

Téléphonie mobile et Rayonnements électromagnétiques

Préface

Au cours des différentes conférences que Georges TREBBIA est fréquemment amené à conduire sur le sujet de la téléphonie mobile cellulaire, la question de la dangerosité des ondes électromagnétiques est posée d'une manière récurrente. Il suffit d'ailleurs de consulter la presse qui, presque quotidiennement, publie un article sur le sujet, pour constater qu'il s'agit là d'une préoccupation majeure de notre époque.

Rien d'anormal à cela quand on voit ces grands panneaux inesthétiques se multiplier sur les toits ou les façades des immeubles ; ils nous "crachent" dans la figure des ondes dont on ignore tout sauf qu'elles ont un effet sur les cellules puisqu'on les utilise dans les fours à microondes afin de porter nos aliments à des températures élevées.

"Face à un danger, pour bien le combattre, il faut d'abord apprendre à le connaître", c'est l'enseignement des militaires que les écoles de gestion ont transcrit en : "Face à un problème, pour bien le résoudre, il faut d'abord apprendre à le connaître"

L'objectif de ce guide est de faire mieux connaître la téléphonie mobile, comment elle fonctionne. Les termes utilisés, bien que techniques, sont expliqués dans un vocabulaire simple. Les dessins, volontairement simplificateurs, permettent de se représenter la composition d'un réseau de téléphonie mobile, et son développement dans le temps en fonction de l'évolution des usages par les utilisateurs.

Il s'agit donc d'un document de télécommunication et non de médecine biologique, domaine dans lequel l'auteur n'a aucune compétence. Il se garde donc bien de se prononcer sur la dangerosité des rayonnements électromagnétiques. Sa méthode de raisonnement est la suivante : "si l'on suppose qu'un risque sanitaire était avéré, d'où vient-il et sur quoi doit-on agir pour qu'il soit le plus faible possible".

En annexes, deux documents ont été ajoutés, pour répondre à certaines questions souvent posées en réunion :

- le résumé du rapport sur le principe de précaution remis au Premier Ministre le 15 octobre 1999 par deux universitaires, Philippe KOURILSKY Professeur au Collège de France et Membre de l'Institut et Geneviève VINEY de l'Université de Paris 1. Ce rapport a servi de base au texte intégré dans la Constitution en 2005.
- l'évaluation, effectuée en 2009 par l'Office Parlementaire d'Evaluation des Choix Scientifiques et Technologiques, de l'application par les tribunaux de la loi après son intégration dans la Constitution.

Sommaire

1.	Pourquoi le GSM et pourquoi GSM ?.....	7
2.	Le spectre électromagnétique.....	10
3.	La téléphonie GSM est fondée sur la notion de cellules	12
4.	Les différentes formes de cellules et de sites.....	13
5.	Architecture d'un réseau GSM	15
6.	Plan de fréquences de la téléphonie mobile	17
7.	Une fréquence est un bien rare et cher	19
8.	Les interférences.....	21
9.	Le Contrôle de Puissance	23
10.	Les systèmes radio d'accès au réseau.....	25
11.	TDMA = 8 Canaux disponibles par fréquence.....	27
12.	Puissance émise par le portable ?	29
13.	Timing Advance ou Avance de Temps	33
14.	Définition de l'ERLANG, unité de trafic de téléphonie	34
15.	Trafic écoulé dans une cellule	35
16.	Le Demi-Débit	36
17.	Observations de trafic	37
18.	Création d'un site	38
19.	Puissance et sensibilité	39
20.	Quelques ordres de grandeur	42
21.	Watt et Volt par mètre - Das.....	45
22.	Carte de couverture	47
23.	Les Antennes.....	48
24.	Diagramme de rayonnement d'une antenne.....	52
25.	La mutualisation des antennes.....	54
26.	Evolution du champ électrique en fonction de la distance	56
27.	Différents types de stations de base.....	59
28.	Densification de la couverture	60
29.	La multiplication cellulaire	62
30.	Réseau en multicouches	63
31.	Pistes de réflexion proposés par l'AFUTT	65
32.	Foire Aux Questions.....	67
33.	Glossaire	75
34.	Annexes	80
1	Le principe de précaution	80
a)	Son contenu.....	80
b)	L'évaluation de son application par l'OPECST	88

Remerciements

Si ce guide a pu voir le jour c'est aussi grâce à l'apport de spécialistes dans différents domaines des télécommunications tels que Arnaud Miquel de l'ANFR, Alain Azoulay et Thierry Letertre de l'Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications, Michel Mouly et Didier Verhulst de la société Cell & Sat, qui m'ont apporté leur soutien et leurs suggestions dans la rédaction de certains chapitres.

Je les en remercie chaleureusement, avec une mention particulière bien sûr pour Denis Lebœuf, membre du Collège des Conseillers de l'AFUTT, dont la lecture critique a beaucoup amélioré la lisibilité de ce guide.

1. POURQUOI LE GSM ET POURQUOI GSM ?

GSM (**Groupe **Sécial **Mobiles**) – 900 MHz****

Global **System **Mobile **Communication******

DCS (**Digital **Cellular **System**) – 1800 MHz****

UMTS / **3G** - 2100 MHz

LTE / **4G** - 2600 MHz et 800 MHz

Dans la deuxième moitié des années "70, l'usage du téléphone de voiture commence véritablement à sortir de la confidentialité dans une certaine couche de population assez itinérante. Il est cependant freiné par la multitude des standards en service au niveau européen. En dehors des pays nordiques qui exploitent le même système, la Belgique, le Luxembourg, les Pays Bas, le Royaume Uni, l'Allemagne, la France, l'Italie, l'Espagne et la Suisse utilisent des systèmes incompatibles entre eux. Un automobiliste équipé d'un téléphone de voiture et sortant de son pays d'origine ne peut donc plus l'utiliser.

Pour régler ce problème d'incompatibilité, à la fin de la décennie, deux décisions importantes sont prises. D'une part, l'**UIT** (Union Internationale des Télécommunications) qui régit les télécommunications au niveau mondial décide d'anticiper le développement des télécommunications mobiles. Elle réserve à l'usage exclusif de la téléphonie mobile et ce, au niveau mondial à l'exception des USA, , un certain nombre de fréquences dans la bande des 900 MHz, à l'échéance de 1990. D'autre part, les Européens décident de développer un standard commun. La Conférence Européenne des administrations des Postes et Télécommunications (**CEPT**) qui est l'entité de coordination entre les organismes des postes et des télécommunications des États européens, travaille sur la normalisation d'un nouveau système. Ses travaux seront repris en 1988 par l'**ETSI** (European Telecommunication Standard Institute) lors de sa création. Un

groupe de travail ad hoc, appelé *Groupe Spécial Mobiles*, est créé, en charge de rédiger les spécifications d'un système de téléphonie mobile cellulaire, avec comme objectif de mise en service l'année 1990. Le **GSM** était né, tout au moins sur le papier.

Ce n'est que plus tard, au moment de la mise en service des réseaux, que les responsables marketing ont jugé bon de donner une appellation plus commerciale à ce sigle et l'ont baptisé Global System Mobile.

C'est donc le fameux **Roaming international**, que l'on peut résumer comme la possibilité d'utiliser son téléphone mobile pour appeler et être appelé en dehors de son pays d'origine, qui est véritablement à l'origine du GSM.

Pendant les dix années qu'a duré la rédaction des spécifications, la notion de coopération européenne a prévalu sur la notion de concurrence.

Il faut noter que l'une des raisons essentielles du succès industriel de cette technologie est, fait extrêmement rare dans l'industrie et peut-être même unique dans l'histoire des télécommunications, que chaque participant au développement du GSM (laboratoires d'études, industriels) a du signer, à partir de 1992, un engagement de renoncement à tous droits de propriété et de rémunération sur les brevets déposés au cours de cette étude.

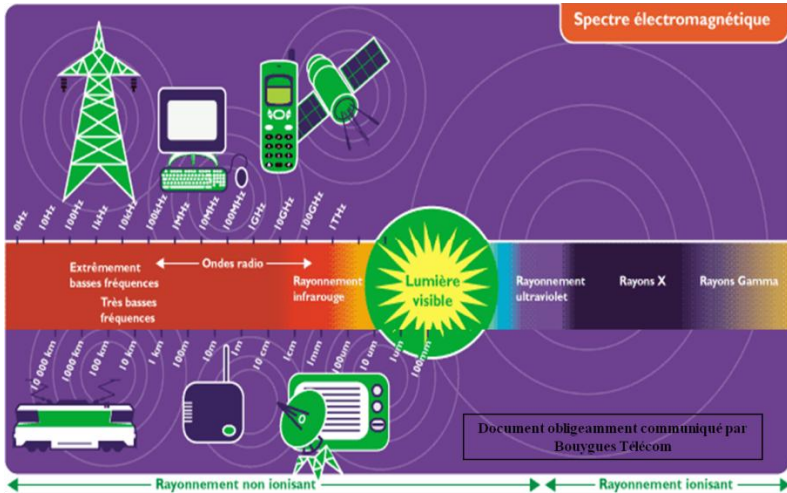
Par la suite, le développement inespéré de cette technologie a nécessité l'attribution, toujours au niveau mondial, d'une bande de fréquences plus étendue. Des canaux radioélectriques ont donc été réservés dans la bande des 1800 MHz. Du coup, pour faire la distinction avec le GSM, la technologie fonctionnant en 1800 MHz a été appelée **DCS** (Digital Cellular System), la seule différence entre les deux systèmes GSM et DCS étant le plan de fréquences.

Enfin, chacun d'entre nous peut constater que les usages évoluent, en particulier avec l'arrivée de l'internet mobile et nous sommes aujourd'hui beaucoup plus exigeants avec notre téléphone portable qu'il y a quinze ans, en particulier en rapidité de transmission de données ou de débit. C'est pourquoi, dans un premier temps des évolutions de type **GPRS** puis **EDGE** ont été étudiées, puis l'**UMTS** (Universal Mobile Telecommunication System) aussi appelé « 3G », sans oublier le **LTE** (Long Term Evolution) qui

devrait autoriser dans les 3 ans à venir des débits de plusieurs Mégabits/seconde.

Depuis début 2010, les opérateurs procèdent à des essais pour diffuser l'UMTS dans la bande des 900 MHz afin de profiter au mieux de la propagation des ondes dans cette bande de fréquences.

2. LE SPECTRE ELECTROMAGNETIQUE



De nombreux phénomènes physiques se propagent sous forme d'ondes. Certains sont facilement identifiables comme le son, la lumière, le choc d'une pierre dans l'eau, d'autres plus difficilement appréhendables comme les ondes radio. Mais tous sont caractérisés en particulier par la fréquence de leurs vibrations ou par leur longueur d'ondes; ces deux caractéristiques étant reliées par une relation mathématique simple :

$$\lambda = c/f \text{ Ou bien } f = c/\lambda$$

λ est la longueur d'ondes exprimée en mètres

c est la vitesse (célérité) de la lumière : 300 000 000 mètres par seconde

f est la fréquence exprimée en hertz

Ainsi à une fréquence de 900 MHz correspond une longueur d'ondes de :

$$3000\ 000\ 000 / 900\ 000\ 000 = 1/3 \text{ mètre} = 33 \text{ cm}$$

La planche ci-dessus présente quelques unes des fréquences les plus connues.

A partir de l'ultraviolet B, on tombe dans les rayonnements ionisants, ainsi appelés car il y a modification de la matière, on parle de radioactivité. On y trouve les rayons X et les rayons gamma etc. ... Ces rayons sont utilisés en médecine, mais peuvent être aussi générateurs de cancers.

Les fréquences utilisées pour la transmission radioélectrique vont de l'ordre de quelques hertz à plusieurs dizaines de Gigahertz (1GHz = $1 \cdot 10^9$ Hz).

La téléphonie mobile, quant à elle, utilise les ondes radioélectriques pour relier le combiné téléphonique à l'infrastructure. Leurs fréquences vont de 800 MHz à 2,6 GHz. Elles sont classées dans la catégorie des rayons non ionisants.

3. LA TELEPHONIE GSM EST FONDEE SUR LA NOTION DE CELLULES

Lorsqu'une antenne émet un signal radioélectrique, celui-ci est perçu dans une zone circulaire dont la taille varie en fonction de la fréquence utilisée et de la puissance d'émission. Les émetteurs de type "Bluetooth" (liaison entre ordinateur et appareil photo, les oreillettes) ont une portée de l'ordre de quelques mètres pour les utilisations "grand public" à faible puissance, tandis que les émetteurs de grande puissance¹, de plusieurs mégawatts (émetteur de radiodiffusion en "Grandes Ondes" comme RTL au Luxembourg), peuvent être reçus à plusieurs milliers de kilomètres, si les ondes se réfléchissent sur les couches de la ionosphère.

Dans les années "60, l'émetteur de téléphonie mobile parisien se trouvait sur la butte de Ménilmontant et couvrait tout Paris. Un deuxième site a ensuite été installé en haut de la tour Montparnasse, toujours sur un point haut. La couverture géographique de Paris était donc assurée par un émetteur autorisant une conversation téléphonique, puis par 2, 3, 4, 5, etc. émetteurs permettant autant de communications simultanées, chaque émetteur utilisant une fréquence différente. Or le nombre de fréquences disponibles étant limité, et comme en outre il n'est pas possible d'émettre deux fois la même fréquence en un même lieu, le nombre de communications simultanées était limité.

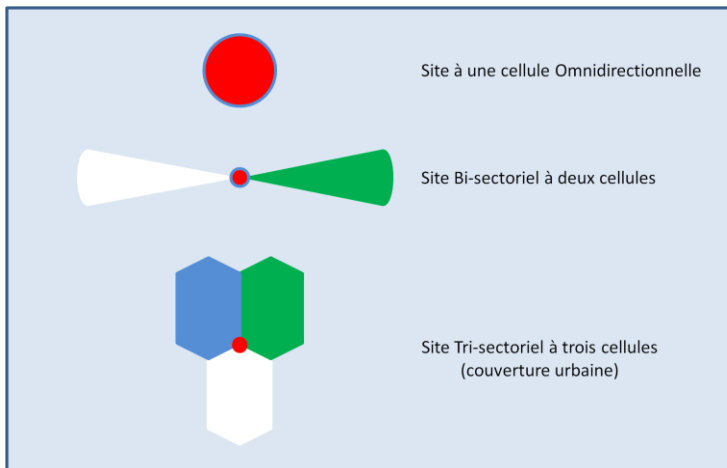
Il a donc été décidé d'abaisser la hauteur des antennes au niveau des toits et de réduire la puissance d'émission afin de réduire la zone géographique couverte par l'émetteur, et simultanément de multiplier le nombre de sites émetteurs. C'est la zone réduite, couverte par l'émetteur que l'on appelle alors "cellule".

En téléphonie mobile cellulaire, on profite des obstacles situés sur le sol tels que collines, immeubles, forêts, etc. ... qui constituent des écrans aux ondes radioélectriques entre les différents émetteurs afin de réutiliser à l'infini les mêmes fréquences de travail. Cette technique entraîne donc un abaissement de la hauteur des antennes.

¹ Les différents émetteurs de télévision situés sur la Tour Eiffel rayonnent chacun une puissance l'ordre de 100 à 200 kW

4. LES DIFFERENTES FORMES DE CELLULES ET DE SITES

En téléphonie cellulaire, il faut faire la distinction entre les sites et les cellules. Les équipements radio sont situés dans un site (bâtiment, abri extérieur...), et la couverture radioélectrique assurée par les antennes peut être de taille et de formes différentes. On parle alors de cellules omnidirectionnelles ou sectorielles. Un site peut assurer la couverture d'une ou plusieurs cellules.



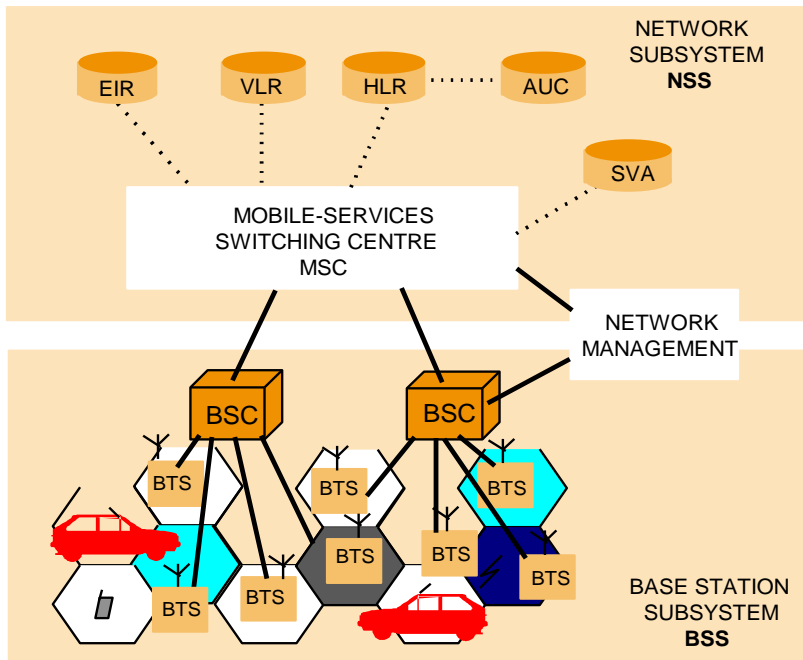
Quand la zone à couvrir est grande, uniforme et avec un trafic assez faible, les opérateurs vont installer une antenne "fouet" **omnidirectionnelle** identique à celles qu'utilisent les pompiers, la gendarmerie. Elle a pour particularité d'émettre et de recevoir les ondes radioélectriques dans un cercle complet de 360°. C'est aussi ce type d'antenne que les automobilistes installent sur le toit de leur voiture.

Par contre, quand une direction doit être privilégiée, une antenne dite "**sectorielle**" va être installée. Le nombre de secteurs va être fonction de la configuration géographique. Ainsi, le long d'une autoroute, si l'opérateur estime qu'aucune communication ne sera susceptible d'être passée à partir des champs avoisinants, il va préférer concentrer l'énergie rayonnée sur les zones utiles. Il va donc de préférence créer un site "**bi-sectoriel**"

composé de 2 antennes sectorielles à panneaux, l'une dirigée vers l'amont et l'autre vers l'aval, le long de l'autoroute ou même d'une voie de chemin de fer.

Dans les zones denses, là où le trafic est important, l'opérateur crée des sites "**tri-sectoriels**" équipés d'un système d'antennes à 3 panneaux rayonnants. A chacun des secteurs, va correspondre une seule station de base, dans une relation bi-univoque. Cette organisation permet de multiplier le nombre de communications simultanées qui peuvent être passées dans la zone géographique.

5. ARCHITECTURE D'UN RESEAU GSM



Un réseau GSM est constitué de deux grandes entités, le **NSS** et le **BSS**.

Le NSS (Network Subsystem) comprend essentiellement le **MSC** (Mobile Switching Centre), central téléphonique classique adapté au fait que les abonnés sont mobiles. C'est ce central téléphonique qui assure le raccordement des différents abonnés entre eux. Ce MSC est en relation avec différents équipements et bases de données tels que le **HLR** (Home Location Register), dans lequel sont inscrites les caractéristiques des utilisateurs ayant souscrit un abonnement dans sa zone d'influence; le **VLR** dans lequel sont inscrites les caractéristiques essentielles des abonnés qui sont de passage dans la zone d'influence, ainsi que des abonnés inscrits dans le HLR; l'**AUC** (Authentication Centre) dont le rôle est de vérifier à chaque connexion au réseau que le mobile est bien autorisé à le faire et de crypter les communications; l'**EIR** (Equipment Identity Register) qui est une

base de données dans laquelle sont inscrites les références des terminaux ayant été déclarés comme volés, pour leur interdire de se connecter au réseau; les **SVA** (Services à Valeur Ajoutée) qui regroupent différentes fonctions bien pratiques telles que le serveur de SMS et le serveur de messagerie vocale.

