

PRESENTATION DES ETUDES POUR LA MODELISATION ET L'EXPERIMENTATION D'UNE DIMINUTION DE L'EXPOSITION AUX RADIOFREQUENCES DES ANTENNES RELAIS DE TELEPHONIE MOBILE

Remarques préliminaires : ce document de présentation générale des expérimentations sur la diminution de l'exposition vise à décrire le contexte général dans lequel le travail du prestataire se placera. En effet, les études sur la diminution de l'exposition, que pilote le comité opérationnel présidé par M. François Brottes, comportent quatre volets :

- un volet « modélisation de l'exposition », réalisé par le CSTB
- un volet « modélisation de la couverture », pour lequel un appel d'offres est lancé
- un volet « mesures de l'exposition », a priori réalisé par l'INERIS et des organismes accrédités
- un volet « mesures de la qualité de service », pour lequel un appel d'offre est lancé

Ce document est encore l'objet de discussions au sein du comité opérationnel et du groupe technique. Il est donc susceptible d'évoluer légèrement.

1. Contexte

Une table-ronde « radiofréquences, santé, environnement » organisée par le ministère de la santé, avec le concours du ministère du développement durable et du secrétariat d'Etat au développement de l'économie numérique, s'est réunie au cours du mois de mai 2009.

Suite à cette table-ronde, le gouvernement a retenu plusieurs orientations, et notamment la réalisation de modélisations et, le cas échéant, d'expérimentations des conséquences d'une diminution de l'exposition afin d'en évaluer l'impact sur la couverture du territoire, la qualité du service, le nombre d'antennes.

Un comité opérationnel, chargé notamment de la mise en œuvre de cette orientation, a été installé par la secrétaire d'Etat chargée de l'écologie, Mme Chantal Jouanno, le 7 juillet 2009. Ce comité opérationnel rassemble l'Etat, les élus, les associations, les opérateurs et des personnalités qualifiées, sous la présidence du député François Brottes, avec l'appui administratif du ministère du développement durable et l'appui technique de l'ANFR.

Le comité opérationnel a sélectionné dix-sept communes pilotes volontaires pour réaliser les expérimentations sur l'exposition après une phase d'appel à candidatures auprès des communes. Elles sont représentatives de six environnements : rural relief faible, rural montagnoux, péri-urbain, urbain moderne dense, urbain ancien dense, quartier d'affaire / haute densité. Sous réserve de vérification technique, des modélisations et des expérimentations seront conduites pour chaque quartier.

Un groupe technique, sous l'égide de l'ANFR, rassemblant certains membres du comité opérationnel, est en charge de proposer le cadre technique et d'assurer le suivi des études de modélisation et d'expérimentation et de faire remonter au COMOP les résultats de chaque phase de l'étude ainsi que les points de difficultés rencontrés au niveau technique.

2. Objectifs

Les études pour la modélisation et l'expérimentation d'une diminution de l'exposition aux ondes radioélectriques des antennes relais de téléphone mobile ont pour objectif, dans le cadre budgétaire et financier défini par le COMOP, de fournir à ce groupe les données techniques les plus détaillées, permettant à celui-ci de déterminer la faisabilité technique d'un abaissement de

l'exposition aux ondes radioélectriques émises par les antennes relais, d'un traitement des lieux atypiques et de proposer, le cas échéant, une méthodologie de définition d'une valeur cible de qualité ainsi que les lieux de vie et de travail où elle aurait vocation à s'appliquer. Il ne s'agit donc pas de préjuger des résultats des débats au COMOP concernant la valeur cible de qualité ou la définition des lieux de vie mais simplement d'explorer les conséquences de tel ou tel choix.

3. Définitions

Dans le cadre de cette étude, les définitions suivantes sont retenues :

« **Quartier** » ou « **zone d'expérimentation** » : zone de la commune pilote où seront présentés les résultats des modélisations et des expérimentations. Cette zone sera définie par le COMOP sur proposition de son groupe technique pour chaque commune pilote à partir des propositions des communes et de façon à inclure au moins un site et l'ensemble des sites voisins de chacun des réseaux présents.

En pratique, la zone d'expérimentation correspond normalement à la zone de couverture « serveur prioritaire » des antennes qui sont dans la zone proposée par la commune.

