

L'environnement électromagnétique

le grand oublié
de la transition
numérique



MESUREM_Christophe Lefebvre

- EXTRAITS -

MESUREM.com

EXTRAIT DU CHAPITRE *Prendre la mesure des CEM*

"

Les niveaux d'exposition augmentent-ils ?

On a vu dans la partie précédente que la stricte focalisation sur l'intensité des CEM reflète une insuffisance de notre époque qui fait le service minimum en la matière ; cependant quand bien même il serait plus que prudent de considérer les autres paramètres, l'intensité restera sans doute le principal à surveiller, dans la mesure où, jusqu'à un certain point donc, on peut considérer que *c'est la dose qui fait le poison*.

D'un point de vue pragmatique, ce critère est en outre le seul que l'on puisse à ce jour quantifier au moyen d'appareils de mesure, évaluer à l'aune de référentiels, quand bien même ce n'est pas toujours simple même pour des professionnels disposant de matériels sophistiqués ; à fortiori pour des profanes.

En tant que particulier, le désir d'évaluer son exposition aux CEM est compréhensible : on peut être exposé à des niveaux atypiques sans le savoir du fait déjà de la méconnaissance du contexte où l'on évolue, des influences externes ou du fait de la sous-estimation des rayonnements produits par ses propres outils et systèmes, puisque les rayonnements ne sont probablement pas perceptibles par nos sens ; il peut en outre être légitime d'anticiper encore une fois le fait que les seuils réglementaires se révéleront rétroactivement dans le futur comme insuffisants à nous protéger aujourd'hui de tous les effets des ondes.

On peut déjà se poser la question où nous en sommes et quelle est la tendance ? Est-il possible seulement d'évaluer le niveau d'exposition des populations à l'heure actuelle, de la quantifier ?

Peut-on dire que les niveaux ont augmenté significativement ces dernières décennies en parallèle avec les évolutions des systèmes de communication, la généralisation de l'Internet en mobilité, la multiplication des antennes ainsi que le déploiement des réseaux privés ?

Peut-on dire plus généralement que les niveaux augmentent en corrélation avec les débits ?

Évaluer le niveau ambiant extérieur

En ce qui concerne l'évaluation des niveaux d'exposition dans l'espace *extérieur*, l'espace commun, à moins de faire ses propres relevés en se déplaçant avec des champmètres dans les mains ce qui peut s'avérer instructif localement mais qui sera toujours limité, pour avoir une vision d'ensemble si l'on considère la France hexagonale du moins, on peut avoir accès aux relevés de l'ANFR via leur site Internet.

L'ANFR propose une carte des villes et des campagnes colorisée selon un code en fonction des intensités d'exposition, qui reste une estimation à larges traits étant donné qu'elle est fondée sur une simulation, probablement algorithmique. L'ANFR transmet également des relevés extérieurs en situation réelle, effectués par des laboratoires en des lieux et à des heures précises. On peut accéder à des relevés relativement anciens, les comparer à des relevés plus récents, cependant on atteint assez vite les limites de cette présentation : les relevés sur le terrain sont disparates, ils n'ont pas été pensés pour établir un historique sérieux de l'évolution des niveaux ; outre que si on dispose parfois de mesures potentiellement comparatives sur quelques années, des différences méthodologiques comme l'heure à laquelle les relevés ont été effectués rendent les données peu exploitables. On ne peut comparer le niveau d'un début d'après-midi à celui de la sortie du travail quand tout le monde sollicite à l'extérieur les antennes-relais, pour ne relever que cette limitation.

A noter que cette cartographie de l'ANFR ne concerne que les lieux extérieurs ; les points de mesures accessibles sur leur site ne sont presque jamais effectués dans les lieux clos, sauf quelques mesures des émissions de compteurs Linky, probablement sur la demande de particuliers.

En résumé les points de mesure et la cartographie effectués par l'ANFR sont une photographie utile mais insuffisante des niveaux de rayonnements présents dans l'espace commun. Ils nous indiquent en l'occurrence que les niveaux d'exposition sont la plupart du temps loin des seuils officiels mais étant donné la brièveté des mesures, effectuées en un seul point de l'espace et du temps, ils ne peuvent suffire à apprécier tous les contextes ; outre qu'ils ne permettent pas en l'état actuel de la proposition, ce qui aurait été le plus utile, de dessiner un historique des évolutions des niveaux de rayonnements en fonction des modifications et redéploiements technologiques.