Le BSS (Base Station Subsystem) a pour fonction d'assurer le raccordement du NSS au téléphone mobile de l'abonné. Il est donc composé

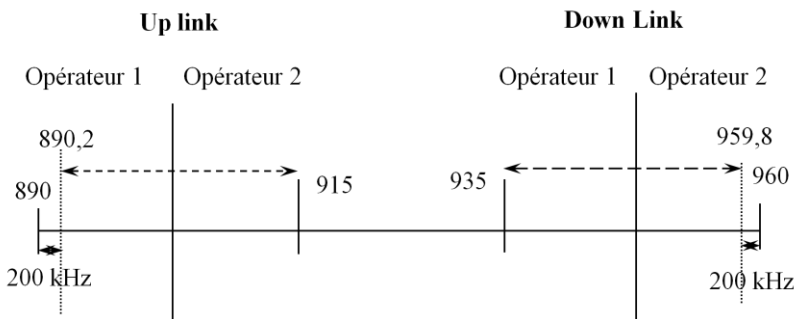
- De nombreuses **BTS** (Base Transmission Station) aussi appelées stations de base ou stations relais qui contiennent les émetteurs radio assurant la liaison avec les téléphones portables ; à la BTS est associée la notion de cellule. Il y a donc des milliers de BTS en service.
- Pour coordonner les BTS entre elles, on installe un **BSC** (Base Station Controller) ou contrôleur de stations de base. Un BSC peut contrôler de 1 à quelques dizaines de BTS. Les BSC sont raccordés aux BTS soit par des liaisons filaires, soit par des faisceaux hertziens.

Donc dans un réseau de téléphonie mobile, seul le dernier tronçon reliant le téléphone mobile au reste du réseau utilise systématiquement les ondes radioélectriques.

Afin de permettre l'exploitation et la maintenance du système, tant le NSS que le BSS disposent d'un **OMC** (Operation and Maintenance Centre). Celui du BSS, appelé **OMC-R**, permet à l'opérateur de connaître en permanence si toutes les stations de base fonctionnent correctement et quel est l'état de leur charge. Il est en effet très important pour l'opérateur de pouvoir anticiper la surcharge de certaines cellules qui entraînerait des coupures de communications ou même des rejets d'appel.

6. PLAN DE FREQUENCES DE LA TELEPHONIE MOBILE

Nous avons vu au chapitre 1 que le **GSM** fonctionne dans la bande des 900 MHz; plus précisément dans la bande standard de 890 à 960 MHz. Cette bande est divisée en canaux (groupe de fréquences). L'objectif du GSM étant d'écouler des communications téléphoniques, la largeur attribuée à ces canaux est assez faible (200 KHz).



Afin de permettre de se développer, des canaux supplémentaires de 200 KHz ont été attribués au **DCS** dans la bande des 1800 MHz, de 1710 à 1880 MHz.

Pour déterminer le nombre de canaux disponibles, il ne faut pas oublier que dans le système GSM/DCS une communication téléphonique utilise deux canaux distincts, un dans le sens montant ("uplink", du terminal vers le réseau) et un dans le sens descendant ("downlink", du réseau vers le terminal).

Au total, c'est donc près de 500 canaux que les différents opérateurs se partagent.

L'**UMTS** (Universal Mobile Telecommunications System) correspond à ce que l'on appelle la "**3G**" ou 3^e génération de la téléphonie mobile cellulaire, le GSM en représentant la 2^e. Du point de vue radioélectrique, il utilise en Europe la technologie du **W-CDMA**. Contrairement au GSM qui avait été défini au niveau européen par l'ETSI, et mis en œuvre mondialement sans aucune modification nationale, la "3G" est définie au niveau mondial par le consortium "**3 GPP**" (3rd Generation Partnership Project) sous la référence **IMT-2000**. Différentes régions (Amérique du Nord, Chine, Japon) ont

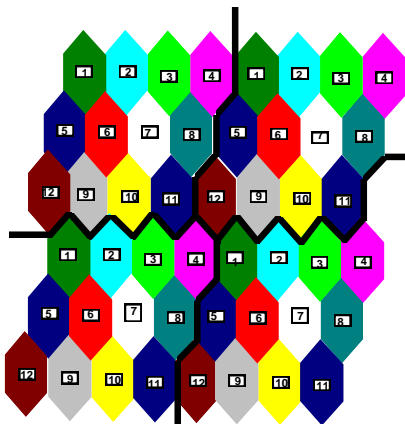
ensuite procédé à des adaptations locales qui font que les techniques de modulation et les plans de fréquences ne sont pas identiques partout. En Europe, le plan de fréquences utilisé va de 1885 à 2170 MHz.

L'UMTS a été imaginé pour répondre aux besoins de la transmission de données et de la navigation sur Internet qui nécessitent plus de ressources radioélectriques. Chaque canal a donc une largeur de 5 MHz (au lieu de 0,2 MHz dans le GSM).

7. UNE FREQUENCE EST UN BIEN RARE ET CHER

En France, un candidat opérateur de téléphonie mobile ne peut exploiter un réseau qu'à partir du moment où il a obtenu une licence d'exploitation. Outre la licence, il doit payer annuellement une redevance pour l'utilisation des fréquences qui, en nombre limité, sont considérées par les économistes comme une richesse nationale à ne pas gaspiller. Selon le principe de la cellule, l'opérateur doit donc réutiliser les mêmes fréquences à l'infini.

Le schéma ci-dessous montre le principe de cette **réutilisation des fréquences**. Il représente une zone géographique théorique composée de 4 quartiers, chacun d'entre eux étant lui-même composé de 12 cellules.



Chaque cellule est identifiée par un numéro et une couleur différente car elle fonctionne avec un paquet de canaux radioélectriques différent des autres cellules. Les fréquences utilisées par la cellule "1" étant différentes de celles de la cellule "2" ne risqueront pas de la perturber. Il en est de même pour les 10 autres cellules du quartier.

Mais il arrive un moment où tous les canaux sont utilisés et il est donc nécessaire de réutiliser des canaux déjà utilisés par ailleurs. C'est ainsi que dans le quartier voisin, on retrouve la même organisation de cellules.

De ce fait la cellule "2" du quartier en haut à droite est protégée de la cellule "2" du quartier en haut à gauche par trois autres cellules qui occupent un espace géographique, avec des immeubles, des forêts etc. ... qui constituent un écran de protection.

Cette disposition basée sur un ensemble de 12 cellules constitue un "**motif à 12**". Il existe d'autres motifs et les opérateurs s'efforcent en permanence de développer des motifs leur permettant d'utiliser au mieux les fréquences mises à leur disposition.

8. LES INTERFERENCES

*Parlez moins fort,
On ne se comprend plus*

Qui n'a jamais constaté au cours d'une réception de mariage ou d'un "pot" entre amis, que lorsque tout le monde parle, le niveau sonore ambiant augmentant, on finit par avoir des difficultés à comprendre ce que dit son voisin. Pour se faire soi-même entendre on a alors tendance à parler encore plus fort.

En télécommunication, dans une telle situation, on dirait que **le signal utile**, celui en provenance de son correspondant, est couvert par le **bruit ambiant**. C'est le rapport "Signal utile / Bruit ambiant" qui détermine la qualité audio de la conversation.

Il existe deux remèdes pour améliorer ce rapport, soit augmenter le niveau du signal utile, ce qui est fait au cours du "pot" entre amis, soit diminuer le bruit ambiant, c'est-à-dire diminuer la puissance d'émission des émetteurs voisins.

Une caserne de pompiers en Ile-de-France se plaignait d'être perturbée dans ses liaisons radio avec ses équipes sur le terrain, par les émetteurs d'une caserne voisine. Pour améliorer ses liaisons, la caserne augmentait donc sa puissance émise, mais elle était ensuite imitée par sa voisine. Elle augmentait alors la hauteur de son pylône etc. ... Bref c'était une course sans fin. Le problème a été résolu lorsque chacune des 2 casernes a accepté de réduire la hauteur de son pylône et la puissance d'émission au strict nécessaire.

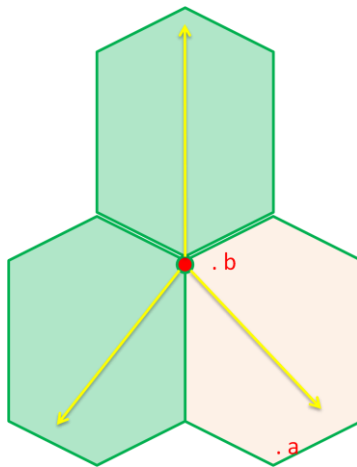
En téléphonie mobile cellulaire, les opérateurs sont confrontés au même problème. C'est pourquoi, en permanence, ils cherchent à réduire la puissance d'émission des stations radio pour qu'elles ne se perturbent pas les unes les autres.

Nous verrons au chapitre 13 que la taille maximum d'une cellule omnidirectionnelle en GSM ne peut pas dépasser 35 Kms. En fait, de nombreuses cellules ne dépassent pas 2 Kms et en ville, leur taille est souvent de l'ordre de la centaine de mètres. Les opérateurs vont donc régler la puissance d'émission au niveau juste nécessaire pour que le signal radioélectrique soit détecté à la frontière de la cellule.

Actuellement, et ce phénomène est constant depuis l'ouverture commerciale des réseaux de téléphonie mobile en 1991, le nombre d'abonnés est en augmentation constante, le trafic à écouler aussi. Les opérateurs sont donc dans l'obligation de "**densifier**" leur réseau en multipliant les cellules. Or si l'on multiplie par deux le nombre de cellules pour couvrir la même superficie de terrain, cela signifie grossièrement que la superficie de chacune des cellules est divisée par deux. Ceci explique que depuis la création de son réseau, chaque opérateur augmente le nombre de cellules et que la taille de celles-ci diminue en permanence ainsi que la puissance d'émission des stations relais associées.

9. LE CONTROLE DE PUISSANCE

Le schéma ci-dessous représente une cellule de forme sectorielle, avec sa station de base dans un angle, son antenne qui tire en bas à droite (vers "5 heures") et deux mobiles. L'un des mobiles, "b", est proche de la station radio et par conséquent de l'antenne, tandis que l'autre mobile "a" est situé en limite de cellule.



La distance à parcourir de la station radio au **mobile "b"** étant plus faible que celle pour atteindre le mobile "a", la puissance d'émission vers "b" n'a pas besoin d'être aussi forte que vers "a".

Les ingénieurs qui ont imaginé le système GSM ont donc défini la fonction "**Contrôle de Puissance**" ou gestion de la puissance d'émission dont le processus est le suivant :

- En permanence, le mobile teste le niveau du champ radioélectrique qu'il reçoit en provenance de la station radio et remonte le résultat de la mesure au BSC via la station radio
- Lorsque ce niveau est supérieur au besoin d'une transmission de qualité, le BSC demande à la station radio et au mobile de baisser leur niveau d'émission, et inversement de l'augmenter quand le besoin s'en fait ressentir.

Cela signifie qu'en permanence, la puissance des ondes radioélectriques émises, aussi bien par la station radio que par le mobile, est adaptée au besoin d'une liaison de qualité. Donc plus les cellules seront petites et nombreuses, plus les ondes radioélectriques rayonnées par l'antenne de la station de base et du mobile seront faibles, à sensibilité et gain d'antenne identiques.

Par contre, il est évident aussi que, si l'on téléphone d'un endroit qui est difficilement couvert par une station radio, soit parce qu'elle est éloignée, soit parce qu'il y a un écran tel que mur en béton dans une maison, vitres plus ou moins métallisées et carrosserie de voiture, vitres de TGV, les signaux émis par la station de base et par le mobile seront plus forts.

Cette fonctionnalité de contrôle de la puissance présente deux autres avantages :

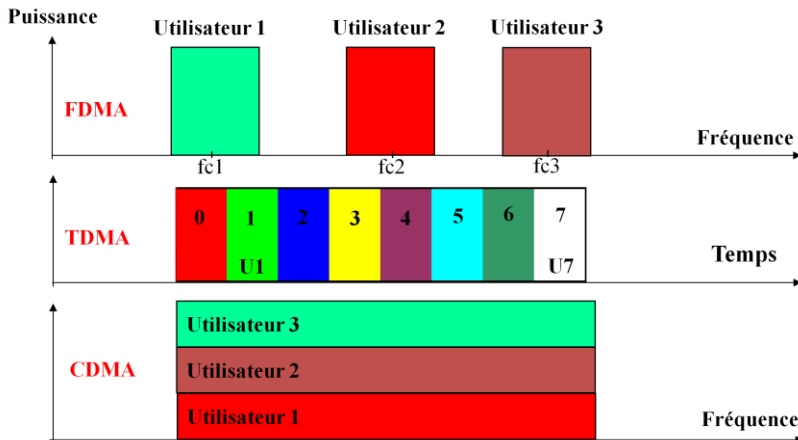
- Pour l'utilisateur du portable, sa tête et son corps sont soumis aux effets des ondes radioélectriques correspondants à la puissance juste nécessaire, et l'autonomie de la batterie du portable est augmentée,
- Pour l'opérateur, le fait de baisser la puissance d'émission diminue les risques de perturber les autres cellules voisines utilisant les mêmes fréquences.

10. LES SYSTEMES RADIO D'ACCES AU RESEAU

Pour bien comprendre la révolution qu'ont apportée la "2G" et la "3G" à la téléphonie mobile, un bref rappel technique s'impose.

La planche ci-dessous montre le principe de base des différents types d'accès à la ressource radio. FDMA, TDMA, CDMA sont respectivement représentatifs de la "1G", "2G" et "3G".

L'accès FDMA (Frequency Division Multiple Access) fonctionne sur le principe "1 fréquence = 1 utilisateur". C'est-à-dire qu'à un abonné en cours de communication, est affectée une fréquence dont il peut utiliser toute la puissance et ce, pendant toute la durée de sa communication. C'est un fonctionnement simple mais onéreux en fréquences puisque le nombre de fréquences détermine le nombre de communications simultanées. C'est un peu le même système qui est utilisé en télévision analogique puisqu'une chaîne de télévision, dans une région donnée, a l'entière disposition de la fréquence attribuée par le CSA.



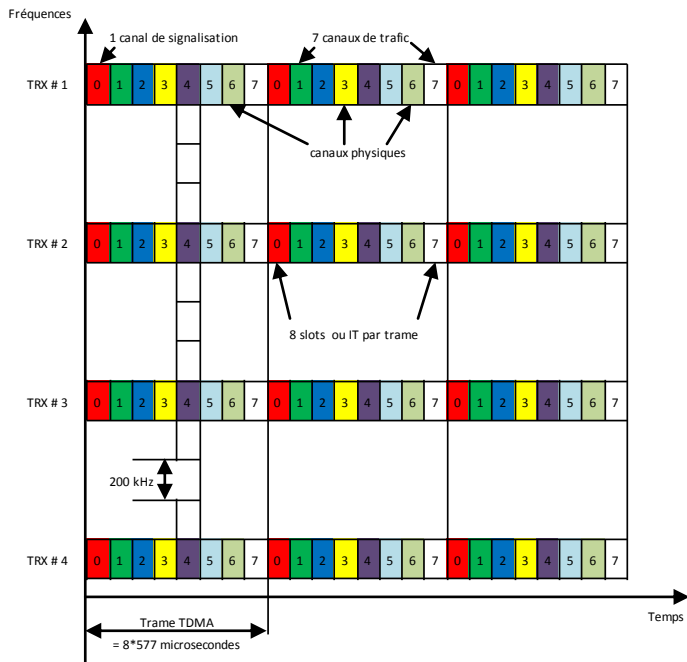
L'accès TDMA (Time Division Multiple Access) utilisée par le GSM est un peu plus compliqué dans son fonctionnement puisqu'il permet à 7 ou 8 utilisateurs différents d'émettre successivement sur la même fréquence, chaque utilisateur ayant à sa disposition la totale puissance de l'émetteur. Pour cela, on divise le temps en **8 IT** (intervalles de temps) de 577 microsecondes chacun, numérotés de 0 à 7. L'IT₀ est réservé au système

pour son propre fonctionnement, puis l'IT1 sera réservé à l'utilisateur #1 ; puis 577 microsecondes plus tard, l'utilisateur #2 va pouvoir disposer pendant 577 microsecondes de la puissance de la fréquence; ainsi de suite jusqu'à l'utilisateur #7. A la fin des 577 microsecondes réservées à cet utilisateur, on recommence le cycle, c'est-à-dire que l'IT0 va être utilisé par le système pour sa propre gestion puis 577 microsecondes plus tard, l'utilisateur #1 va pouvoir se raccorder etc. ... Le nombre d'utilisateurs simultanés dans une cellule GSM est donc de l'ordre de 7 fois le nombre d'émetteurs contenus dans la station radio. Bien que les paroles prononcées dans le micro de son téléphone portable par un abonné correspondent à un flot continu de sons, leur transmission n'est effectuée que d'une manière discontinue (à chaque intervalle de temps affecté à cet utilisateur). On obtient cette discontinuité par l'utilisation d'un codage spécifique de la parole.

L'accès CDMA (Code Division Multiple Access) ou W-CDMA utilisé par la 3G a pour but d'augmenter la bande passante utilisable par un abonné pour lui permettre de transmettre plus d'informations (transmission de données, fichiers, vidéo etc. ...). Il n'est donc plus question de partager la ressource entre plusieurs utilisateurs, mais il n'est pas question non plus de n'affecter qu'un seul utilisateur par fréquence. En fait plusieurs utilisateurs, identifiés chacun par un code, sont autorisés à utiliser simultanément toute la bande passante, mais en se partageant la puissance de l'émetteur. Chaque utilisateur prend donc la puissance qui lui est nécessaire pour obtenir une liaison de qualité entre lui et la station radio et quand la totalité de la puissance attribuée par l'opérateur à la station radio est atteinte, celle-ci va refuser de nouveaux abonnés.

11. TDMA = 8 CANAUX DISPONIBLES PAR FREQUENCE

Revenons sur l'organisation radio d'une cellule. Lorsque l'on voit une antenne sur le toit d'un immeuble, on sait qu'il y a une station radio en dessous, mais l'on ne sait pas combien il y a d'émetteurs/récepteurs, appelés **TRX**.



Le schéma ci-dessus, représente une station radio GSM équipée de 4 TRX numérotés de 1 à 4. Chaque TRX travaille sur une fréquence différente.

Les intervalles de temps sont représentés avec des couleurs différentes. La **trame**, c'est-à-dire la suite des IT, du TRX #1 est décomposée. L'intervalle de temps **IT₀** du TRX #1 est réservé au système pour son fonctionnement. En fait cet IT₀ sert à la transmission du **BCCH** (Broadcast Common Channel) qui est le canal balise de la station. Cet IT₀ émet toujours à la même puissance, pendant 1/8^e de temps, car il faut qu'il puisse être en

permanence détecté aux limites de la cellule. C'est lui en particulier qui indique aux mobiles situés dans la cellule, à quel opérateur il appartient, sur quelles fréquences les autres TRX de la station travaillent et quelles sont les cellules du même opérateur les plus proches, pour que le mobile puisse les écouter et demander éventuellement de faire un changement de cellule (Hand-over) au cas où la réception du signal émis par l'une d'entre elle serait meilleure.