« **zone d'impact pour l'exposition** » : zone incluant toutes les antennes relais qui devront être prises en compte dans la modélisation et dans l'expérimentation pour l'évaluation des niveaux d'exposition. Elle sera définie par le CSTB et soumise au COMOP de façon à inclure la zone d'expérimentation et toutes les antennes (y compris micro et pico) de chacun des réseaux présents qui contribuent de manière significative à l'exposition dans la zone d'expérimentation (états des lieux, expérimentation de diminution de la puissance des antennes ou de modification de la configuration des réseaux).

« **zone d'impact pour la couverture** » : zone incluant toutes les antennes relais qui devront être prises en compte dans la modélisation et dans l'expérimentation pour l'évaluation de la couverture et de la qualité de service des réseaux de radiotéléphonie mobile. Elle sera définie par la société experte en planification des réseaux et soumise au COMOP de façon à inclure la zone d'expérimentation et toutes les antennes de chacun des réseaux présents qui peuvent contribuer à la couverture et à la qualité de service de la zone d'expérimentation.

« **Lieu de vie ou de travail** » : lieu où une personne peut-être amenée à séjourner de façon durable et sans que cela ne revête un caractère exceptionnel. Cela inclut au moins les habitations, les lieux de travail, potentiellement les balcons, les jardins, les terrasses, les rues ... Dans le cadre des études techniques, on ne précisera pas cette notion de manière plus détaillée, mais on cherchera à présenter le lien entre le choix de telle ou telle définition précise et les niveaux d'exposition dans les lieux de vie ou de travail ainsi définis.

« **Point chaud** » : zone potentiellement « lieu de vie ou de travail » présentant une exposition élevée par rapport à ce qui est constaté par ailleurs sur la zone d'expérimentation, et qui fera l'objet d'une analyse particulière dans le cadre de l'expérimentation.

« **Point atypique** » : zone potentiellement « lieu de vie ou de travail » présentant un niveau atypique d'exposition aux ondes radioélectriques tel que cela a été défini par l'AFSSET (« niveau sensiblement plus élevé que le niveau ambiant moyen sur l'ensemble du territoire ») et qui peut faire l'objet d'un traitement particulier. Cette définition pourra être affinée dans la suite des discussions du groupe technique.

« **Exposition maximale théorique** » : exposition aux antennes relais qui serait constatée en un point si tous les émetteurs de toutes les antennes relais qui contribuent à cette exposition émettaient à leur puissance maximale.

« **Exposition horaire maximale** » : la plus élevée des valeurs d'exposition moyenne par tranche horaire. Cela ne fait en rien obstacle à l'utilisation ultérieure d'une autre définition d'une valeur d'exposition moyenne par le COMOP.

4. Description générale des études

La zone d'expérimentation et les zones d'impact pour l'exposition et pour la couverture pour chaque commune sélectionnée seront définies, avec précision et sur fond cartographique, par le CSTB et la société experte en planification des réseaux et soumises dans le cadre du COMOP.

Le Groupe Technique apportera une attention particulière au séquençage des travaux de modélisation et d'expérimentation afin d'assurer, pour chaque zone d'expérimentation, la connaissance de l'état des lieux (par simulation et mesures sur le terrain) avant de procéder à la modélisation d'une diminution de la puissance et, lorsque cela est décidé par le COMOP, à la modélisation d'une modification de la configuration des réseaux, puis à l'expérimentation terrain d'une diminution de la puissance des antennes et, lorsque cela est décidé par le COMOP, à l'expérimentation terrain d'une modification de la configuration des réseaux.

Le groupe technique examinera les possibilités et les limites de l'extrapolation au niveau national des résultats de modélisation et d'expérimentation sur le terrain obtenus sur les zones d'expérimentation.

4.1 Modélisation

Les travaux de modélisations seront réalisés :

- par le CSTB pour ce qui concerne l'évaluation des niveaux d'exposition,
- par une société de service experte en planification des réseaux de radiotéléphonie pour ce qui concerne l'évaluation de la couverture et de la qualité de service ainsi que les possibilités de modification de la configuration des réseaux.

Les cahiers des charges correspondants seront rédigés conformément à la description des travaux qui est faite dans ce document.

Afin d'assurer une cohérence des résultats, on s'assurera que les simulations sont effectuées par le CSTB et la société de service à partir des mêmes données de base concernant les réseaux de radiotéléphonie mobile, le terrain et le bâti.

Les résultats des travaux de modélisation sont présentés pour la zone d'expérimentation mais les simulations doivent prendre en compte l'ensemble des antennes relais situées à l'intérieur des zones d'impact pour l'exposition et la couverture.

Tous les résultats présentés devront être accompagnés d'un bilan des incertitudes.