Enfin, ces points de mesure ne donnent qu'une idée des intensités du

rayonnement ambiant présent dans un lieu comme une rue mais ne peuvent véritablement éclairer sur les expositions individuelles, celles des personnes présentes par exemple dans les véhicules et plus généralement celles des usagers de l'espace urbain comme les piétons ou piétonnes portant et utilisant potentiellement des dispositifs personnels tels des systèmes Bluetooth et surtout bien entendu un smartphone et en train de l'utiliser par exemple pour téléphoner ce qui serait potentiellement la source majeure d'exposition s'ajoutant au rayonnement ambiant.

Mesurer les espaces intérieurs

En tant que particulier on souhaiterait pouvoir apprécier dans quelle mesure les intensités émises par les systèmes et antennes extérieures se retrouvent à l'intérieur, dans son propre lieu de vie, et plus globalement, à l'instar de la qualité de l'air, pouvoir contrôler et évaluer avec un niveau de confiance assez élevé la qualité de l'environnement électromagnétique en priorité dans son habitation privée.

On sait qu'un lieu de vie fermé constitue un écran relatif, une barrière naturelle contre les CEM venant de l'extérieur, cependant son efficacité dépend de nombreux paramètres comme la nature et l'épaisseur des matériaux des murs, l'orientation des fenêtres et la proximité ou non d'antennes extérieures.

De surcroît, les sources de l'environnement très proche comme le voisinage et surtout les propres systèmes et infrastructures électriques et de communication du foyer lui-même, peuvent constituer la source principale de perturbations de l'environnement électromagnétique du lieu quantitativement parlant.

Dans le cas où ces sources internes sont significatives, la structure peut jouer à l'inverse négativement et piéger dans une certaine mesure, selon la densité des matériaux des murs notamment, une partie des rayonnements à l'intérieur.

Les niveaux que l'on pourra mesurer dans un lieu de vie clos, basses et hautes fréquences confondues, seront toujours sauf cas particulièrement atypiques en-deçà voire loin des seuils limites officiels, par contre souvent proche ou au-dessus des recommandations non-officielles, et surtout on pourra constater des différences notables d'un lieu à un autre en fonction des spécificités du lieu évoquées ci-dessus ; les choix d'équipements personnels et la vigilance des occupants jouant aussi pour une part importante.

Enfin, il faut insister sur le fait qu'en l'absence d'un diagnostic sérieux, il est difficile de connaître en détail et précision la situation du son propre espace privé.

Évaluer soi-même

L'évaluation d'un lieu de vie fermé soumis aux influences externes lointaines, externes proches et internes est plus complexe qu'il n'y paraît, du moins si on veut le faire un peu sérieusement. Il est toujours possible d'acheter un ou deux appareils bon marché qui donnera une idée pour quelques plages de fréquences, mais qui laisseront aussi des doutes sur leur fiabilité et sur les plages de fréquences qu'ils ne pourront pas mesurer. Il faudra en outre ne pas se laisser piéger par les réflexions des ondes sur les éléments solides du lieu comme les murs, être capable d'identifier les sources en cas de niveaux atypiques relevés, évaluer le réseau de terre et la connexion des masses métalliques à celui-ci, savoir prendre les bonnes dispositions si on souhaite diminuer les niveaux constatés, etc.

Le point positif concernant la gestion de l'environnement électromagnétique de son espace de vie personnel est que l'on peut dans une certaine mesure agir sur certains facteurs qui en conditionnent la qualité déjà en évitant de produire soi-même des rayonnements, en limitant certains usages : téléphone DECT qui ne rayonne pas ou téléphone filaire, réseau Ethernet plutôt que WIFI, connexion filaire plutôt que Bluetooth, dispositifs d'électricité biocompatible...

Il est possible également d'anticiper en amont les risques d'exposition aux sources extérieures lors du choix d'implantation du lieu et dans le cadre d'une rénovation ou d'une construction par le choix de certains matériaux plutôt que d'autres ainsi que par la conception du lieu, la recherche d'une orientation d'évitement vis à vis d'antennes ou sources identifiées ; gardant à l'esprit qu'en la matière quels que soient nos efforts à moins de vivre dans un souterrain et sans le moindre appareil électrifié, il sera impossible d'atteindre le niveau zéro rayonnement ; en vivant dans la société humaine nous devons accepter de baigner dans un environnement électromagnétique modifié.

"

EXTRAIT DU CHAPITRE *Des réseaux sans limite de satisfaction*

"

La 5G explore de nouvelles fréquences

Sous l'angle de la modification de l'environnement électromagnétique, la première évolution marquante de la 5G à souligner est une évolution dans l'utilisation du spectre des fréquences.