Donc dans une cellule comprenant plusieurs TRX, la puissance émise par l'ITo du TRX #1 sera en permanence suffisante pour être écouté aux frontières de la cellule, mais pas plus forte. Les autres IT du même TRX émettront eux aussi avec cette même puissance constante, tandis que les IT des autres TRX de la cellule émettront eux, à une puissance variant en fonction de la distance entre le mobile et la station radio. Donc la puissance d'émission d'une station radio considérée dans son ensemble n'est jamais constante, mais va varier en fonction du nombre de TRX en service (dont dépend entre autres, le nombre de communications en cours dans la cellule, voir le chapitre 15) et de la distance séparant le mobile de la station.

Dans les réseaux "3G", le BCCH est remplacé par le **CPICH** (Common Pilot Channel) qui remplit les mêmes fonctions d'information des mobiles mais par une autre technique.

12. PUISSANCE EMISE PAR LE PORTABLE ?

Terminal GSM

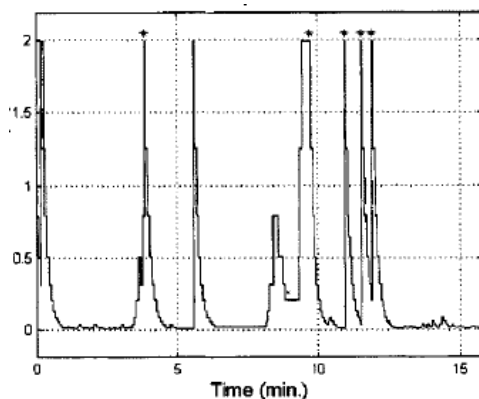
On a vu au chapitre 11, que le terminal GSM n'émettait qu' $1/8^e$ du temps, pendant l'intervalle de temps de 577 microsecondes qui lui était affecté par la station de base et ce, en moyenne toutes les 4 ou 5 millisecondes. Nous avons vu aussi que sa puissance d'émission était calculée en fonction de son éloignement de la station de base. Cela n'est tout à fait exact que lorsqu'il est à l'arrêt. En effet, lorsque le terminal se déplace, il est dans l'obligation d'effectuer des changements de cellules (hand-over). Cela influe sur sa puissance d'émission de la façon suivante :

- A son allumage, le portable émet à sa puissance maximale. Puis lorsqu'il aura identifié la station de base de son opérateur à laquelle il doit se raccorder, il reçoit de celle-ci une information lui précisant le niveau de la puissance d'émission de consigne à respecter pour la joindre, même en limite de cellule
- Au début d'un l'appel, il émet donc à cette puissance de consigne
- Lors de la communication, par l'application de la fonctionnalité du "Contrôle de Puissance", il baisse sa puissance d'émission pour la ramener à la valeur minimum nécessaire pour une bonne qualité de communication. Mais cette baisse de puissance n'est pas instantanée. Elle demande du temps. Ainsi pour passer de 2 watts crête² (33 dBm) d'émission à 10 mW crête (10 dBm) il lui faudra approximativement 2 secondes
- A chaque changement de cellules, il émet à la nouvelle puissance de consigne définie pour cette cellule pour en atteindre la frontière, puis adapte cette puissance d'émission à la distance de qui le sépare de la station de base selon les directives de celle-ci.

Plus les cellules sont petites, plus les changements de cellules sont nombreux, ce qui est le cas dans les zones denses, et plus souvent la puissance d'émission sera élevée.

² Pour comprendre la différence entre puissance crête et puissance maximale, se reporter au chapitre 19 "Puissance et sensibilité"

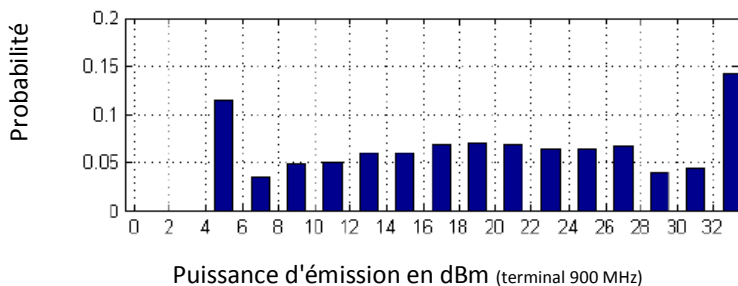
Le schéma ci-dessous, aimablement communiqué par l'ANFR et tiré de la revue [IEEE](#) du 4/11/2000, montre un exemple de la façon dont la puissance d'émission d'un mobile GSM varie dans le temps, lorsqu'un piéton se déplace dans Paris. Les étoiles indiquent les points de changement de cellules (hand-over). On constate sur ce graphique, que le mobile émet à sa puissance max à chaque changement de cellule. Cela signifie que le BCCH de la station de base a fixé cette valeur max comme valeur de consigne, au lieu de choisir une valeur plus faible, peut être par souci de sécurité de bon fonctionnement.



De ces mesures on peut définir les probabilités pour qu'un terminal émette à une puissance donnée. Cette probabilité est donnée par le graphique suivant de l'ANFR.

L'ANFR déduit de cette courbe que la valeur médiane de la puissance d'émission est de l'ordre de 120/125 mW et la valeur moyenne comprise entre 400 et 800 mW.

Il est peut être bon de rappeler la différence entre la valeur médiane et la valeur moyenne. Lorsque l'on a un échantillon important de valeurs, la valeur médiane de l'ensemble est la valeur autour de laquelle les autres valeurs sont également distribuées, c'est-à-dire que 50% des valeurs sont situées en dessous de la valeur médiane et 50% au-dessus.



La valeur moyenne, elle, est calculée en faisant la somme de toutes les valeurs et en divisant le résultat obtenu par le nombre de valeurs.

Terminal 3G - UMTS

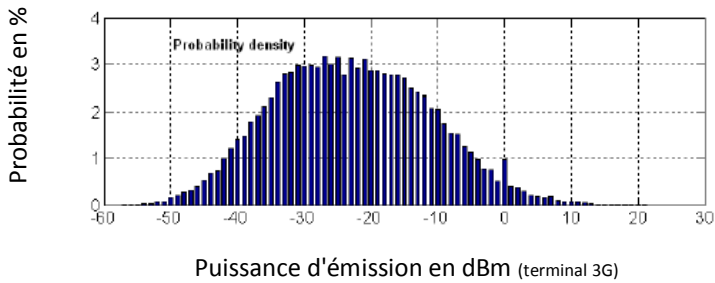
Nous avons vu au chapitre 10, que dans un réseau 3G, les terminaux d'une cellule n'émettaient pas chacun à leur tour mais en même temps, sans interruption (et non pas tous les 1/8^e du temps) et qu'on les distinguait par un code, d'où le nom de CDMA (Code Division Multiple Access). La puissance maximale d'un terminal fonctionnant en 3G est de 0,250 watt ou 24 dBm³.

Au départ d'une communication, le terminal émet à la puissance nécessaire pour atteindre la limite de la cellule, valeur qui lui a été communiquée par le CPICH, puis il va l'abaisser, grâce au « Contrôle de Puissance », jusqu'à la valeur demandée par le BSC via la station de base mais d'une manière plus rapide qu'en 2G. Ainsi pour passer de 250 mW (24 dBm) à 0,010 mW (-20 dBm), il ne lui faudra approximativement que 0,3 seconde.

Au changement de cellule suivant, le terminal reprendra la valeur nécessaire pour atteindre la limite de la cellule puis la réduira ensuite en fonction de son éloignement de la station de base.

Le graphique ci-dessous tiré de la même revue IEEE, et élaboré à partir d'une autre cellule probablement plus petite que la précédente en 2G, montre les probabilités pour qu'un terminal émette à une puissance donnée.

³ Voir le chapitre 19 – Puissance et sensibilité - pour passer des watts aux dBw ou dBm



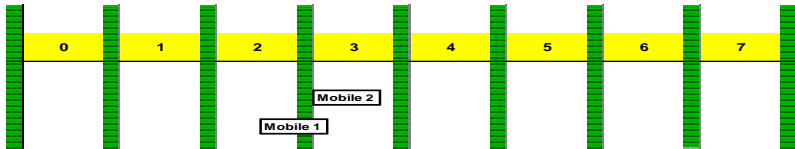
La comparaison de la forme de ces deux derniers graphiques montre bien l'évolution de la puissance d'émission moins sujette en 3G à des variations brutales qu'en 2G. La taille de cette cellule 3G étant très réduite par rapport à celle dans laquelle les mesures 2G ont été faites, on ne peut pas comparer les niveaux de puissance.

En 2G, la diminution de la taille des cellules entraîne une diminution de la puissance de consigne d'émission du BCCH de la station de base, mais la multiplication des hand-over qu'elle entraîne pour un terminal qui est en déplacement, a pour conséquence une augmentation de la puissance moyenne d'émission de celui-ci.

Un autre point est à prendre en considération. Les petites BTS, de type pico-BTS par exemple, ont pour but d'assurer le trafic dans une petite cellule qui est plus faible que dans une macro-cellule. Le nombre de TRX va par conséquent être réduit à deux, voir même à un seul. Or nous avons vu qu'en GSM-2G, le 1^{er} TRX d'une cellule qui diffuse le BCCH travaille à puissance constante, et n'est pas sous l'influence du "Contrôle de Puissance" dans le sens descendant. En conséquence, dans une pico-cellule comportant un seul TRX, la puissance d'émission de tous les IT de ce TRX, sera plus faible que dans une macro-cellules mais restera constante. Les mobiles, quant à eux, qui se trouvent dans la cellule, verront leur puissance d'émission varier en fonction de leur éloignement de l'antenne par l'action du contrôle de puissance en fonctionnement dans le sens montant.

13. TIMING ADVANCE OU AVANCE DE TEMPS

Nous avons vu que chaque intervalle de temps a une durée de 577 microsecondes. Cela signifie que le signal en provenance du mobile doit arriver en totalité pendant cet intervalle de temps. Ce qui est le cas dans l'IT3 du schéma ci-dessous. Par contre les informations en provenance du mobile auquel est affecté l'IT2 sont représentées sur ce même schéma



comme arrivant très tard dans le slot qui leur est imparti et débordant sur l'IT suivant. Ces informations ne seront donc pas comprises par la station radio. Le signal en provenance du mobile se déplace à la vitesse de la lumière, c'est pourquoi dans le GSM, le mobile ne peut pas être distant de la station de base de plus de 35 Kms.

Réciproquement, le temps que met le signal pour arriver dans l'intervalle de temps qui lui est affecté permet d'évaluer la distance à laquelle se trouve le mobile. C'est cette fonction qui avait permis à un opérateur en 1992, de localiser avec une précision de 250 mètres, des randonneurs qui s'étaient égarés au col de la Vanoise dans les Alpes et qui, pris dans une tempête, s'étaient réfugiés dans un igloo qu'ils avaient construit pour se protéger.

14. DEFINITION DE L'ERLANG, UNITE DE TRAFIC DE TELEPHONIE

Un gestionnaire d'autoroute, pour en vérifier la saturation, va mesurer le nombre de véhicules à l'heure et la longueur des queues aux péages. Un distributeur d'eau dans une ville va mesurer le nombre de m³ distribués à l'heure. Un opérateur de téléphonie mobile, lui, va utiliser l'**Erlang** qui est une valeur statistique moyenne pour mesurer le **trafic** dans sa cellule.

Un abonné au réseau fixe qui, à l'heure la plus chargée, utiliserait sa ligne pendant une heure, soit 3600 secondes, chargerait le réseau de 1 Erlang. S'il ne l'utilise que pendant 360 secondes (1/10^e d'heure), il ne chargera le réseau que de 0,1 Erlang, soit 100 milliErlang (100 mErlang).

Une cabine téléphonique, en ville, dans les années '80 représentait une charge de l'ordre de 1 Erlang.

Pour dimensionner son réseau, un opérateur se fixe des hypothèses. L'une est le trafic par abonné. Dans les années '90 un abonné consommait environ 25 mErlang à l'heure la plus chargée.

Un abonné à 25 mErlang est un abonné qui, lorsqu'il passe un appel à l'heure la plus chargée occupe la ligne pendant :

$$0.025 \text{ Erlang} * 3600 \text{ secondes} = 90 \text{ secondes}$$

Actuellement, l'utilisation du téléphone portable s'étant banalisée, la consommation serait plutôt de l'ordre de 50 mErlang. Cette valeur varie avec chaque pays en fonction des usages nationaux, certaines populations étant considérées comme plus bavardes que d'autres.

15. TRAFIC ECOULE DANS UNE CELLULE

Après avoir fait des prévisions de trafic par abonné dans une cellule et le nombre d'abonnés susceptibles de s'y trouver en même temps, l'opérateur doit dimensionner la cellule (**nombre de TRX**) pour écouler le trafic estimé.

TRX/ Cellule	1	2	3	4	5	6	7	8
Nombre de canaux	8	16	24	32	40	48	56	64
Canaux de parole (Nbre de Com)	7	14	22	30	38	46	54	61
Trafic (Erlang)	2,9	8,2	15	22	28	35,5	43	50

Pour cela, il utilise le tableau ci-dessus qui, en fonction du nombre de TRX installés, lui précise:

- le nombre de canaux de trafic disponibles pour les communications simultanées
- le nombre d'Erlang susceptibles d'être écoulés.

Ainsi on voit que dans une cellule équipée de 4 TRX, l'opérateur pourra acheminer 30 communications simultanées et 22 Erlang. Si l'on évalue à 40 mErlang le trafic moyen par abonné à l'heure la plus chargée, cela signifie que l'opérateur, statistiquement pourra écouler dans cette cellule le trafic généré par $22/0,040 = 550$ abonnés à son réseau.

Les observations de trafic réalisées en permanence dans chaque cellule par l'opérateur à l'aide de son **OMC**, lui permet de détecter les endroits où son réseau est saturé et par conséquent d'organiser son évolution soit en augmentant le nombre de TRX s'il en a encore la possibilité, soit en créant une nouvelle cellule.

16. LE DEMI-DEBIT

Le chapitre 11 a bien détaillé le fonctionnement d'une cellule de téléphonie cellulaire 2G avec ses 8 IT. De son côté, le tableau du chapitre précédent donne le trafic admissible dans une cellule en fonction du nombre de TRX.

Dès l'origine de la téléphonie cellulaire, les ingénieurs ont cherché à augmenter l'efficacité du système et dans ce but la notion de "**Demi-Débit**" ou "Half-Rate", par opposition au "Plein-Débit" ou "Full-Rate" a été imaginée.

Dans le cas du Demi-Débit, sans vouloir trop entrer dans les détails, disons simplement qu'au lieu de diviser la trame du GSM en 8 intervalles de temps, on la divise en 16 IT. Donc une station de base ne sera en relation avec son mobile qu' $1/16^e$ de temps au lieu de $1/8^e$ de temps dans le Full Rate.

Dans ces conditions le tableau du chapitre précédent devient :

TRX par cellule	1	2	3	4	5	6	7	8
Nombre de canaux 1/2 débit	16	32	48	64	80	96	112	128
Canaux de parole (Nbre de Com)	12	28	42	58	74	90	104	120
Trafic (Erlang)	6,6	20,1	32,8	47,8	63	78,3	91,9	107,4

On constate que, sans être doublés, le nombre de communications simultanées et le trafic écouable par TRX sont plus élevés que dans le cas du "Plein-Débit". Par contre, comme le débit d'informations est plus faible, la qualité de la voix risque d'être diminuée.

17. OBSERVATIONS DE TRAFIC

La **qualité de service**, vue par l'utilisateur dans un réseau de téléphonie mobile est définie par :

- être en permanence relié au réseau pour recevoir les appels qui lui sont destinés
- pouvoir entrer en contact avec son correspondant quand il souhaite passer un appel
- pouvoir conserver cette communication quand il se déplace de cellule en cellule et déclenche des Hand-over, sans le savoir
- avoir une qualité de la voix la meilleure possible
- pouvoir envoyer et recevoir des données sur son smartphone avec un débit qui soit le plus rapide possible
- se connecter aux réseaux sociaux
- recevoir ses mails et ses SMS dans un délai très court après qu'ils aient été émis par l'expéditeur.

Cela signifie que l'opérateur de son côté doit avoir en permanence dans sa cellule :

- des IT disponibles pour écouler les appels à destination d'un mobile situé dans la cellule
- des IT disponibles pour les affecter aux mobiles appelant
- des IT disponibles pour accepter les hand-over occasionnés par des mobiles venant des cellules voisines et désirant poursuivre leur communication tout en se déplaçant dans la nouvelle cellule
- avoir en limite de cellule, un niveau de champ suffisant pour que la qualité de la voix reste optimum
- avoir de la bande passante disponible en 3G pour écouler le trafic de données
- avoir un niveau de champ suffisant pour que le débit ne soit pas, suite à une surcharge, drastiquement dégradé par le système.

C'est le respect de toutes ces contraintes qui va définir le niveau de satisfaction de l'utilisateur vis-à-vis de son opérateur.

18. CREATION D'UN SITE

Deux raisons sont susceptibles d'obliger un opérateur à créer un nouveau site ou ajouter une nouvelle cellule : soit il souhaite boucher un trou dans sa couverture, soit il souhaite ajouter des ressources radio à une zone déjà couverte, mais ne pouvant pas répondre à la demande de trafic. Ces informations de trafic, il les obtient en étudiant les résultats d'observation de trafic donnés par son OMC.

Les éléments de base, pour lui, sont d'une part la **superficie** à couvrir, d'autre part les **Erlang** à écouler d'où le **nombre de TRX** à installer dans la station radio.

Il doit, ensuite, trouver un **site** susceptible d'accueillir cette station radio, un toit ou une façade d'immeuble, un château d'eau, un garage, une cage d'ascenseur ou un terrain pour y élever un pylône, etc. ... et obtenir les autorisations nécessaires.

Une fois l'emplacement défini, l'opérateur détermine les fréquences qui vont être affectées à la cellule, calcule la puissance rayonnée par l'antenne nécessaire pour couvrir toute la cellule, et à partir de là la **puissance crête d'émission** des TRX et le **gain de l'antenne** et par conséquent sa forme, sectorielle ou omnidirectionnelle ainsi que sa taille.

Enfin, après avoir mis en service, l'opérateur va faire des observations de trafic pour vérifier si ses hypothèses de départ ont été correctes ou si elles doivent être modifiées, les comportements des utilisateurs étant souvent non-conformes aux prévisions.

19. PUISSANCE ET SENSIBILITE

Dans une conversation, pour que deux personnes puissent s'entendre, il faut que les ondes sonores soient émises suffisamment fort pour que la personne qui écoute puisse les détecter, ce qui dépend de la sensibilité de son oreille et que le rapport "Signal utile / Bruit ambiant" soit supérieur à une certaine valeur.

Il en est de même dans une liaison radio, il faut que la station émettrice, qu'il s'agisse de la station de base ou du portable, selon le sens de la conversation analysé, puisse recevoir les ondes électromagnétiques et détecter le signal utile.

Pour que les systèmes GSM et 3G puissent fonctionner partout dans le monde avec n'importe quel terminal, l'ETSI et le 3GPP ont défini la puissance maximum émise et les sensibilités minimum tant des TRX que des téléphones portables.

La notion de puissance est liée à la notion de temps, puisque la puissance émise par une antenne est la quantité d'énergie délivrée par cette antenne pendant l'unité de temps qui est la seconde. Rappelons la différence entre la puissance crête et la puissance maximale.

