elevator, technical installations etc.) in the centre of the house, as far away as possible from the sleeping and living areas. No walls adjoining the sleeping areas are equipped with technical installations

Have plans of the appartements been made to limit electromagnetic fields ?

see above

I saw in some articles that studies had been lead to know whether the building was beneficial for electrohypersensitive people. Is it concluding or not ? Can the experience be renewed ?

I don't quite understand the question. What can be said is that the people living there are very happy with the house, and especially with the electrosensible part of it. But it is also important, that they have clear house rules which for example forbid the use of mobile phones, WLN and Dect-telephones within the house.

L'environnement électromagnétique n'a cessé de croître durant ces dernières années. Il est la résultante des nombreuses évolutions technologiques comme le développement du transport de l'électricité, l'arrivée des GSM, du wifi, du réseau 3G et 4G,... Cette augmentation d'ondes va soulever de nombreuses polémiques au sein de la population et les **représentations sociales** qu'ils se font du problème vont être diverses et souvent opposées. Pour répondre à toutes ces inquiétudes, des solutions peuvent être proposées par les architectes. Ils ont la possibilité d'agir sur la perméabilité ou l'imperméabilité de leur projet face aux ondes électromagnétiques en travaillant sur l'implantation, les matériaux, la mise en forme et l'aménagement intérieur du bâtiment. En intervenant sur ces quatre **outils de conception architecturaux**, ils peuvent apporter des réponses concrètes aux questions soulevées par la société.