On peut se demander pourquoi les opérateurs du secteur se bagarrent dans une fourchette de fréquences aussi resserrée et n'utilisent-ils pas tout simplement l'ensemble du vaste spectre disponible à l'envi. Parce que l'électromagnétisme est une science avec ses lois et ses contraintes : des fréquences trop basses offrent des bandes passantes limitées, des ondes à fréquences plus élevées peuvent transmettre plus d'informations cependant les longueurs d'onde associées étant plus petites (les fréquences sont inversement proportionnelles aux longueurs d'ondes), elles deviennent plus sensibles à l'environnement, aux obstacles et donc limitées en terme de propagation.

Les opérateurs de communication recherchent en conséquence et depuis le début de l'avènement de ces technologies le meilleur compromis entre capacités et facilités de diffusion. Les fréquences situées dans la meilleure fourchette sont connues : celles déjà largement exploitées historiquement par les antennes du réseau mobile et aussi celles par exemple du WIFI.

Face à l'explosion des besoins, notamment quantitativement, les techniciens du secteur cherchent à étendre l'utilisation du spectre vers des bandes de fréquences plus hautes mais se heurtent aux limites de propagation des CEM.

Outre les fréquences déjà exploitées par le réseau mobile, dans la fourchette entre 0,9 et 6 GHz, voire des fréquences plus basses pour les zones rurales ou certains dispositifs comme la TNT (entre 470 et 694 MHz) ou la radio analogique et désormais numérique (entre 170 et 240 MHz), la 5G utilise en France quant à elle notamment une bande autour de 3,5 GHz ainsi qu'une fréquence dédiée qualifiée de millimétrique à 26 GHz.

La 5G se caractérise donc par une gestion du spectre particulière avec un début de tentative d'intégrer dans son architecture d'émission des fréquences plus élevées que celles habituellement utilisées pour des communications grand public, logique qui devrait se confirmer et s'amplifier encore avec la génération suivante (6G).

la 5G essaime des antennes

On a vu que ces fréquences plus hautes sont plus sensibles aux fluctuations météorologiques ou à la présence d'obstacles ; en conséquence leurs champs et distances d'émission sont intrinsèquement limités, c'est pourquoi leur utilisation, si elle se généralise, produira mécaniquement la multiplication du nombre d'antennes déployées.

A ce stade la fréquence à 26 GHz est plutôt limitée en France à des lieux spécifiques semi fermés type gares, centres commerciaux, foires...

Mais à terme elle devrait être utilisée par un réseau d'antennes qualifiées de *métrocellules* ou *small cells*, dissimulées un peu partout dans l'espace urbain, sur les poteaux existants, par exemple les feux de signalisation et autres structures du mobilier urbain.

L'ambition de la 5G est donc d'ultra optimiser et ultra sécuriser la transmission en tout point notamment en zone urbaine, une ambition qui va produire une multiplication du nombre d'antennes déployées en plus de la mutualisation de celles déjà existantes, mobilisant des technologies évoquées précédemment qui permettent des utilisations croisées. La logique étant de coller au plus près des utilisateurs et utilisatrices efficacement : de plus petites antennes mais en plus grand nombre permettant d'augmenter encore et toujours les débits à la fois du canal montant et du canal descendant ; ainsi que réduire les délais de latence.

La véritable révolution de la 5G : des réseaux au réseau de faisceaux, du lobe au faisceau

Cependant l'évolution majeure de la 5G est peut-être moins l'extension du domaine des fréquences ou l'augmentation du nombre d'antennes que l'aboutissement d'une nouvelle technologie, déjà amorcée dans les WIFI récents et dans la 4G+ et plusieurs fois évoquée dans ces pages, qualifiée par le terme anglais de *beamforming*.

Il s'agit d'une technologie d'antennes produisant des rayons optimisés et intelligents ; les lobes d'émission sont resserrés en mode *faisceau* avec une directivité accentuée. Chaque support rectangulaire dissimule désormais 128 mini antennes directionnelles capables chacune de diriger leur rayonnement vers un utilisateur différent, moduler la direction et l'intensité à la demande, fonctionnalités qui devraient se perfectionner progressivement et trouver leur aboutissement avec la génération suivante (6G) qui intégrera pour parachever entre autres cette mutation une IA dédiée et native.

Cette technologie permet on le comprend de canaliser le signal transmis et, sous l'angle de l'énergie transportée en premier lieu de limiter les pertes, les bavures, les émissions dans le vide qui atterrissent nulle part, absorbées par les éléments solides rencontrés ou s'épuisant dans l'espace aérien vers le ciel comme les anciens systèmes d'antennes qui produisent un large lobe peu focalisé ; et donc d'idéaliser la transmission à la demande selon les besoins en espérant à terme aboutir à ce que le moindre watt d'énergie serve effectivement à la transmission. Entre parenthèses l'objectif recherché par les entreprises qui développent ces technologies de faisceaux directionnels n'est pas seulement d'économiser de l'énergie mais aussi de tenter de se conformer aux contraintes de *compatibilité électromagnétique* (la CEM) entre les systèmes émetteurs qui se côtoient de près et de plus en plus.