La puissance crête est la valeur maximale à laquelle un émetteur va pouvoir émettre à un instant donné :

- Un poste de téléphonie mobile cellulaire 2G (TDMA) émettant à 900 MHz pourra émettre pendant un court instant ($1/8^{\circ}$ du temps) à 2 watt. C'est sa puissance crête. Mais comme pendant les autres $7/8^{\circ}$ du temps il ne va pas émettre, sa puissance max sera de $2 \text{ watt} / 8 = 250 \text{ mW}$
- Le même téléphone portable fonctionnant en demi-débit ne va émettre que pendant $1/16^{\circ}$ du temps, sa puissance crête ne va pas changer, mais sa puissance max sera de $2 \text{ watt} / 16 = 125 \text{ mW}$
- Un poste de téléphonie mobile cellulaire UMTS - 3G (CDMA) émettant en continu à sa valeur crête de 250 mW, pendant ses échanges avec la station de base, aura une puissance max de 250 mW.

Si l'on veut comparer les puissances d'émission des mobiles entre eux, il faut utiliser les valeurs max pour tenir compte de leur mode de fonctionnement.

Nota : En ce qui concerne les stations de base, on est obligé de considérer dans les études qu'elles émettent en permanence, que ce soit en 3G, ou en 2G, puisque les mesures sont faites lorsqu'elles sont supposées fonctionner à pleine charge (avec tous les IT en service). Leur puissance max et leur puissance crête sont donc identiques.

Equipement	Puissance Crête	Puissance Max		Sensibilité min
	(watt)	(watt)	(dBm)	(dBm)
Station de Base (TRX)	25	25	44	-104
Téléphone portable 2G-900 (Plein débit)	2	0,250	24	-102
Téléphone portable 2G-900 (1/2 débit)	2	0,125	21	-102
Téléphone portable 2G-1800 (Plein débit)	1	0,125	21	-102
Téléphone portable 2G-1800 (1/2 débit)	1	0,063	18	-102
Téléphone portable 3 G	0,250	0,250	24	-102

Les valeurs d'émission sont les valeurs maximales définies par la norme et elles ne doivent pas être dépassées. En réalité les valeurs utilisées sont bien inférieures, compte tenu des tailles réduites des cellules actuelles, et rares en particulier sont les situations où les téléphones portables sont obligés d'émettre en permanence à cette valeur. Mais ils doivent être en mesure de le faire.

Quant aux sensibilités, les constructeurs essaient en permanence d'améliorer les équipements et en particulier la sensibilité des téléphones portables. Tous, pour être mis sur le marché, doivent satisfaire aux conditions minimales de sensibilité imposées de -102 dBm.

Pourquoi des watts, et pourquoi des dBm ou des dBw ?

Il y a une relation mathématique entre les watts et les dBm puisque les dBm ne sont que l'expression logarithmique de la valeur en watts. Le "m"

et le "w" ne sont là que pour préciser si l'on se réfère respectivement au milliwatt ou au watt. Dans les calculs, on préfère utiliser les logarithmes car les calculs sont plus simples (on additionne ou on soustrait au lieu de multiplier ou diviser).

Ainsi une valeur de 1 watt va s'écrire 0 dBw ou + 30 dBm et si on la multiplie par 2 (le logarithme de 2 étant égal à 0,3) 2 watts s'écrira 3 dBw ou 33 dBm (la formule à appliquer étant $10 \cdot \log n$).

L'utilisation des dB permet à l'opérateur de faire son bilan de liaison entre l'émetteur et le récepteur (pour vérifier que le signal reçu par le récepteur est supérieur au seuil de sensibilité et de la marge de sécurité), c'est-à-dire de faire le total des gains et des pertes depuis la sortie du TRX jusqu'à l'entrée du mobile par exemple, en ne procédant qu'à des additions ou des soustractions (tant de dB pour l'antenne, tant de dB pour les câbles, tant de dB pour la propagation en espace libre, etc.).

20. QUELQUES ORDRES DE GRANDEUR

watt	dBw	dBm
1 watt	0	30 dBm
1 mW	-30 dBw	0 dBm
500 mW	-3 dBw	+27 dBm
250 mW	-6 dBw	+24 dBm
2 watt	+3 dBw	+33 dBm
25 watt	+14 dBw	+44 dBm
1 000 watt	+30 dBw	+60 dBm
2/1 000 000 000 000° watt	- 117 dBw	-87 dBm
1/1 000 000 000 000° watt	-120 dBw	-90 dBm
0,631/10 000 000 000 000° watt	-132 dBw	-102 dBm

Ce tableau exprime les correspondances watts / dBm ou dBw et d'une part, montre la commodité qu'il y a à utiliser les dB et, d'autre part, permet de prendre conscience de différents ordres de grandeur.

Nous avons vu que pour qu'un mobile puisse détecter et utiliser un signal radioélectrique, il fallait qu'il soit supérieur à son seuil de sensibilité de **-102 dBm**. En fait pour assurer la qualité de la liaison, les opérateurs vont régler la puissance d'émission de la station radio pour que, en limite de cellule, la puissance du signal reçu soit de l'ordre de **-87 dBm**. Exprimé en watt, cela signifie que le signal est égal à deux milliardièmes de milliardième de watt ! C'est cette valeur qu'il suffit au mobile de recevoir pour comprendre les signaux que lui envoie la station radio, quelle que soit la distance entre le mobile et celle-ci, puisque la station radio fait varier sa puissance en plus ou en moins selon que le mobile s'écarte ou se rapproche d'elle.

Cette valeur de la puissance reçue, qui représente la puissance du champ radioélectrique dans lequel on baigne, doit être comparée à celle émise

par le téléphone portable pour atteindre la station de base; elle est dans les réseaux actuels, compte tenu de la taille moyenne des cellules, de l'ordre de 250 milliwatt soit **- 6 dBw** ou **24 dBm**, c'est-à-dire des milliards de fois plus forte. De plus, cette puissance est émise contre notre tête si le portable est tenu à l'oreille.

Les fours à micro-ondes qui se sont multipliés dans les ménages français au point que pratiquement tous en sont équipés, émettent quant à eux de l'ordre de 1000 watt, heureusement à l'intérieur du four uniquement si la porte est en bon état et bien étanche.

S'il était avéré que les ondes électromagnétiques puissent présenter un risque sanitaire pour les cellules humaines, le danger viendrait donc plus du portable que de la station radio et de son antenne.

Pour diminuer la puissance d'émission d'un portable, outre améliorer la sensibilité des stations radio, il existe plusieurs solutions possibles :

- Améliorer les gains des antennes réception des stations radio, ce qui impose d'augmenter leur taille ou de leur adjoindre des amplificateurs
- Diminuer les obstacles entre le téléphone et la station de base (vitre ou carrosserie de voiture, mur en béton etc. ...)
- Diminuer le chemin que les signaux ont à parcourir et donc diminuer la taille des cellules, ce qui a pour conséquence de multiplier le nombre des cellules et par conséquent des antennes.

Une comparaison peut d'ailleurs être faite avec l'éclairage d'un terrain de football. De quelle façon cet éclairage est-il le mieux assuré, par un seul pylône comportant un groupe de projecteurs très puissants ou par plusieurs pylônes répartis autour du terrain et comportant plusieurs projecteurs moins puissants ? La réponse est évidente, la deuxième solution apporte beaucoup plus de confort en répartissant mieux le champ lumineux, en diminuant les éblouissements et en réduisant les contrastes entre lumière et ombres. Il en est de même pour la couverture radioélectrique d'une zone. Ne dit-on pas d'ailleurs que le faisceau d'une antenne " éclaire" sa cellule ?

Si l'on prend en compte le fait que nos enfants, à partir de 12 ans, sont plus de 78 % à être équipés d'un téléphone portable et à l'utiliser dans les cours

de récréation, cela n'incite-t-il pas, au lieu de s'efforcer d'éloigner les antennes des stations de base, ce qui oblige les portables à émettre avec plus de puissance, de les rapprocher des cours d'école ?

L'autre solution évidemment est d'empêcher les enfants de posséder un téléphone portable ou d'interdire de l'utiliser dans les cours d'école. Mais ceci est un autre problème sans compter que, dans le 2° cas, rien ne serait résolu : une fois le portail franchi nous avons intérêt à ce que, dans la rue aussi, leur portables émettent le plus faiblement possible.

21. WATT ET VOLT PAR METRE - DAS

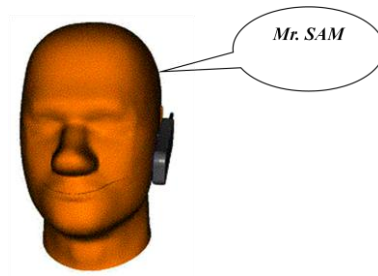
Les ondes électromagnétiques sont composées d'un champ électrique et d'un champ magnétique. Pour quantifier la combinaison des deux, on utilise les **watt** ou les dBw. Parfois, on préfère ne prendre en compte qu'une des composantes, le champ électrique que l'on exprime en Volt par mètre (**V/m**). A partir du moment où l'onde électromagnétique est stable et parfaitement établie, c'est-à-dire à une certaine distance de la source d'émission, le champ électrique et le champ magnétique sont dans une relation simple. La valeur du champ électrique reçu en un lieu donné en fonction de la puissance est donnée par la formule :

$$E = (120 \pi * P)^{1/2}$$

- **P** est la valeur de la puissance reçue exprimée en watt/m²,
- **E** en Volt/m

Les valeurs limites d'exposition de la totalité du corps humain aux champs électriques définies par l'Union Européenne, et par le décret du 3 mai 2002, exprimées en V/m sont de 41 V/m pour les ondes à 900 MHz et de 58 V/m pour les ondes à 1800 MHz.

En ce qui concerne l'exposition de la tête seule, quand on utilise le portable à l'oreille, on utilise une autre valeur qui est le **Watt/Kg** et l'on parle alors de **DAS** (Débit d'Absorption Spécifique), indice qui mesure le niveau d'énergie électromagnétique émis par le portable vers l'utilisateur lorsqu'il fonctionne à pleine puissance et dans les pires conditions d'utilisation.

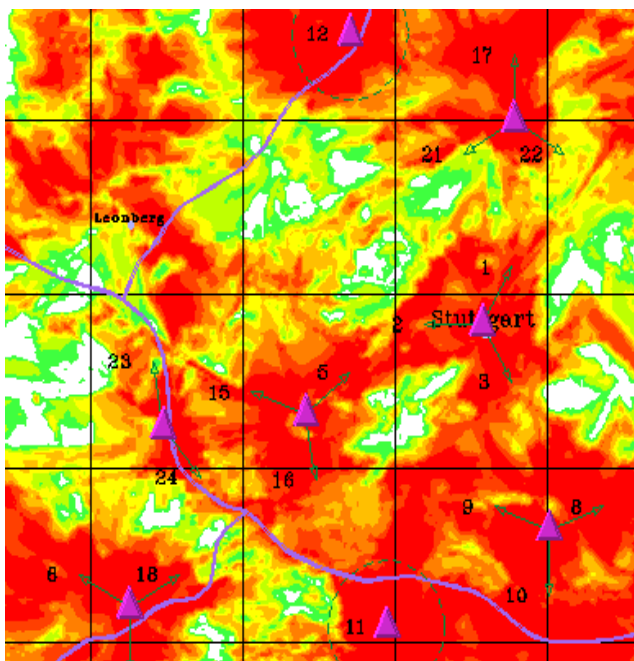


Pour faciliter la mesure du DAS et étudier les effets du rayonnement sur les cellules de notre cerveau, les biologistes ont défini *Mister SAM* sur lequel les travaux concernant l'influence des rayonnements électromagnétiques sur nos tissus sont réalisés. Mister Sam est rempli d'un liquide dont les propriétés électromagnétiques sont identiques à celles des tissus biologiques constituant la tête.

Chaque constructeur a l'obligation de préciser la valeur du DAS du téléphone portable au moment de la vente. Pour la France, le décret du 8 octobre 2003, impose aux mobiles commercialisés sur le territoire d'avoir un DAS inférieur à 2 W/kg sur 10 g de tissu humain au niveau du tronc et de la tête. Plus ce DAS est faible, moins l'appareil radioélectrique est potentiellement dangereux pour la santé.

22. CARTE DE COUVERTURE

Les opérateurs utilisent des outils informatiques avec une représentation graphique pour faire des simulations sur les emplacements prévisionnels d'installation de cellules.



Cette carte représentant la région de Stuttgart dans le Bade Wurtemberg indique les emplacements de différentes cellules et s'il s'agit de cellules omnidirectionnelles (la cellule 12), à 2 secteurs (les cellules 23 et 24) ou à 3 secteurs (les cellules 8,9 et 10 par exemple). En outre les couleurs codées du rouge au blanc indiquent la valeur du champ radioélectrique à chaque endroit, le rouge signifiant un champ correct et le blanc une absence de couverture.

23. LES ANTENNES

L'antenne est un élément indispensable au fonctionnement de tout équipement radio, puisqu'elle sert à capter ou à émettre les ondes. L'antenne est parfois située à l'intérieur de l'équipement, dans ce cas elle est invisible. Elle peut avoir des formes variées : ce peut être un bâton de ferrite avec une bobine de fil autour, un seul fil tendu entre deux piquets ou entre deux pylônes, un râteau comme pour les antennes de télévision, une parabole pour les liaisons satellites, une tige métallique comme pour les petits postes de radio ou les antennes de toit de voiture.

Parmi les équipements ayant une antenne intérieure, donc non visible, on peut citer la plupart des Box Wifi ADSL, les téléphones sans fil DECT ou Wifi, les réveils et montres radio pilotés, les récepteurs de radiodiffusion, les récepteurs GPS et tous les équipements Bluetooth. De même les **pico-cellules** et les **femto-cellules** ont leur antenne intégrée dans le boîtier de la station radio.

Ce qui caractérise une antenne, c'est la bande de **fréquence** dans laquelle elle doit travailler, son **gain** par rapport à l'antenne isotrope, son **diagramme de rayonnement**, sa **dimension** mécanique.

Un équipement qui fonctionne dans plusieurs bandes de fréquences comprend plusieurs antennes. Il en est ainsi pour un smartphone qui est en liaison avec le GSM 900 MHz, le 1800 MHz, la 3G, le Wifi, le Bluetooth et le GPS.

Le gain par rapport à l'**antenne isotrope** est mesuré en dBi. On appelle antenne isotrope une antenne théorique qui aurait un gain égal à l'unité sur toute la sphère qui l'entourerait. Dans la réalité, on n'a pas besoin d'une telle antenne, on s'efforce donc de concentrer les propriétés de l'antenne dans la direction que l'on veut couvrir. Une antenne de télévision a un brin rayonnant et des brins réflecteurs, une antenne satellite utilise le principe de la parabole qui concentre l'énergie reçue le long d'un faisceau étroit sur le foyer de la parabole où se trouve la tête détectrice.

Dans la très grande majorité des cas, l'antenne est un élément passif, c'est-à-dire qu'elle n'est composée que d'éléments métalliques sans électronique ou amplificateur. Elle ne génère pas de puissance et ne fait

que concentrer l'énergie en provenance de l'émetteur dans une direction donnée et réciproquement.



La photo ci-dessus prise à Nice représente un système d'antennes GSM du début des années "90. Le site est de type tri-sectoriel, c'est-à-dire qu'il comprend trois cellules. L'opérateur a donc utilisé un pylône à 3 côtés et sur chaque côté il a installé 3 antennes panneaux, une pour l'émission, celle du milieu, une pour la réception, celle de gauche. La 3^e, celle de droite est aussi une antenne de réception utilisée en cas de perturbations dans la transmission des signaux.

Ce pylône comporte donc 9 antennes GSM, plus une antenne réception de télévision de type râteau, plus la parabole dans son radôme protecteur pour établir la liaison par faisceau hertzien entre les BTS et le BSC distant.

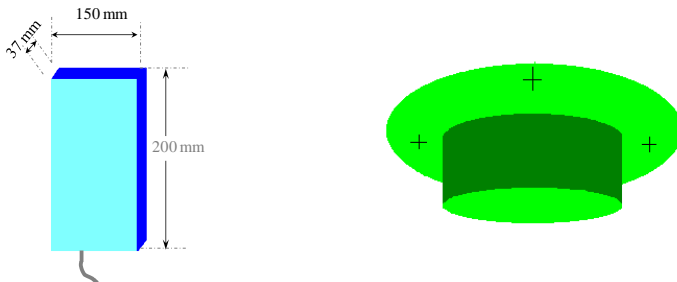
Les fabricants d'antennes ont fait des progrès depuis cette date et ce type de système se fait de plus en plus rare même s'il en reste quelques uns en service. Actuellement, les fabricants arrivent à regrouper sous le même

radome, c'est-à-dire la coque en fibre de verre qui protège la ferraille, l'antenne émission et l'antenne réception. De plus les antennes actuelles sont dessinées pour pouvoir travailler aussi bien dans la bande des 900 MHz que dans la bande des 1800 MHz et de la 3G. Donc le pylône de la photo ne comporterait s'il était construit aujourd'hui qu'une seule antenne panneau dirigée vers chacune des trois cellules, plus l'antenne de télévision et l'antenne de faisceau hertzien.

Le tableau ci-dessous donne les caractéristiques de quelques unes des antennes utilisées en téléphonie mobile.

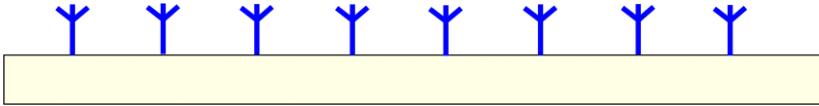
Gain (Vs antenne isotrope)	11 dBi	15,5 dBi	17 dBi
Tilt	3°	6°	6°
Lobe à 3 dB	Omnidirectionnel	65°	90°
Poids	10 Kg	10 Kg	10 Kg
Hauteur	3,50 m	1,50 m	1,50m

D'autres formes d'antennes que le brin omnidirectionnel ou le panneau sont utilisées en téléphonie mobile. En effet, si l'on peut téléphoner dans les centres commerciaux, les gares, les parkings, les tunnels et les couloirs du métro, les hôtels etc., c'est parce que des émetteurs ont été installés équipés de petites antennes adaptées.



L'antenne de gauche est une petite antenne panneau dont le gain est de 7 dBi avec un lobe à 3 dB de 90°. On l'applique contre un mur tandis que l'antenne de droite est une antenne omnidirectionnelle qui se fixe sous un plafond et dont le gain est de 2 dBi.

Pour assurer la couverture radioélectrique dans les tunnels, les opérateurs utilisent en général un autre type d'antenne que l'on appelle "**câble rayonnant**".

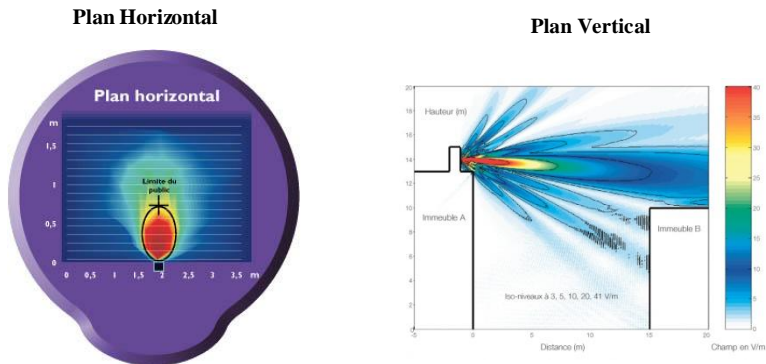


Il s'agit d'un câble coaxial, comme les câbles d'antenne de télévision mais dont le blindage extérieur a été découpé à intervalles réguliers. Le signal radioélectrique peut donc rayonner vers l'extérieur par ces fentes. Ces câbles rayonnants sont aussi utilisés dans certains immeubles de bureau et installés dans les faux plafonds. Mais dans ce genre de configuration, les puissances transmises sont extrêmement faibles.

24. DIAGRAMME DE RAYONNEMENT D'UNE ANTENNE

Une antenne est omnidirectionnelle ou sectorielle. Dans ce dernier cas, elle émet et reçoit dans une direction privilégiée. Les antennes de téléphonie mobile sont en général verticales, c'est-à-dire qu'elles émettent à l'horizontal ou orientées quelques degrés vers le bas, en direction du sol, à cause du **tilt** qui leur ait donné par construction.

Ce que l'on appelle le lobe de rayonnement à 3 dB, c'est la zone de rayonnement privilégiée. Dans le tableau des caractéristiques d'antennes donné plus haut, on peut voir que certaines antennes ont un lobe de 65° d'autres de 90°. Cela signifie qu'à la limite du lobe, la puissance est la moitié de celle mesurée dans l'axe de l'antenne.



Le dessin de gauche, aimablement communiqué par la société **Bouygues** montre le diagramme, vu de dessus, dans le plan horizontal. On voit que l'onde va en s'élargissant puis part en forme de cône. La zone rouge située à proximité de la source, longue d'environ 1 mètre, est une zone dangereuse, où les composantes électriques et magnétiques ne sont pas encore stabilisées et où il est légalement interdit de se situer.

Le dessin de droite, aimablement communiqué par l'**ANFR** (Agence Nationale des Fréquences), montre le diagramme de rayonnement d'une antenne située sur le toit d'un immeuble. Le **lobe principal** situé sur l'axe

de l'antenne est la zone utile de rayonnement. Sa première partie, près de la source montre la zone rouge dangereuse. De chaque côté du lobe principal, on voit les **lobes secondaires** qui ont une certaine énergie, mais cette énergie va en décroissant très rapidement. C'est donc sur le lobe principal que les opérateurs comptent pour assurer la couverture de la cellule.

Le **code des couleurs** indique la variation de la valeur du champ électrique en fonction de la distance par rapport à la source. Les chiffres donnés correspondent à une station radio équipée d'un émetteur à 900 MHz de 20 watt de puissance, associé à une antenne secteur dont le gain est 15,5 dBi et inclinée (tilt) de 5° par rapport à l'horizontal en direction du sol.

Si la station radio était équipée de 2, 3 ou 4 émetteurs, le champ électrique mesuré en V/m serait multiplié par la racine carrée de 2,3 ou 4.

On voit que le champ va en décroissant très rapidement en fonction de la distance

25. LA MUTUALISATION DES ANTENNES

En France, l'ARCEP n'autorise les opérateurs à mutualiser leurs équipements que dans les zones dites blanches car non rentables sur le plan économique. C'est ce que l'on appelle le roaming national. Ailleurs, chaque opérateur doit posséder ses propres équipements et ses propres antennes pour assurer le trafic dans ses cellules.

Dans le chapitre 15, nous avons vu que ce sont les TRX, qui définissent l'importance du trafic, en nombre de communications simultanées, d'Erlang et de Koctets de données, pouvant être écoulé dans la cellule.

On pourrait comparer le couple émetteur/antenne au couple ampoule/abat-jour. Une antenne omnidirectionnelle correspond à l'absence d'abat-jour, et une antenne sectorielle à un abat-jour focalisant la lumière dans un cône d'éclairage privilégié. C'est l'émetteur ou l'ampoule qui fournit la puissance émise et rayonnée et c'est l'antenne ou l'abat-jour qui détermine la zone éclairée.

Les abat-jours et les antennes ne sont donc respectivement ni générateurs de rayonnements lumineux, ni générateurs de rayonnements électromagnétiques. Ils ne font que les focaliser.

Lorsqu'un opérateur dimensionne une cellule pour écouler un trafic potentiel, il détermine donc le nombre de TRX à installer en fonction du tableau du chapitre 15. Si trois opérateurs effectuent le même calcul au même endroit géographique, ils l'effectuent pour couvrir leur trafic respectif correspondant à leur nombre d'abonnés respectifs, et ils obtiendront un nombre de TRX total correspondant au total des abonnés dans la zone.

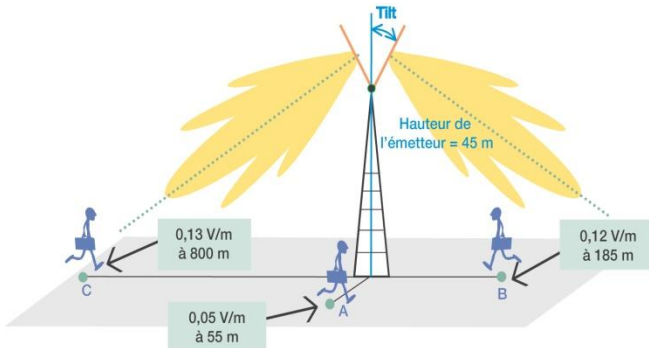
Si maintenant on suppose qu'il n'y a qu'un seul opérateur dans la région pour assurer le trafic généré par la totalité des abonnés, le nombre de TRX qu'il devra installer sera le même que celui des trois opérateurs cumulés.

En conclusion, ce n'est pas le nombre d'antennes installées mais le nombre de TRX nécessaires pour écouler le trafic qui détermine le champ électromagnétique. L'idée de mutualiser les antennes ou les TRX est donc

une fausse bonne idée qui n'entraînerait aucune diminution du champ électromagnétique.

26. EVOLUTION DU CHAMP ELECTRIQUE EN FONCTION DE LA DISTANCE

Le champ électrique varie en fonction de la distance mais aussi en fonction de la position par rapport à l'axe de l'antenne.



Le schéma ci-dessus réalisé par l'ANFR, montre bien la variation du champ selon la position par rapport à l'axe de l'antenne. Les conditions de mesures sont les suivantes :

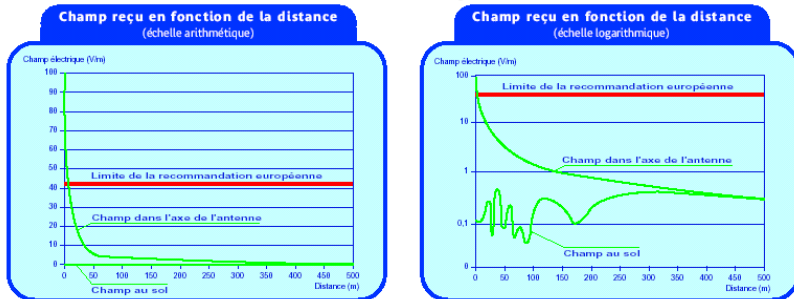
- Emetteur de 20 w à 900 MHz, associé à une antenne de 15 dBi, dont le tilt est de 5° vers le bas, montée sur un pylône de 45 m de haut

Une personne située à 800 m de l'antenne mais dans son axe est soumise à un champ de 0,13 V/m. Par contre une personne située à 55 m au pied de l'antenne, donc très en dehors du lobe principal n'est soumise qu'à un champ de 0,05 V/m. On peut penser qu'elle est très protégée du rayonnement puisque le champ électrique est 3 fois plus faible et donc la puissance reçue 9 fois plus faible, ce qui est exact, mais réciproquement, que se passe-t-il si elle veut utiliser son téléphone portable ? Et bien celui-ci devra émettre, quand elle est proche du pied de l'antenne, à une puissance 9 fois plus forte que lorsqu'elle est à 800 m dans l'axe de l'antenne.

La présence des lobes secondaires fait que la valeur du rayonnement électrique varie rapidement au niveau du sol et les deux planches ci-

dessous, aimablement communiquées par la société Bouygues le démontrent.

Les deux courbes représentent le même phénomène, mais l'échelle des ordonnées utilisée n'est pas la même, arithmétique à gauche et logarithmique à droite ce qui permet de mieux détailler les informations dans les faibles valeurs.



La ligne rouge indique la valeur limite de rayonnement actuellement en vigueur au sein de l'Union Européenne.

On constate que le champ dans l'axe de l'antenne décroît très rapidement dans les 50 premiers mètres pour atteindre une valeur asymptotique ensuite. Le champ au sol, quant à lui, est difficilement mesurable dans la courbe de gauche car variant dans une plage inférieure à 1 volt/m.

Si l'on détaille ce qui se passe dans la courbe de droite, on constate que le champ au sol présente des oscillations rapides allant de 0,05V/m à 0,8 V/m soit dans un rapport 16 sur une distance de 100 mètres. Il est donc difficile de prévoir avec exactitude quelle sera la valeur en un point donné. En l'espace de 1 mètre les résultats de mesure sont très variables et l'erreur de la mesure étant supérieure à la valeur de la mesure elle même, les résultats sont toujours susceptibles d'être remis en cause. Il n'en demeure pas moins que les valeurs obtenues restent extrêmement faibles puisque l'on est loin de l'axe de l'antenne. Plus on se rapproche de cet axe, plus la valeur mesurée pour le champ au sol se rapproche de la valeur du champ mesuré dans l'axe de l'antenne.

Plus l'on est dans l'axe de l'antenne, plus le champ est fort, meilleure est la communication et plus faible est la puissance émise par le téléphone portable.

Pour évaluer le champ électrique probable à un endroit donné, situé à une certaine distance de l'antenne, on peut utiliser la formule ci-dessous. Mais les conditions d'utilisation sont les suivantes :

- Il faut être dans l'axe de rayonnement de l'antenne, car en dehors de cet axe, l'efficacité de l'antenne est inférieure à sa valeur théorique et le champ électrique sera plus faible
- Il faut être en "espace libre", c'est-à-dire qu'aucun obstacle ne vient perturber la propagation du rayonnement en l'occultant ou en le déviant, c'est à dire que du point où la mesure est effectuée on aperçoit l'antenne en vue directe
- La valeur du champ électrique obtenue est uniquement due à la station émettrice considérée et ne tient pas compte des autres cellules voisines participant éventuellement à la couverture radioélectrique et au trafic

$$E = (1/d) * (30 * Pire)^{1/2}$$

Où :

- E , le champ électrique est exprimé en Volt par mètre : V/m
- $Pire$, la puissance rayonnée, exprimée en watts, est égale à la puissance du TRX émetteur "P", diminuée des pertes "p" dans les câbles coaxiaux, augmentée du gain de l'antenne d'émission "g" par rapport à l'antenne isotrope
- d , la distance entre le point de mesure et l'antenne est exprimée en mètres.

Pour extrapoler d'un seul TRX à tous les TRX de la cellule pour tenir compte du maximum de trafic potentiel dans la cellule, on utilise la formule :

$$E_T = E * (N_{TRX})^{1/2}$$

où N_{TRX} indique le nombre total de TRX contenus dans la cellule.

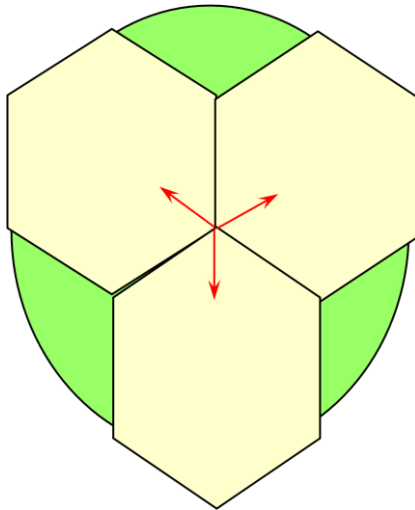
27. DIFFERENTS TYPES DE STATIONS DE BASE

Les constructeurs ont défini toute une gamme de stations radio, selon leur utilisation. On peut les classer selon :

- Leur environnement : certaines sont appelées "indoor" car elles ne fonctionnent qu'à l'intérieur des locaux ; d'autres, les "outdoor" sont dans des coffrets ou armoires étanches et climatisées, éventuellement, afin d'être installées en extérieur sur des terrasses d'immeubles ou en bordure de route,
- Leur capacité en nombre de TRX ou émetteurs récepteurs : Certaines n'acceptent qu'un seul TRX d'autres jusqu'à 12 ou 16,
- Leur puissance d'émission : lorsqu'un opérateur souhaite couvrir un carrefour, une place de marché, bref une cellule d'une centaine de mètres au plus, il n'est pas nécessaire d'utiliser la même puissance d'émission que pour couvrir une cellule de 20 Km. La puissance des TRX sera donc réduite et la consommation ainsi que la dissipation de chaleur sera moindre. On distingue donc :
 - Les macro-stations utilisées pour des cellules dont la taille est supérieure au kilomètre
 - Les micro-stations dont la zone de couverture est de l'ordre du kilomètre
 - Les pico-stations qui ont une portée maximum de 100 mètres
 - Les femto-stations dont la portée est limitée à environ 10/15 mètres pour une puissance d'émission variant de +23 dBm à -50 dBm

28. DENSIFICATION DE LA COUVERTURE

Lorsqu'un opérateur crée une cellule dans une zone qui n'est absolument pas couverte, il se peut qu'il soit dans l'ignorance du trafic à écouler. Dans ces conditions, par souci d'économie, il installe une seule station radio et une antenne omnidirectionnelle pour couvrir la totalité de la zone. La puissance des TRX contenus dans la station sera calculée en fonction du diamètre de la cellule circulaire et le nombre de TRX sera fonction du nombre de communications simultanées espéré par l'opérateur.

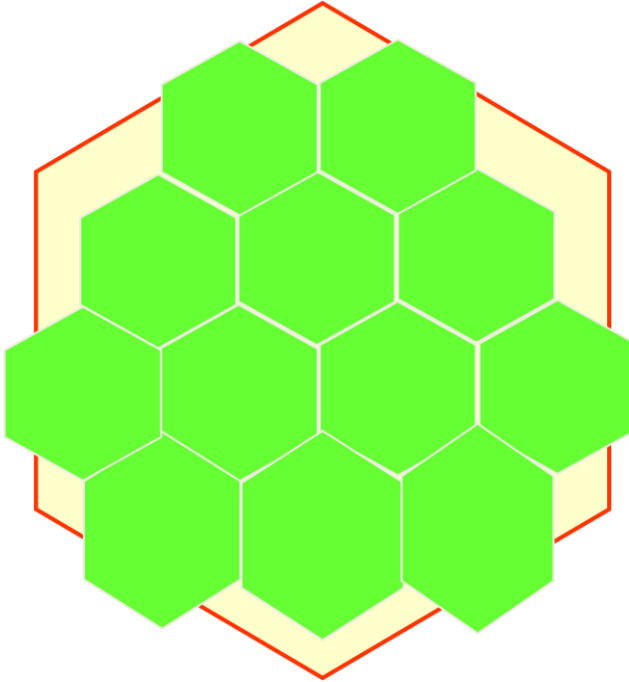


S'il s'avère que le trafic augmente, l'opérateur augmente dans un premier temps le nombre de TRX, pour augmenter le nombre de communications simultanées. On a vu en effet au chapitre 15, que le trafic écoulable dans une cellule croît plus vite que le nombre de TRX installés, suite à l'optimisation des ressources canaux. Lorsqu'il aura utilisé la totalité des fréquences possibles dans une seule cellule (voir le chapitre 7 sur la réutilisation des fréquences), il devra créer de nouvelles cellules. Pour cela, il "sectorise" la cellule omnidirectionnelle en installant deux autres stations radio sur le même emplacement et en installant des antennes sectorielles en lieu et place de l'antenne omnidirectionnelle initiale. Il a ainsi la possibilité de multiplier par trois le trafic susceptible d'être écoulé dans

l'ancienne cellule. Bien que la longueur de la cellule sectorielle soit la même que celle de l'ancienne cellule omnidirectionnelle, la puissance de tous les TRX des trois cellules, sera diminuée parce que le gain de l'antenne sectorielle sera supérieur à celui de l'antenne omnidirectionnelle.

29. LA MULTIPLICATION CELLULAIRE

Si ultérieurement le trafic continue à croître, tant en Erlang qu'en communications simultanées, l'opérateur doit se créer de nouvelles ressources radio. C'est pourquoi, au sein d'une cellule sectorielle il implante de nouvelles cellules sectorielles. C'est ce que l'on appelle la multiplication cellulaire. Ces cellules auront la particularité d'être plus petites. Donc la puissance d'émission de leurs TRX va diminuer.

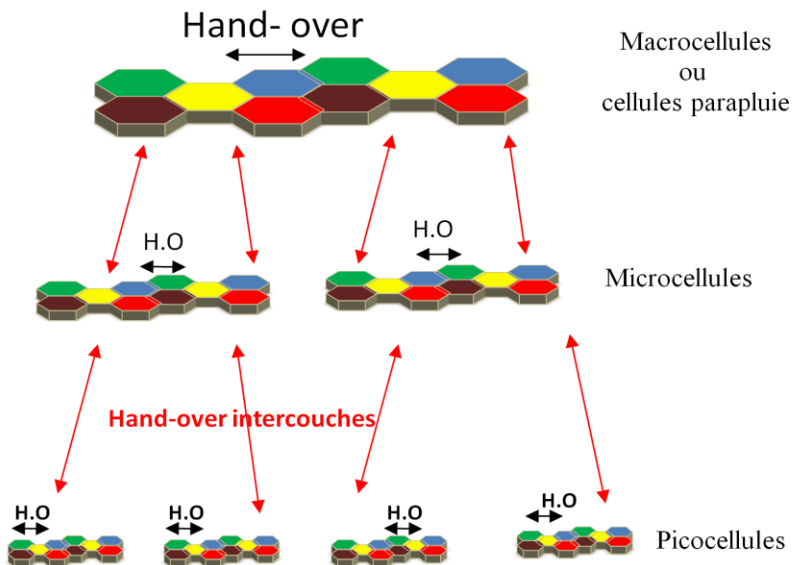


En conséquence, plus un opérateur est dans l'obligation de densifier son réseau pour faire face à l'augmentation du trafic,

- plus le nombre de cellules augmente
- plus la taille de chacune des cellules diminue
- plus la puissance d'émission des TRX baisse
- plus la puissance d'émission des portables baisse
- plus le nombre de hand-over augmente

30. RESEAU EN MULTICOUCHES

A la fin du 3^e trimestre 2010, le territoire métropolitain français comprenait plus de 62 millions de terminaux en service. Pendant les 3 premiers mois de cette même année, le nombre de minutes de communications téléphoniques passées à partir d'un mobile a été de 25 milliards et au cours du 3^e trimestre 2010, le nombre de SMS échangés a été de 25,3 milliards.



Pour faire face à cette croissance, chaque opérateur a dû faire preuve d'imagination. C'est ainsi que des réseaux multicouches ont été créés. Ils comprennent :

- Une première couche de macro-cellules pour écouler le trafic des portables se déplaçant à une vitesse moyenne supérieure à 10 Kms/h

- Une seconde couche de micro-cellules pour les véhicules dont la vitesse est soit nulle (arrêtés à feu rouge par exemple), soit très faible en période d'embouteillage. Cette couche de cellules est aussi utilisée par les piétons qui se déplacent à vitesse faible ou même qui sont à l'arrêt, sur leur lieu de travail par exemple.
- Une troisième couche de pico-cellules dont les dimensions sont de l'ordre de la centaine de mètres
- Une quatrième couche a vu le jour récemment avec les femto-cellules dont la couverture de l'ordre de 10/15 mètres a pour but de boucher les trous de couverture laissés par les autres cellules, principalement dans les habitations ou les bureaux.