A noter que dans un contexte de forte densité d'obstacles, notamment d'obstacles mouvants comme dans une foule, le beamforming rencontrera évidemment des limitations, les faisceaux pouvant être absorbés entre autres par les personnes qui se trouveront entre l'antenne et l'utilisateur provoquant l'instabilité de la connexion ou par l'utilisateur lui-même. Plusieurs parades techniques existent cependant : l'émission de plusieurs faisceaux en même temps (MIMO), la multiplication des implantations de petites cellules, la recherche d'un chemin indirect par l'utilisation des réflexions sur les surfaces solides environnantes, l'emploi de fréquences plus basses donc moins sensibles aux obstacles...

Rayonnements canalisés mais

Sous l'angle de la protection de l'environnement électromagnétique, l'évolution est notable : on passe d'une forme d'émission en large lobe directionnel qui arrose à une forme d'émission en faisceau resserré. On a vu précédemment que cette technologie du faisceau directionnel intelligent devrait être intégrée à terme sur les smartphones haut de gamme et on peut le prévoir à plus long terme sur le plus de dispositifs de communication possibles, ceux possiblement en visibilité d'une antenne de réception. Le développement de cette technique déjà dans un premier temps côté antennes du réseau suffit à justifier qu'un effort d'évaluation de l'impact de faisceaux traversant ou heurtant les organismes, contenant dans un rayon étroit une énergie densifiée, passant pour partie à travers les organes sensibles des personnes, les zones cérébrales, le cœur, le système sanguin ou nerveux, un organe sensoriel comme l'œil... soit sérieusement entrepris.

On peut certes anticiper une diminution des niveaux en dehors des faisceaux mais il s'agit d'une projection théorique ; il faut garder à l'esprit qu'en contexte urbain

notamment, ces faisceaux vont se démultiplier du fait de l'explosion des usages.

On peut donc craindre que la généralisation à terme des systèmes usant de cette technologie produira une jungle à haute densité de faisceaux très resserrés dans les zones les plus peuplées.

On peut en outre s'attendre à ce que cette transition produise un mode d'exposition de plus en plus personnalisé, du fait que les antennes vont donc désormais focaliser vers l'utilisateur ou l'utilisateur leurs signaux.

Ces faisceaux intelligents, de mieux en mieux optimisés par un traitement algorithmique produiront autant de situations d'exposition que de comportements d'utilisateurs et utilisatrices, un contexte électromagnétique mouvant et personnalisé en terme de modulations, rythmes d'émissions-interruptions, intensités de rayonnement et fréquences d'exposition uniques et évolutives en temps réel, selon les mouvements et l'activité de la personne, dans lequel baignera inmanquablement celui ou celle qui le suscite quand bien même les dispositifs en jeu tenteront d'établir une connexion pure et parfaite, sans fuite, d'antenne à antenne, et s'inscrivant dans le bruit de fond du contexte électromagnétique environnant (autres systèmes et antennes dans le champ d'action mais non sollicités), lui-même de nature variable et instable.

Impact des modulations

On a vu dans le chapitre consacré à la santé que la fréquence et les intensités ne sont pas les seuls paramètres d'influence potentielle ; la forme des modulations, donc la forme que le système de codage choisi induit à l'onde qui transporte l'information, en est possiblement un autre.

Concernant la 5G, la modulation employée (OFDMA) est une évolution de celle de la 4G. Sans entrer dans des détails de techniciens, on peut voir qu'elle se caractérise plus que jamais par une forte variabilité des niveaux, par un découpage en petits morceaux des temps et fréquences utilisés ; on peut s'en représenter la forme par l'image d'un damier.

Bref

Il s'agira de rester vigilant concernant la fréquence à 26 GHz, à priori plus énergétique bien que moins pénétrante du fait d'une longueur d'onde plus petite que les fréquences usuelles de la téléphonie mobile, puisqu'on peut s'attendre à voir son utilisation augmenter s'il s'avère qu'elle apporte une amélioration technique pour certains contextes ou usages ; au moins tant que la littérature

scientifique décrivant son impact restera pauvre.

D'autant que pendant ce temps, le déploiement des technologies de communication se poursuit aussi dans un autre domaine : son étendue spatiale. Les ondes électromagnétiques hertziennes dédiées à la communication et à la transmission de données explorent désormais en effet d'autres vecteurs... Outre les circuits matériels et l'espace aérien, il s'agit d'un troisième lieu de diffusion des ondes en voie d'exploser en terme d'occupation et de moyens déployés : l'espace satellitaire.

"