Le raccordement d'un terminal à une couche n'est jamais immuable, mais au contraire varie en permanence en fonction de sa vitesse et de la congestion d'une couche. La fonctionnalité de "hand-over" lui permet de passer d'une couche à une autre.

31. PISTES DE REFLEXION PROPOSEES PAR L'AFUTT

a) - Puissance d'émission du mobile au moment d'un hand-over

Dans le développement de ce guide, il apparaît que les opérateurs, par nécessité technique, s'efforcent de diminuer la puissance émise par les antennes des stations de base et par les téléphones mobiles. Or le premier schéma du chapitre 12, montre que dans certains réseaux, à chaque changement de cellule, le mobile 2G réémet avec sa puissance crête de 2 watt. Or les normes du GSM prévoient que la BTS indique au mobile la puissance de consigne déterminée pour assurer la couverture aux frontières de la cellule. Il semblerait donc, du moins à l'époque où les mesures ont été faites que cette possibilité n'est pas mise en œuvre. Il y a donc là un potentiel de réduction de la puissance d'émission du mobile non négligeable.

b) - Diminution de la taille des cellules

Plus la cellule est petite, plus les puissances d'émission de la station de base et du mobile sont faibles. C'est logique puisque la distance à parcourir pour aller de la station de base au mobile et réciproquement est plus courte. Cependant, plus la taille des cellules est petite, plus le trafic qu'elle est susceptible d'écouler est faible. Le nombre de TRX étant fonction du trafic à écouler, l'opérateur en réduit le nombre au strict nécessaire, c'est-à-dire 1 seul. Or nous avons vu qu'en GSM 2G, contrairement à ce qui se passe en 3G, les IT de la station de base dédiés au trafic et appartenant au 1° TRX ne sont pas soumis au contrôle de puissance et émettent à puissance constante quelque soit la position du mobile. Donc dans ce type de cellule à taille réduite et ne comportant qu'un seul TRX, il est impératif que les opérateurs n'utilisent que des TRX 3G

c) - Demi-débit

Le chapitre 16 a démontré que l'utilisation du demi-débit permettait d'augmenter le trafic dans une cellule et le nombre de communications simultanées de 70 à 100% avec, il est vrai, un risque de dégradation de la qualité de la voix. Or il semblerait que cette technique du demi-débit n'est que très peu utilisée. Peut-être là aussi, y aurait-il matière à réduire le nombre de stations de base et à baisser la puissance moyenne émise par

les mobiles, puisqu'ils n'émettraient plus que $1/16^{\circ}$ du temps au lieu de $1/8^{\circ}$ du temps.

d) – Sensibilité des récepteurs

Autant il est difficile à un opérateur français d'exiger d'un constructeur de téléphone mobile fournissant le marché mondial d'améliorer le seuil de sensibilité des téléphones portables, autant il lui est possible d'améliorer la sensibilité des stations de base couvrant les grandes cellules en généralisant l'installation des amplificateurs juste derrière les antennes de réception, en haut des pylônes. Tout dB gagné en sensibilité sera autant de dB émis en moins par le téléphone portable.

32. FOIRE AUX QUESTIONS

Les questions rapportées dans ce chapitre ont réellement été posées à l'auteur lors des conférences. Ceci explique leur formulation parfois imprécise ou répétitive.

Q1 : Quelle est l'intensité de l'exposition à proximité d'un émetteur, d'un portable ?

L'intensité de l'exposition varie avec la puissance émise, qui est elle-même fonction de la distance que les ondes doivent parcourir pour aller de l'antenne d'émission à l'antenne réception

1. Une station radio comporte en général plusieurs émetteurs (TRX), dont chacun comprend 8 canaux. Parmi tous ces canaux, ceux du 1^{er} TRX émettent à la puissance nécessaire pour être détectés par les mobiles situés à l'extrémité la plus éloignée de la cellule. Tous les autres canaux ont une puissance d'émission qui varie en fonction de la distance qui sépare le mobile de l'antenne. Plus le mobile est éloigné, plus le signal émis par la station radio est fort. Donc plus la taille de la cellule est petite, plus la puissance d'émission des émetteurs est faible.
2. Un portable règle sa puissance d'émission en fonction de la distance qui le sépare de l'antenne de la station radio et du gain de celle-ci. Donc plus la taille de la cellule est petite, plus la puissance d'émission du portable est faible. De même plus le gain de l'antenne est élevé, plus la puissance d'émission du portable est faible. Par contre, dans les cas où la transmission des ondes radio est difficile, dans une voiture par exemple ou derrière la vitre d'un TGV, la puissance émise est plus forte.
3. On peut faire le calcul pour une box Wifi domestique. Ces box émettent en général à la puissance maximale autorisée par l'ARCEP, soit 100 mW. En appliquant la formule du chapitre 26 on obtient une valeur de 1,7 V/m à une distance de 1 mètre et 0,6 V/m à une distance de 3 mètres.

Q2: Un émetteur peut il être partagé entre plusieurs opérateurs ?

Un émetteur installé dans une station radio appartient à un seul opérateur (Orange, SFR, Bouygues Télécom et bientôt Free) qui est responsable de sa qualité de service et paie une redevance à l'Etat pour la fréquence utilisée.

Afin d'assurer la concurrence entre les opérateurs, l'ARCEP a interdit aux opérateurs de se partager les zones à couvrir, chacun ayant l'obligation de couvrir la totalité ou presque des habitants. Par contre, il existe des zones, dites blanches où le nombre d'abonnés potentiels ne suffit pas à rendre économiquement viable l'installation de stations radio par chacun des 3 opérateurs. Dans ces zones, l'ARCEP autorise donc exceptionnellement les opérateurs à s'entendre pour que l'un d'entre eux assure la couverture radio pour le compte de tous. Dans ces conditions, un utilisateur qui serait abonné d'un opérateur "a", pourra exceptionnellement se raccorder sur le réseau de l'opérateur "b", si celui-ci assure la couverture locale. On parle alors de roaming national.

Le cas des **MVNO** (Mobile Virtual Network Operator) est un peu différent. Un MVNO est un opérateur virtuel, qui a obtenu de l'ARCEP l'autorisation d'être opérateur, bien que ne possédant pas de réseau en propre. On compte une vingtaine de MVNO en France. Ces opérateurs achètent "en gros" des minutes de communication, des mégaoctets de données, des milliards de SMS et MMS, aux opérateurs qui sont propriétaires d'un réseau et les revendent "au détail" à leurs abonnés. Ils utilisent donc les équipements de ces opérateurs, mais n'en sont pas propriétaires.

Q3 : Quelles valeurs ont les éléments techniques communiqués par les opérateurs ? Ceux-ci sont ils impartiaux ?

Un opérateur est un prestataire de service au même titre qu'un commerçant, un garagiste ou un restaurateur. Son activité peut donc être résumée à deux secteurs principaux, un secteur commercial et un secteur réalisation. Comme tout commerçant, il présente le service proposé sous son jour le plus attractif et parfois on peut constater certaines exagérations ou contre-vérités que les tribunaux ont été conduits à condamner. Quant à la réalité physique elle même, l'opérateur est obligé de la prendre en compte et de la respecter.

L'opérateur est dans l'obligation d'assurer une bonne qualité de service de son réseau. C'est, d'une part, une obligation légale et d'autre part, étant en situation de concurrence, il court le risque de voir ses abonnés migrer vers un opérateur plus performant.

Donc l'opérateur ne peut construire et développer son réseau que sur des informations techniques vraies. Les courbes techniques présentées dans ce chapitre 26 sont d'ailleurs des courbes connues de tous les spécialistes depuis des années. Elles peuvent être vérifiées à l'aide d'un simple analyseur de spectre.

Q4 : Un émetteur peut-il être imposé ?

Cette question n'a de sens que si l'on traduit "émetteur" par station radio appelée aussi station relais et si on la complète par "imposé à la population".

Tout d'abord, il ne faut pas oublier qu'un opérateur, dans le cadre de la licence qui lui a été accordée, a l'obligation d'assurer la couverture radioélectrique de téléphonie mobile de pratiquement tous les habitants (de l'ordre de 99%). S'il ne respecte pas cette obligation, il est susceptible d'être sanctionné par une amende, et sa licence peut lui être retirée. En septembre 2009, l'ARCEP a menacé deux des trois opérateurs ayant un réseau opérationnel d'une amende de 600 millions d'euros chacun parce que la couverture de leur réseau 3G n'était que de 80 %. Par ailleurs, des licences d'opérateurs de boucle locale Wi-Max ont été retirées à des opérateurs sous le motif de couverture insuffisante. Il s'agit bien d'une obligation sérieuse.

D'autre part, ce n'est pas de gaîté de cœur qu'un opérateur décide d'investir un million d'euros dans la création d'un nouveau site tri-sectoriel. S'il envisage de le faire, c'est qu'il a des motifs techniques sérieux pour le faire et qu'il en escompte aussi une retombée financière.

Les motifs techniques sont simples. Son OMC, système d'exploitation et de maintenance, lui permet de réaliser en permanence, dans chacune des cellules, des observations de trafic telles que nombre d'appels, durée des communications, volume des données échangées, vitesse de transmission de ces Mœctets. Lorsqu'il constate que le trafic est en croissance et arrive

aux limites des possibilités de la cellule, il est dans l'obligation de prendre des mesures pour maintenir la qualité de service.

S'il décide de créer une nouvelle cellule, il doit choisir un site d'installation. Il a un impératif de zone à couvrir, mais le choix du site lui-même dépend de plusieurs facteurs. Si l'on prend l'exemple extrême de la place de la Concorde à Paris. Il est évident qu'il lui est impossible d'installer une antenne en haut de l'obélisque, et pourtant ce serait certainement le meilleur emplacement, techniquement parlant. Autour, il y a le ministère de la marine et l'ambassade des Etats-Unis. Il est peu vraisemblable que ces organismes acceptent qu'un opérateur pénètre chez eux. Restent donc quelques immeubles. L'opérateur doit donc négocier avec les syndicats de ces immeubles l'autorisation d'installer une armoire, de la raccorder à l'énergie de l'immeuble et d'installer une antenne sur le toit ou en façade. Ce n'est pas toujours très simple.

En rural, si l'opérateur a besoin d'un point haut son choix est assez réduit. Il peut éventuellement disposer d'un clocher d'église, d'un château d'eau, ou bien il va devoir installer un pylône.

Dans tous les cas, il doit mener une négociation. La réponse à la question est donc que le lieu exact ne peut être imposé, mais on peut aussi poser la question différemment : *"est-il de l'intérêt des habitants riverains de s'opposer au principe même de l'installation d'une nouvelle station ?"*

Cette discussion a eu lieu un jour avec des habitants qui refusaient l'installation d'une antenne-relais, c'est-à-dire d'une nouvelle station radio dans leur village. Une rapide investigation a montré que cette commune était couverte par différentes cellules qui se situaient entre 4 Kms et 8 Kms, mais avec un signal très faible et pas partout. En conséquence, les antennes distantes émettaient à forte puissance et les mobiles du village émettaient eux aussi à forte puissance pour que leur signaux puissent atteindre la station éloignée.

Cette commune d'approximativement 500 habitants dont probablement la majorité étaient détenteurs d'un portable, de taille réduite, n'avait-elle pas intérêt au contraire à avoir sa propre station relais émettant faiblement car proche de tous les terminaux ?

La réponse à la question est donc multiple. Une station radio ne peut pas être imposée à la population, puisque pour qu'il y ait station, il faut qu'il y ait signature d'un bail et autorisation de la mairie. Par contre, du point de vue de la qualité de service, il est de l'intérêt des utilisateurs d'avoir une station proche et cette proximité a pour conséquence un abaissement du champ électromagnétique.

Q5 : Pourquoi, installer un émetteur, est-il la plus mauvaise des solutions

Le terme d'"émetteur" n'est pas clair.

Un opérateur qui développe son réseau a deux impératifs, couvrir des Km² et assurer un trafic en Erlang pour la téléphonie et en Mb/s pour la transmission de données.

Pour couvrir des Km² il lui faut des cellules, donc des antennes, donc des stations radio. Si l'on considère que par "émetteur" on entend "station radio", cette solution est au contraire la seule valable.

Pour assurer un trafic, il faut que des ressources radioélectriques soient disponibles dans la cellule. Si l'opérateur a encore la possibilité d'installer des émetteurs pris au sens de TRX dans l'armoire radio, il le fera : le tableau du chapitre 15 montre clairement que le nombre d'Erlang et de communications simultanées croissent plus vite que le nombre de TRX. Ainsi 2 TRX permettent d'avoir 14 communications simultanées et un trafic de 8,2 Erlang c'est-à-dire environ 205 abonnés dans la cellule, alors qu'avec 6 TRX (3 fois plus), l'opérateur pourra assurer 54 communications simultanées (presque 4 fois plus) et 43 Erlang soit 1075 abonnés (5 fois plus). L'augmentation du nombre de TRX est donc plus efficace.

Cependant, si l'opérateur a déjà atteint le nombre maximum de TRX qu'il peut mettre dans sa cellule. Il est donc dans l'obligation de créer une nouvelle cellule et donc une nouvelle station radio.

La meilleure solution pour le développement du réseau varie en fonction de la situation exacte du lieu et de l'existant dans la station.

Q6 : Ne vaut-il pas mieux être confronté à un portable qui émet ponctuellement qu'à une antenne qui émet continuellement ?

La question ne revient-elle pas à dire "*que vaut-il mieux ?*"

- *Etre soumis au maximum à un champ électrique de 41 V/m en permanence ou*
- *Etre soumis à un DAS maximum de 2W/kg pendant 1/8 du temps, qui est la durée d'émission du portable"*

Cette question relève de la compétence des biologistes et il faudrait la leur poser.

Q7 : Pourquoi arrive-t-on à faire déposer des antennes proches d'écoles ?

Des associations ont obtenu de certains tribunaux des décisions de justice conduisant au démontage de stations relais et des antennes associées. Il semblerait - mais il faudrait analyser les attendus exacts du jugement - que le juge avait considéré que l'angoisse du plaignant valait dommage, et non pas à cause d'un risque sanitaire constaté.

Ces décisions de justice n'ont donc pas été prises pour des raisons techniques.

En effet, à partir du moment où les élèves sont amenés à se servir de leur portable à l'école (et l'on peut d'ailleurs se poser la question de cette nécessité), ne vaut-il pas mieux que la puissance émise soit la plus faible possible et que, par conséquent, le faisceau du lobe principal de l'antenne couvre correctement l'école et sa cour, avec juste la puissance nécessaire pour que les terminaux eux-mêmes puissent émettre le moins fort possible.

Mettre l'antenne sur le toit de l'école présente un avantage, celui de protéger l'école du champ émis par l'antenne (voir le diagramme de rayonnement d'une antenne dans le plan vertical du chapitre 24), mais il présente aussi un gros inconvénient : les portables des élèves n'étant pas situés dans le lobe principal de l'antenne, celui où son gain en réception est le plus fort, devront émettre plus fort.

Une étude de l'application du principe de précaution par les tribunaux a d'ailleurs été faite par l'Office Parlementaire d'Evaluation des Choix Scientifiques et Technologiques (**OPECST**). La synthèse officielle de cette étude est reproduite à l'annexe 1.a).

Q8 : Pourquoi une distance de 100m est-elle imposée ?

Le gouvernement français, en 2000, a demandé à des biologistes d'établir un rapport sur la situation des connaissances. Le rapport, appelé «Rapport Zmirou», a été publié le 16 janvier 2001. Une des recommandations très critiquées par les techniciens radio était effectivement :

"Que les bâtiments 'sensibles' (hôpitaux, crèches et écoles) situés à moins de 100 mètres d'une station de base macro cellulaire, ne soient pas atteints directement par le faisceau de l'antenne".

Laissons aux auteurs de ce rapport la responsabilité de leurs recommandations en ce qui concerne les écoles et les crèches.

En ce qui concerne les hôpitaux, le problème est différent. En effet tous les équipements électroniques sont sensibles aux ondes, qu'elles leur soient destinées ou non. Ainsi lorsque l'on pose son téléphone portable à côté de son ordinateur, on peut entendre par instant une séquence sonore assez courte, même lorsque le téléphone n'est pas en service, bien que sous tension. Le son entendu est la traduction par les circuits de l'ordinateur d'une séquence de localisation envoyée par le portable à la demande de la station radio à laquelle il est connecté.

Si l'ordinateur détecte cette séquence, c'est qu'il existe une "susceptibilité électromagnétique". Il en est de même de certains équipements utilisés dans les hôpitaux, tels que la pompe à morphine. Cette susceptibilité électromagnétique peut occasionner des troubles de fonctionnement en présence de signaux assez forts et proches. La recommandation du rapport Zmirou avait donc pour objet de tenir compte de ce risque. En fait on constate que le personnel hospitalier utilise des téléphones portables de différentes technologies, GSM, 3G, DECT, IP sur Wifi. Il est donc probable que, dans les faits, aucun dysfonctionnement n'ait été constaté.

Q9 : Et les fours à micro-ondes qui utilisent les mêmes fréquences mais à une puissance beaucoup plus importante, présentent-ils un danger ?

Les puissances mises en jeu dans un four à micro-ondes peuvent être de l'ordre de 1000 watts. Mais ces ondes sont confinées dans l'espace intérieur du four et en théorie ne peuvent s'échapper vers l'extérieur. Les normes imposent une limite aux fuites extérieures de 5 mW/cm² mesurées à 5 cm (137 V/m).

Les mesures effectuées sur des fours récents et en bon état donnent des valeurs de rayonnement de l'ordre de 0,2 mW/cm² bien inférieures à celles d'une connexion Wifi utilisant la même bande de fréquences et donc inférieures aussi à celles d'un portable GSM et 3G.

Q10 : Et la box Wifi chez soi, émet-elle aussi un champ électromagnétique ?

La box Wifi utilise les ondes radioélectriques pour assurer la liaison entre elle-même et les périphériques (ordinateurs, téléphones IP, téléviseur etc.). Elle émet donc un champ électromagnétique. Pendant un échange de données, elle émet à puissance constante car elle n'a pas de contrôle de puissance. Au point 3 de la réponse à la question 1, le calcul de ce champ a été fait. Il faut aussi préciser que la bande de fréquences utilisée par le système Wifi public est une bande libre, c'est-à-dire que l'utilisation des fréquences n'est pas ordonnée et donc anarchique. La qualité d'une liaison Wifi, dans ces conditions ne peut pas être assurée. Dans certains appartements situés dans des zones d'habitation denses, plus de 40 émetteurs Wifi ont été identifiés comme travaillant simultanément. Dans ces conditions, on ne peut que recommander de remplacer les liaisons Wifi par des liaisons filaires, la qualité de service y gagnera, la confidentialité des données échangées sera améliorée et le champ électromagnétique en sera abaissé d'autant, à condition bien sûr de penser à couper l'émetteur Wifi de la box.

Q11 : Et les téléphones sans fil DECT ?

Pour les mêmes raisons, les téléphones sans fil à la norme DECT émettent des ondes radioélectriques. Les stations de base émettent en permanence un signal "balise" d'une puissance crête de l'ordre de quelques dizaines de milliwatts. Donc à une puissance beaucoup plus faible que celle des stations GSM ou UMTS. Le combiné, quant à lui, n'émet qu'au moment des appels téléphoniques. Il n'est cependant pas recommandé, comme d'ailleurs pour les téléphones 2G ou 3G, de les poser sur la table de chevet. Mieux vaut les éteindre et dormir en paix.

33. GLOSSAIRE

1G : Système de téléphonie mobile de 1° génération, de type analogique, comme l'ancien Radiocom 2000

2G : Système de téléphonie mobile de 2° génération, de type numérique, aussi appelé GSM

2G⁺ : Evolutions du GSM pour permettre d'accroître le débit de transmission des données, telles que GPRS et EDGE

3G : Système de téléphonie mobile de 3° génération, de type numérique, aussi appelé UMTS

3G⁺ : Evolutions de l'UMTS pour permettre d'accroître le débit de transmission des données, avec la technologie HSPA

3 GPP : Groupement de partenaires pour le développement d'un réseau de télécommunications mobiles de 3° génération, en charge de définir les spécifications de l'UMTS

AFUTT : Association Française des Utilisateurs des Télécommunications

ANFR : Agence National des Fréquences; organisme officiel chargé de la planification, de la gestion de l'implantation des émetteurs, du contrôle et enfin de la délivrance de certaines autorisations et certificats radio.

ARCEP : Autorité de Régulation des Communications Electroniques et Postales

BCCH : Canal balise émettant toujours à la même puissance. Il transmet en permanence les informations nécessaires au fonctionnement des portables situés dans la cellule GSM. Il y en a un par cellule

Bluetooth : Système de transmission de données, de type numérique dont la portée est limitée à quelques mètres

BSC : Base Station Controller : Composant du BSS, en charge de la coordination des BTS entre elles

BSS : Base Station Subsystem : Partie d'un réseau GSM qui assure la transmission radio

BTS : Base Transceiver Station; un des constituants du BSS, appelée aussi station radio ou station relais. Il s'agit en fait d'une armoire dans laquelle sont regroupés les TRX

Câble rayonnant : Câble coaxial transmettant un signal radioélectrique dont le blindage extérieur a été volontairement fendu pour permettre aux ondes radioélectriques de s'échapper. Il joue le rôle d'antenne, dans les tunnels par exemple

CDMA ou W-CDMA : Type d'accès à la voie radio utilisé par l'UMTS – 3G

Cellule : Zone de couverture radioélectrique d'une station de base cellulaire

CEPT : Conférence Européenne des Administrations des PTT, en charge de la coordination des Télécommunications en Europe (normalisation et régulation)

COMOP : Comité Opérationnel mis en place dans le cadre du Grenelle des Ondes afin d'étudier l'importance des champs électriques issus de la téléphonie mobile et d'expérimenter des solutions pour en abaisser les valeurs sans impacter la qualité de service

Contrôle de Puissance : Fonctionnalité qui permet d'ajuster les puissances d'émission des TRX et des téléphones portables, en fonction de la distance qui les sépare et qui varie en même temps que le téléphone mobile se déplace dans la cellule

CPICH : Nom donné au BCCH dans les réseaux 3G

DAS : Débit d'Absorption Spécifique ou SAR en Anglais. Il s'agit d'un indice qui mesure le niveau de radiofréquences émis par le portable vers l'utilisateur lorsqu'il fonctionne à pleine puissance et dans les pires conditions d'utilisation.

DCS : Digital Cellular System : Appellation donnée au système GSM lorsqu'il fonctionne dans la bande des 1800 MHz

Demi-Débit ou Half Rate : Système de codage permettant d'augmenter le trafic dans une cellule au détriment de la qualité de la voix

Densification d'un réseau : Opération menée par un opérateur consistant à multiplier le nombre des cellules pour écouler une augmentation du trafic généré par ses abonnés

Downlink : Sens descendant, de la station radio vers le terminal portable

EDGE : Evolution du système de codage du GSM qui lui permet d'augmenter le débit data

Erlang : Unité de trafic en téléphonie. Il fait toujours référence à l'heure la plus chargée

ETSI : European Telecommunication Standard Institute, Organisme européen de normalisation dans le cadre duquel ont été spécifiées les règles de fonctionnement du GSM

FDMA : Type d'accès à la voie radio utilisé en téléphonie de 1° génération

Femtocellules : Nom donné aux cellules GSM ou UMTS dont la taille est de l'ordre de quelques mètres

GPRS : Evolution du système de codage du GSM qui lui permet de transmettre des données à la vitesse de 80 Kbits/s dans le sens descendant

GSM : Système de téléphonie mobile de 2° génération, de type numérique

IEEE: (I3E) Institute of Electrical and Electronics Engineers. Organisme de normalisation américain

Interférences : Signal perturbateur occasionné par un émetteur à un récepteur voisin

IT : Intervalle de temps affecté à une communication. En GSM, il faut un IT pour le sens montant et un autre pour le sens descendant

LTE : Système de téléphonie mobile de 4° génération, de type numérique, dont l'objectif est de permettre des débits de transmission de données plus élevés que ceux du HSPA

MVNO : Opérateur virtuel, appelé ainsi car, bien que ne possédant pas de réseau mobile en propre, il revend "au détail" à ses abonnés, le trafic acheté "en gros" aux autres opérateurs propriétaire d'un réseau

- NSS** : Partie d'un réseau GSM qui assure en particulier la partie commutation des lignes téléphoniques
- OMC** : Operation and Maintenance Centre; organe d'exploitation du système qui permet en particulier de suivre la charge d'une cellule et d'en organiser l'évolution
- Omnidirectionnelle** : Se dit d'une antenne dont le diagramme de rayonnement se fait sur 360° et ne présente pas de direction privilégiée
- Pire** : Puissance isotrope rayonnée équivalente
- Réutilisation des fréquences** : Principe de la téléphonie cellulaire qui permet une optimisation de l'utilisation des fréquences en nombre limité, tout en se protégeant des interférences
- Roaming international** : Fonctionnalité qui permet à un abonné d'un opérateur, français par exemple, de pouvoir se raccorder sur le réseau d'un autre opérateur quand il circule à l'étranger
- Roaming national** : Fonctionnalité qui permet à un abonné d'un opérateur français par exemple, de pouvoir se raccorder sur le réseau d'un autre opérateur français quand il circule dans une zone blanche desservie par un seul opérateur pour des raisons de rentabilité
- Sectorielle** : Se dit d'une antenne dont le diagramme de rayonnement est limité à un secteur géographique (90° ou 120°)
- TDMA** : type d'accès à la voie radio utilisée en téléphonie mobile de 2° génération
- Tilt** : Angle que fait une antenne avec la verticale pour que son diagramme de rayonnement soit légèrement dirigé vers le sol
- TRX** : Emetteur et Récepteur installés dans la baie radio
- UIT** : Union International des Télécommunications; organisme international en charge du bon fonctionnement des Télécommunications au niveau mondial
- UMTS** : Système de téléphonie mobile de 3° génération, de type numérique

Uplink : Sens montant, du terminal vers le réseau (station de base)

34. ANNEXES

Le principe de précaution abordé dans cette annexe ne concerne pas vraiment le fonctionnement technique de la téléphonie mobile. Cependant il m'a paru nécessaire d'en parler pour argumenter les réponses données à certaines questions posées lors de conférence.

1 Le principe de précaution

a) Son contenu

A plusieurs reprises, lors de conférences que j'ai pu faire sur le thème des rayonnements électromagnétiques et de la santé, il m'a été objecté "**et le principe de précaution, qu'en faites-vous ?**". Cette formulation est très souvent confondue avec "Par précaution, il vaut mieux s'abstenir", avec comme corollaire "supprimons la situation de risques pour éviter d'occasionner ou de subir des dommages". En fait le principe de précaution est basé sur une réflexion beaucoup plus complète et en particulier la distinction entre **précaution** et **prévention**. Une étude a été menée en 1999 à la demande du premier ministre et a fait l'objet d'un rapport de plus de 160 pages. Les auteurs, pour le rendre plus abordable, en ont fait une synthèse officielle qui est reprise ci-après. Bien que de lecture ardue, ce document doit être connu de tous les acteurs.

présenté par :

Philippe **KOURILSKY** Professeur au Collège de France - Membre de l'Institut de France

et

Geneviève **VINEY** Professeur à l'Université Paris I - Panthéon-Sorbonne

L'impact considérable du principe de précaution sur l'opinion a plusieurs origines. Issu du souci de gérer des problèmes d'environnement à l'échelle planétaire, associé au concept de développement durable, il traduit aussi la réaction provoquée par les carences de la prévention constatées lors de plusieurs crises sanitaires récentes, ainsi que l'aspiration du public à être mieux associé à la gestion du développement technologique. Le principe de précaution tend à s'imposer en Europe, dans les domaines de l'environnement, de l'alimentation et de la santé. Il est compatible avec la pratique du contrôle a priori qui prévaut dans l'espace européen où la responsabilité de la régulation n'est pas principalement confiée, contrairement aux Etats-Unis, aux lois du marché et aux juges.

La précaution vise à limiter les risques encore hypothétiques, ou potentiels, tandis que la prévention s'attache à contrôler les risques avérés. Précaution et prévention sont deux facettes de la prudence qui s'impose dans toutes les situations susceptibles de créer des dommages. La précaution se distingue de la prévention du fait qu'elle opère en univers incertain, ce qui exige des modalités d'action particulières : il faut évaluer la réalité des risques, dégager les solutions qui peuvent les réduire, comparer les scénarios, décider d'une action, engager les recherches qui peuvent dissiper l'incertitude, suivre la situation, adapter les mesures et réviser les décisions autant qu'il est nécessaire. Même si, dans certains cas, il peut conduire au moratoire, le principe de précaution est tout le contraire d'une règle d'inaction ou d'abstention systématique.

L'incertitude requiert, à l'inverse, que soient mobilisées des connaissances et des compétences variées, et que les décisions et leur suivi soient inscrits dans des cadres rigoureux. L'exercice de la précaution doit se traduire par le respect d'un jeu de procédures. Au dicton "Dans le doute, abstiens-toi", le principe de précaution substitue l'impératif : "Dans le doute, mets tout en œuvre pour agir au mieux".

On ne doit pas attendre du principe de précaution qu'il aboutisse à l'éradication totale des risques. La plupart des situations comportent une marge incompressible de risques et l'application, même optimale, du principe de précaution laissera, le plus souvent, subsister un risque résiduel qui sera jugé acceptable en raison de bénéfices attendus. Les analyses comparées risques/bénéfices et coûts/avantages des différents scénarios (y compris celui de faire ou de ne pas faire) sont donc essentielles. Elles doivent incorporer, au-delà des indispensables évaluations économiques, des considérations d'ordre social. Les solutions préconisées doivent être proportionnées aux risques et aux bénéfices, et les décisions fondées sur des expertises rigoureuses. Le pouvoir politique, garant de la sécurité et du bien-être des citoyens, est en général concerné au premier chef. Il arrive que la perception du risque par l'opinion soit décalée par rapport à sa véritable ampleur. Les politiques doivent alors s'attacher à gérer le risque et non sa perception, ce qui pourrait conduire à des mesures d'un coût social disproportionné.

L'application du principe de précaution requiert des dispositifs à la fois fiables et transparents. La démarche d'assurance qualité contribue à la lisibilité des structures et des procédures ainsi qu'à la définition des responsabilités opérationnelles des acteurs et se prête à l'introduction d'une traçabilité systématique. La transparence réclamée par l'opinion publique implique aussi la mise à disposition d'informations pertinentes. Ainsi, la revendication d'étiquetage des produits n'est pas seulement légitime. Elle permet un partage équilibré des responsabilités entre des citoyens informés et l'Etat qui, sinon, se trouve toujours centralisé et chargé de toutes les responsabilités -et donc de tous les maux.

L'exercice de la précaution impose donc de nouveaux devoirs à un grand nombre d'acteurs sociaux et signe, de ce fait, une certaine évolution sociale. Les scientifiques auront à s'investir plus avant dans l'expertise et le

dialogue public ; les producteurs de biens et de service des secteurs privé et public devront perfectionner leurs procédures, améliorer la fiabilité, la traçabilité et l'étiquetage des produits ; les administrations auront, plus qu'avant, à faire preuve d'efficacité mais aussi de souplesse, en raison de la révisabilité inhérente aux situations de précaution ; les journalistes se devront d'être particulièrement rigoureux dans l'exactitude de l'information, dans des domaines où l'incertitude ouvre la voie aux spéculations et aux fantasmes ; les politiques auront à ajuster leur comportement et à régler celui des administrations qu'ils contrôlent.

Si ces nouveaux devoirs sont reconnus, les manquements devront être sanctionnés. Quel est donc le statut juridique du principe de précaution ? A ce jour, aucun texte n'impose son application directe. Même en matière d'environnement, où il est prévu explicitement par l'article L.200-1 du code rural, ce texte ne lui reconnaît qu'une portée indirecte en précisant qu'il doit inspirer l'action du législateur. La doctrine tend cependant à l'assimiler à un standard de jugement à valeur normative.

Le juge administratif commence à en faire usage, non seulement dans le domaine de l'environnement, mais aussi, et sans se fonder sur un texte spécifique, dans celui de la santé publique. Cette tendance est accentuée par l'évolution du droit européen qui est en voie de lui reconnaître le statut d'une règle de droit applicable en l'absence de réglementations particulières.

Les litiges à l'occasion desquels le principe de précaution a été jusqu'à présent invoqué sont assez peu nombreux. Ils portent sur la validité des actes administratifs. En revanche, la responsabilité des décideurs n'a été que rarement recherchée sur le fondement de la précaution. Dans le cadre du contentieux de la légalité, le juge exerce un contrôle restreint sur le bien-fondé de la décision qui laisse à l'Administration une marge d'appréciation, et un contrôle rigoureux sur le respect des procédures, une irrégularité, même légère, paraissant suffisante pour constituer un motif sérieux d'annulation. Ces tendances jurisprudentielles répondent parfaitement à l'esprit du principe de précaution, tel qu'il est ici défini, à savoir qu'il importe avant tout d'aménager des procédures permettant un examen aussi complet que possible du risque afin d'amener l'incertitude au niveau minimal. Toutefois, il n'est pas certain que le contrôle de la légalité interne

des actes reste, dans le futur, limité au cas de l'erreur manifeste et n'aboutisse pas, à terme, à un contrôle plus sévère.

Le principe de précaution exercera sans doute une certaine influence sur la responsabilité, mais celle-ci doit être relativisée. La multiplication, sur son fondement, des poursuites pénales, est peu vraisemblable en raison du rempart constitué par le principe de légalité. Le manquement à la précaution ne pourrait être sanctionné que s'il entrait dans la définition d'une infraction prévue par le code pénal ou par une loi spéciale et il y a peu de chances qu'une telle incrimination soit introduite dans la législation. Il existe certes des incriminations vagues dans lesquelles le principe de précaution pourrait s'insinuer ; c'est le cas principalement de l'homicide, des blessures involontaires et de la mise en danger d'autrui. Toutefois, elles ne donnent qu'une assez faible prise à une répression pénale des décideurs pour manquement à une attitude de précaution. En effet, le juge doit interpréter ces incriminations de façon étroite et la loi impose de prouver un dommage et un lien de causalité entre le comportement reproché et ce dommage, ce qui constitue une barrière efficace contre une condamnation fondée sur un danger purement hypothétique. Ce rempart n'existe pas pour la mise en danger d'autrui, mais cette incrimination a été affectée d'une série de conditions qui en limitent considérablement la portée, notamment celle d'une violation manifestement délibérée d'une obligation particulière de sécurité ou de prudence.

Il est surtout à craindre que la tendance à la pénalisation alimente chez les décideurs une peur du procès pénal qui les amènerait à faire un usage excessif du principe de précaution pour fuir leurs responsabilités. Cet effet pervers devrait inviter le législateur à relayer le mouvement de dépenalisation soutenu par la doctrine et à définir plus strictement l'imprudance pénale, ce qui supposerait l'abandon du principe d'identité de la faute pénale d'imprudance et de la faute civile afin de ne pas limiter outre mesure les possibilités de réparation des victimes.

Le principe de précaution pourrait intervenir à divers titres dans le contentieux civil et administratif, la fonction réparatrice de la responsabilité cédant alors devant celle de prévention des dommages. La crainte qu'il provoque un recul des cas de responsabilité sans faute ne paraît pas crédible. La théorie de la responsabilité pour risque a, en réalité,

intégré tous les apports potentiels du principe de précaution, bien avant qu'il soit explicitement formulé et, notamment, l'allègement de la charge de la preuve au profit des personnes exposées au risque et l'impossibilité pour l'auteur de la décision de se prévaloir de l'incertitude scientifique comme d'une cause de justification pour les dommages provoqués par sa décision. En revanche, le principe de précaution peut aboutir à la mise en place d'une responsabilité fondée sur une faute de précaution élargie. Le contrôle des activités à risques conduira à apprécier la faute sous son double aspect d'excès ou de défaut de précaution. Dans le premier cas, il est vraisemblable qu'une faute lourde sera exigée tandis qu'une faute simple pourrait suffire dans le second. Le principe de précaution pourrait, enfin, provoquer un accroissement des cas de responsabilité de l'Administration pour rupture de l'égalité devant les charges publiques dès lors que des mesures de précaution, même lorsqu'elles sont justifiées, peuvent porter des atteintes graves aux intérêts des entreprises.

Quant aux responsabilités de ceux qui influencent les décideurs, elles devraient s'en trouver peu modifiées sur le plan strictement juridique, même si la mise en œuvre du principe de précaution invitera sans doute à responsabiliser davantage tant les journalistes en charge de dispenser l'information, et soumis à cet égard à des règles déontologiques, que les scientifiques et les experts dont les devoirs d'alerte et d'objectivité devront être rappelés, voire sanctionnés de manière disciplinaire.

Les juridictions internationales sont loin d'être unanimes à reconnaître au principe de précaution le statut d'une règle de droit directement applicable en l'absence de réglementations particulières. Les règles qui gouvernent les échanges internationaux ont été élaborées pour commercer, non pour garantir la sécurité et le bien-être des consommateurs et des citoyens. Il est important que ces notions pénètrent plus avant des textes de portée internationalement reconnue.

Comment mettre en œuvre le principe de précaution, de façon qu'il soit un instrument positif de l'évolution sociale ? Ce rapport contient de nombreuses recommandations dont les principales sont les suivantes. Résolument procédural, l'exercice de la précaution doit obéir à un certain nombre de règles pratiques qui, au premier chef, doivent encadrer l'évaluation des risques. Nous préconisons un renforcement considérable de

l'expertise, soutenu par un effort significatif de la communauté scientifique, afin de contrer une certaine faiblesse de la culture de santé publique et environnementale qui est patente en France. Cette carence est en voie d'être corrigée grâce à la création récente de plusieurs agences sanitaires et de la future agence pour l'environnement. L'addition d'une agence d'expertise scientifique et technique (AEST), ici proposée, devrait compléter ce dispositif. Nous insistons sur la nécessité d'effectuer des analyses économiques sur l'impact des mesures de précaution et recommandons que l'expertise soit systématiquement organisée en deux cercles chevauchants, le premier dévolu aux questions scientifiques et techniques, et le deuxième aux aspects économiques et sociaux, et donc ouvert aux questions posées par les citoyens. Cette expertise, datée, doit pouvoir être mise à la disposition des juges et constituer un repère historique permettant d'apprécier ultérieurement d'éventuels manquements à la précaution.

Nous pensons que les démarches d'assurance qualité devraient être généralisées dans les secteurs productifs et les administrations ayant à connaître de la précaution et de la prévention. Nous insistons sur la nécessité d'une meilleure information du public, que devrait faciliter la création de l'AEST, et celle, que nous préconisons, d'une agence de presse scientifique, et d'une transparence accrue reflétée notamment dans la traçabilité et l'étiquetage des produits. Nous proposons un certain nombre de mesures en ce sens. Nous suggérons, concernant le dossier emblématique des OGM (organismes génétiquement modifiés) de reprendre le débat selon les modalités ici définies, en sériant les questions de façon à graduer les problèmes et isoler ceux qui méritent d'être traités de façon approfondie.

En matière de droit, il reviendra au législateur de décider s'il convient de laisser aux tribunaux le soin de délimiter au cas par cas le contenu du principe de précaution, ou s'il faut la définir plus précisément y compris dans le domaine de la santé, et l'inscrire dans le droit positif. Nous estimons préférable de dissiper au plus tôt le flou qui, aujourd'hui, entoure son énoncé. C'est en ce sens qu'à titre indicatif, nous en proposons une définition. Nous recommandons aussi de clarifier le statut de la faute pénale et de la distinguer clairement de la faute civile définie par les articles 1382 et 1383 du code civil. Nous proposons en outre de corriger ou d'élaborer plusieurs textes réglementaires sur les obligations d'information

et de suivi et sur d'éventuelles procédures de négociation entre l'Administration et les entreprises afin de faciliter la commercialisation de certains produits utiles pour l'intérêt général.

Au plan international, nous préconisons d'introduire, dans les textes qui régissent le fonctionnement de l'Organisation Mondiale du Commerce, un dispositif définissant la place que les Membres reconnaissent à la protection de la santé, de la sécurité humaine et de l'environnement, dans les échanges commerciaux entre Etats. Nous recommandons d'aller dans le sens d'une révision de certaines procédures de normalisation internationales, notamment de celles du codex alimentarius. Nous pensons qu'il faut tenter de corriger les carences de l'expertise internationale. La création d'un organisme d'expertise international nous paraît utile, pour autant que le statut des experts internationaux soit préalablement défini.

Enfin, nous préconisons l'organisation d'un système d'alerte et de gestion de crises internationales. Si ces recommandations, et d'autres qui figurent dans le rapport, étaient suivies, serait-on assuré que l'application du principe de précaution constituerait un progrès notable ? Les craintes exprimées par les détracteurs du principe de précaution s'avéreront-elles infondées ? Tout dépend, selon nous, de la façon dont il sera mis en œuvre. S'il se traduit, par exemple, par la simple addition de strates aux systèmes existants sans que l'on refonde et apure l'ensemble pour en accroître l'efficacité ; ou s'il dérive vers une criminalisation excessive des décideurs, il produira, dans les faits, le contraire de ce qui est espéré, et induira des coûts sociaux et financiers importants par rapport à des bénéfices faibles ou négatifs.

C'est pourquoi nous concluons que le législateur, l'autorité réglementaire et le juge peuvent faire du principe de précaution, le meilleur ou le pire des usages. Le meilleur, s'ils adoptent des mesures qui améliorent véritablement la sécurité des citoyens, tout en évitant l'abstention systématique devant les risques ; le pire s'ils en font un carcan dépourvu de souplesse, et un frein à l'innovation et au progrès.

Fin du résumé du rapport

b) L'évaluation de son application par l'OPECST

En 2005, le parlement a intégré le principe de précaution dans la constitution et en 2009, **l'Office Parlementaire d'Evaluation des Choix Scientifiques et Technologiques** (l'OPECST) a procédé à une évaluation de l'application de cette loi. L'intégralité du rapport peut être obtenue sur le site : <http://www.senat.fr/notice-rapport/2009/r09-025-notice.html> La synthèse du rapport d'évaluation est reproduite ci-après.

<p>Le principe de précaution : bilan 4 ans après sa constitutionnalisation</p>

Audition publique du 1er octobre 2009, organisée par MM. Claude Birraux, député de Haute-Savoie, Président de l'OPECST et Jean-Claude Etienne, sénateur de la Marne, Premier Vice-président de l'OPECST

Synthèse des interventions

I. L'influence décisive du juge sur la portée réelle du principe de précaution

Au niveau international

Depuis 12 ans, plus de 40 décisions, parfois contradictoires, ont été rendues par l'Organisation Mondiale du Commerce (OMC), la Cour de Justice des Communautés Européennes (CJCE) et la Cour Européenne des droits de l'Homme en liaison avec le principe de précaution.

Ainsi, l'OMC fonde ses jugements sur l'Accord sur les mesures sanitaires et phytosanitaires et exige **l'existence d'un risque avéré pour reconnaître l'utilisation du principe de précaution.**

Elle a donc toujours déclaré illégales les mesures prises par les Etats au nom de ce principe. Au contraire, la CJCE reconnaît le principe de précaution et estime que **les exigences en matière de protection de la santé publique sont prioritaires par rapport aux considérations de libre échange.**

Néanmoins, on assiste à une certaine harmonisation des jurisprudences. D'une part, l'OMC admet que la preuve scientifique est un concept relatif

et attache de l'importance à l'évocation d'un risque dont l'existence n'a pas été démontrée par l'analyse scientifique.

D'autre part, la jurisprudence de la CJCE a fixé des bornes à l'invocation du principe de précaution afin d'éviter qu'il ne soit appliqué de manière incontrôlée.

L'utilisation du principe de précaution doit être fondée sur :

- **la rigueur scientifique** qui renvoie à l'exigence d'une méthode éprouvée d'évaluation du risque redouté, et à l'existence réelle d'un risque plausible et non d'un simple fantasme ;
- **l'action** : l'application du principe de précaution ne doit pas conduire à s'abstenir de courir le moindre risque. La Cour s'assure donc que les autorités publiques respectent le principe de proportionnalité en choisissant les mesures provisoires et révisables les plus adaptées, mais également en opérant **une pesée des intérêts en présence**.

Au niveau national

Bien que la jurisprudence ne soit pas encore fixée et qu'elle varie en fonction du type de juridiction, on constate les tendances suivantes.

D'abord, **les responsabilités en matière d'application du principe de précaution ont été clarifiées**. Ainsi, les juges ont estimé qu'il revenait à l'Etat, qui dispose des pouvoirs de police spéciale, et non aux maires qui ont des pouvoirs de police générale, de prendre des mesures invoquant le principe de précaution, que ce soit pour interdire l'utilisation d'un insecticide, la plantation d'organismes génétiquement modifiés ou encore l'installation d'antennes-relais.

Ensuite, et ce malgré la volonté expresse du législateur de limiter le champ d'application du principe de précaution à l'environnement, **le juge ne l'a que peu utilisé dans ce domaine et s'en saisit essentiellement dans les secteurs de l'urbanisme et de la santé**.

Enfin, **deux dérives** ont été constatées. L'une consiste dans **la confusion entre la prévention et la précaution** à travers l'utilisation du principe de précaution pour des risques avérés dont on ignore le territoire d'application (risques sismiques, éboulements). L'autre résulte de **l'arrêt de la Cour d'appel de Versailles du 4 février 2009**. La Cour a estimé l'implantation d'une antenne-relais source d'un **trouble anormal de voisinage**, non pas en raison du risque sanitaire éventuel que cette dernière ferait porter à la population, mais en raison de **la crainte légitime que constituait l'impossibilité de garantir au voisinage l'absence de**

risque sanitaire généré par l'antenne-relais. A travers l'angoisse jugée légitime, la seule présence d'équipement vaut désormais dommage.

Cette décision semble ignorer les exigences de gravité et d'irréversibilité du dommage environnemental ainsi que de proportionnalité et de révisabilité des mesures de précaution qu'impose la Charte de l'environnement. Mais si l'on suivait la logique de la Cour, cette jurisprudence pourrait s'appliquer à toutes les installations industrielles, aux équipements tels que les éoliennes, voire aux camions et aux voitures dont la présence dans notre voisinage suscite également une angoisse légitime !

II. Les difficultés soulevées par l'utilisation du principe de précaution

D'importantes dérives

Plusieurs exemples de dérive ont été cités, en particulier l'arrêt précité de la Cour de Versailles, mais également le moratoire imposé sur la culture des OGM.

Une utilisation abusive du principe de précaution aboutit à une **déconnexion du jugement politique par rapport au jugement scientifique.**

Ensuite, et ce malgré la volonté expresse du législateur de limiter le champ d'application du principe de précaution à l'environnement, **le juge ne l'a que peu utilisé dans ce domaine et s'en saisit essentiellement dans les secteurs de l'urbanisme et de la santé.**

Enfin, **deux dérives** ont été constatées. L'une consiste dans **la confusion entre la prévention et la précaution** à travers l'utilisation du principe de précaution pour des risques avérés dont on ignore le territoire d'application (risques sismiques, éboulements).

L'autre résulte de **l'arrêt de la Cour d'appel de Versailles du 4 février 2009.** La Cour a estimé l'implantation d'une antenne-relais source d'un **trouble anormal de voisinage**, non pas en raison du risque sanitaire éventuel que cette dernière ferait porter à la population, mais en raison de **la crainte légitime que constituait l'impossibilité de garantir au voisinage l'absence de risque sanitaire généré par l'antenne-relais.** A travers l'angoisse jugée légitime, la seule présence d'équipement vaut désormais dommage.

Cette décision semble ignorer les exigences de gravité et d'irréversibilité du dommage environnemental ainsi que de proportionnalité et de révisabilité des mesures de précaution qu'impose la Charte de l'environnement. Mais si l'on suivait la logique de la Cour, cette

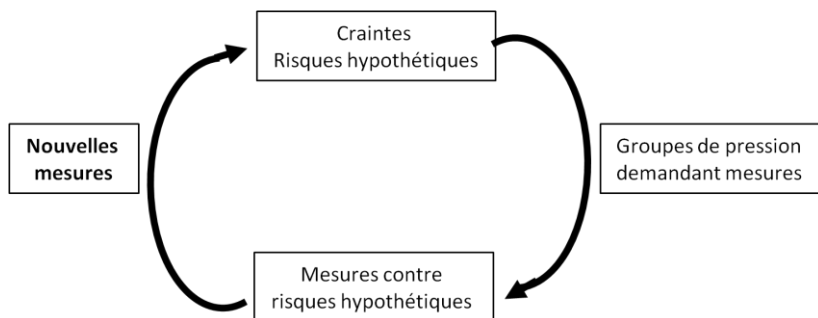
jurisprudence pourrait s'appliquer à toutes les installations industrielles, aux équipements tels que les éoliennes, voire aux camions et aux voitures dont la présence dans notre voisinage suscite également une angoisse légitime !

II. Les difficultés soulevées par l'utilisation du principe de précaution

D'importantes dérives

Plusieurs exemples de dérive ont été cités, en particulier l'arrêt précité de la Cour de Versailles, mais également le moratoire imposé sur la culture des OGM.

Une utilisation abusive du principe de précaution aboutit à une **déconnexion du jugement politique par rapport au jugement scientifique.**



En réalité, l'application stricte du principe de précaution est basée sur ne **suspicion systématique à l'égard des nouvelles technologies** issues du progrès de la science, sans évaluation préalable du rapport bénéfice/coût desdites technologies, ce qui peut avoir des conséquences dramatiques.

Ainsi, la suspension de l'utilisation de certains insecticides sous le prétexte non confirmé qu'ils tueraient les abeilles combinée à l'interdiction pour les agriculteurs français d'avoir accès à des semences génétiquement modifiées contribuent à une stagnation du rendement de notre agriculture

et à l'affaiblissement de sa compétitivité. Dans le domaine de la santé publique, l'arrêt de la vaccination contre l'hépatite B à la suite d'une rumeur l'accusant d'être à l'origine de la sclérose en plaques, et ce malgré l'absence de preuve, est responsable de plus de 500 décès par an.

Des difficultés concrètes dans l'application du principe

L'article 5 de la charte de l'environnement dispose que « *Lorsque la réalisation d'un dommage, bien qu'incertaine 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 provisoires et proportionnées afin de parer à la réalisation du dommage.* ».

Cette rédaction a fait l'objet d'un soin particulier par le législateur qui souhaitait encadrer fortement l'interprétation du juge. Toutefois, cet objectif était peut-être trop ambitieux compte tenu du caractère insuffisamment précis de certaines notions contenues dans l'article telles que l'irréversibilité du dommage.

Par ailleurs, pour prendre des mesures proportionnées, **le décideur public doit définir au préalable le niveau approprié de protection** et, par conséquent, le niveau de risque acceptable.

Or, il ne dispose pas forcément des outils adéquats. Ainsi, l'analyse quantitative des risques est loin d'être développée dans tous les secteurs. En outre, il doit se demander si les coûts pour un niveau de protection choisi sont supportables afin d'éviter de mettre en œuvre des moyens qui se révéleront après coup disproportionnés alors que d'autres secteurs auront été négligés.

Une constitutionnalisation du principe qui n'a confirmé ni les craintes des uns ni les attentes des autres

Finalement, l'encadrement que devait donner l'article 5 à la fois pour l'expertise et pour la gestion par les autorités publiques est resté lettre morte. Les défauts qui existaient auparavant n'ont pas été corrigés, sans qu'on puisse mettre en cause la constitutionnalisation du principe, et le juge judiciaire a continué de construire par tâtonnement sa doctrine en matière de gestion des risques, oubliant de prendre en compte la lettre et l'esprit du texte constitutionnel.

III. La nécessité de mieux encadrer les conditions d'utilisation du principe de précaution

Un principe légitime

La constitutionnalisation du principe de précaution avait plusieurs objectifs dont ceux :

- **d’obliger les pouvoirs publics à modifier leurs comportements en matière de gestion de risques** touchant à l’environnement et à la santé alors que leur attitude avait, par le passé, été caractérisée par l’attentisme à plusieurs occasions (amiante, sang contaminé, hormones de croissance, etc.) ;
- **de mettre des garde-fous aux interprétations diverses** que ce principe pouvait susciter et éviter qu’il ne paralyse la recherche et l’activité économique.

Une perception du danger indépendante du principe de précaution

La constitutionnalisation du principe de précaution n’est pas responsable des craintes de nos concitoyens vis-à-vis du progrès technologique. Celles-ci lui sont antérieures et sont liées à la vitesse à laquelle évolue ledit progrès technique. Par ailleurs, même si la perception des risques par la population ne correspond pas à la réalité (les Français sont, par exemple, plus sensibles aux risques liés à l’aviation qu’à ceux liés à l’automobile alors que ces derniers sont beaucoup plus élevés), il faut en tenir compte.

Les pistes pour une véritable organisation de la mise en œuvre du principe de précaution

De nombreuses recommandations ont été avancées concernant la légitimité de l’utilisation du principe de précaution et sa mise en œuvre pratique.

Certaines visent à faire appliquer le texte constitutionnel. Ainsi, il a été clairement réaffirmé que **seuls les pouvoirs publics sont aptes et donc autorisés à prendre les mesures appropriées** car ils disposent à la fois de la légitimité et de l’expertise scientifique permettant de hiérarchiser les risques.

Par ailleurs, il a été rappelé que l’adoption de mesures proportionnées et provisoires exigeait non seulement **une analyse comparée des dangers avérés et des bienfaits découlant d’une technologie nouvelle** susceptible de remplacer celles en usage, mais également **un bilan des coûts et des bénéfices attendus des mesures envisagées**. Plusieurs intervenants ont également insisté sur la nécessité d’adopter des **mesures cohérentes**, notamment en ne prenant en compte que les seuls dangers avérés.

L’importance d’une évaluation rigoureuse des risques a été soulignée et il a été fait référence à la jurisprudence de la Cour de Justice des Communautés Européennes qui vérifie **l’excellence, la transparence et l’indépendance de l’expertise**.

Plus généralement, il a été rappelé que l'évocation du principe de précaution devait s'accompagner systématiquement du **lancement d'un programme de recherche visant à faire avancer l'état des connaissances. D'autres propositions visent plutôt à compléter le cadre mis en place par l'article 5 de la Charte de l'environnement.** Il a été par exemple proposé **un encadrement plus strict des recherches et des expertises** afin d'éviter les peurs et les remises en cause ultérieures.

Sur le modèle de la loi du 9 août 2004 visant à encadrer la recherche biomédicale, avant le lancement d'un programme de recherche, son promoteur serait tenu d'en **soumettre le projet pour avis à un comité de protection des personnes**, fondé sur une évaluation des risques et des bénéfices dudit programme.

Pendant la période de la recherche, le promoteur serait responsable du **contrôle qualité** de ladite recherche. Celle-ci devrait faire l'objet systématique d'une publication et d'une **discussion contradictoire des résultats.**

Pour éviter toute controverse, notamment en matière d'expertise, il a par ailleurs été proposé **d'élargir l'analyse contradictoire au protocole de recherche.**

Certains intervenants ont également insisté sur le nécessaire **partage des connaissances entre les scientifiques, les décideurs politiques et les citoyens** et sur l'importance du dialogue pour développer un consensus. Ainsi, ce n'est qu'à travers **un effort de pédagogie** qu'on dissipera les confusions entre dangers et risques ou encore entre risques avérés et risques perçus, mais également qu'on rendra intelligible une notion comme la marge d'incertitude des études scientifiques. Plus généralement, la recherche doit être compréhensible pour les citoyens.

En ce qui concerne la gestion du principe de précaution, certains intervenants ont souhaité une **amélioration des outils de la décision politique.**

Ils ont notamment prôné une instruction spécifique, avec la désignation par la puissance publique d'un responsable unique de la gestion politique du principe de précaution depuis la mise en place de l'instruction jusqu'à la prise de décision.

Ils ont également insisté sur la nécessité d'une **instruction pluraliste et pluridisciplinaire.** Le législateur s'est arrêté en chemin. Si le principe de précaution répond à une demande, il n'en demeure pas moins que les

bénéfices à attendre du progrès ne doivent pas être réfrénés. **Le principe de précaution ne doit pas s'opposer au devoir d'innovation.**

Octobre 2009

Fin de la synthèse des interventions

Paris – janvier 2011

L'AFUTT

Association Française des Utilisateurs de Télécommunications

Depuis 40 ans, l'**AFUTT** (Association Française des Utilisateurs de Télécommunications) agit pour informer et défendre les consommateurs afin qu'ils bénéficient d'un accès de qualité, au meilleur prix, à l'ensemble des technologies de l'information et de la communication.

L'AFUTT s'est fixé quatre missions au bénéfice de tous les utilisateurs :

- écoute, connaissance et expression publique des besoins et attentes des utilisateurs,
- information et explication auprès du public dans l'usage des télécommunications,
- intermédiation dans le recueil et le traitement des plaintes entre les utilisateurs et les opérateurs et fournisseurs,
- concertation pour favoriser une régulation du marché, promotion de services numériques performants et de qualité.

En 2009, l'AFUTT a créé **CRESTEL**, le Club des Décideurs TIC, (Club de Réflexion et d'Echanges sur les Services des TELécommunications). CRESTEL étudie les usages en entreprise et représente dans toute la diversité de leurs métiers les décideurs en charge des télécommunications et des réseaux dans les entreprises.

Devant l'importance que prend à ce jour l'inquiétude des utilisateurs des téléphones portables et de leurs proches non utilisateurs, face aux rayonnements électromagnétiques, l'AFUTT participe activement au travaux du COMOP (Comité Opérationnel) mis en place dans le cadre du "Grenelle des Ondes", et considère l'édition de ce fascicule comme un élément supplémentaire pour répondre à la première des quatre missions majeures qu'elle s'est fixées.

<http://www.afutt.org>

<http://www.crestel.org>