4.1.1 Etat des lieux simulé

Un **état des lieux** simulé est réalisé pour chaque quartier en utilisant :

- un modèle numérique 3D construit à partir de bases de données vectorielles avec une précision minimale de 1 m (dans la zone d'expérimentation) pour le terrain comme pour le bâti ;
- les émetteurs des réseaux de téléphonie mobile (antennes relais de macro cellules, de micro cellules, voire de pico cellules) présents dans les zones d'impact et leurs caractéristiques connues avec le maximum de précision disponible (hauteur, position, orientation, type de service, diagramme antenne ...).

La propagation des ondes émises par les antennes relais de téléphonie mobile sera simulée dans cet environnement virtuel en modélisant tous les effets physiques liés aux caractéristiques d'émissions des antennes et aux caractéristiques de l'environnement (réflexion, diffraction, effet de masque, ...).

L'état des lieux simulé de l'exposition aux ondes radioélectriques des antennes relais consistera à établir pour chaque zone d'expérimentation :

- les cartes montrant l'exposition actuelle des personnes dans les espaces extérieurs à 1,5 m du sol ainsi qu'en hauteur en façade des immeubles;
- une cartographie de l'exposition à l'intérieur des bâtiments (après première paroi) ;
- cartes de l'exposition en interactif et en trois dimensions grâce à un « viewer »
- un indicateur agrégé d'exposition croisant les niveaux d'exposition avec la répartition de la population dans les bâtiments du quartier sur la base des données INSEE et permettant de représenter graphiquement le niveau d'exposition en fonction du pourcentage de population.

On retiendra comme valeurs de l'exposition en un point géographique donné :

- le niveau d'exposition maximal théorique en V/m reçu par les personnes ;
- le niveau d'exposition horaire maximal en V/m reçu par les personnes, calculé en affectant à chaque antenne, site ou zone d'impact un facteur de conversion qui sera fourni par le groupe technique en utilisant les données sur la variabilité temporelle de l'exposition obtenues lors des mesures terrains durant l'état des lieux.

Les niveaux d'exposition à l'intérieur des bâtiments seront déduits des niveaux en façade à partir de règles de décroissance empiriques qui sont fonction des matériaux de construction utilisés.

A partir des cartes d'exposition, l'ANFR et le groupe technique identifieront d'éventuels points atypiques et examineront les solutions spécifiques pour réduire l'exposition sur ces points.

En parallèle, **un état des lieux simulé de la couverture** sera établi pour chaque zone d'expérimentation. Cela consistera à établir des cartes présentant la couverture voix 2G, la couverture voix 3G, la couverture données 2G et la couverture données 3G en extérieur et au rez-de-chaussée du bâti. La couverture sera de plus évaluée grâce à des indicateurs globaux permettant de faciliter la comparaison des scénarii. Pour chaque zone d'expérimentation, seront donc indiqués :

- les pourcentages (voix 2G/3G et données 2G/3G) de la zone d'expérimentation non couvert en extérieur ;
- les pourcentages du rez-de-chaussée bâti non couvert (voix 2G/3G et données 2G/3G) à partir d'un maillage « lâche » du rez-de-chaussée du bâti sur toute la surface considérée.

La simulation de la couverture à des hauteurs autres que le rez-de-chaussée fera l'objet d'une proposition optionnelle de la part des sociétés de service expertes en planification qui répondront à l'appel d'offres. Le rez-de-chaussée correspond au cas le plus défavorable en termes de propagation et donc de couverture.

Les cartes de couverture des services voix 2G, voix 3G, données 2G et données 3G seront établies à partir d'un outil de planification des réseaux mobiles. La couverture (voix et données) correspondra au dépassement d'un niveau de réception pour la voix et la donnée sur une des fréquences reçues, avec prise en compte éventuelle du brouillage intra-système. Le niveau de réception sur une fréquence n'est pas le même que le niveau d'exposition qui est une valeur de champ agrégée sur toutes les fréquences, tous les opérateurs, toutes les antennes. Ces seuils de réception dépendent de la fréquence, du service (voix ou données pour un trafic et un débit donnés) et du quartier. Les critères de couverture seront établis par l'Agence et la société de service retenue sur la base des normes existantes et de propositions des opérateurs et discutés au sein du groupe technique. Il s'agit d'une évaluation simplifiée de la couverture et de la qualité

de service qui n'a pour objectif que de permettre les comparaisons de couverture et de qualité de service entre différentes puissances d'antennes ou configuration de réseau.

Les valeurs de champs à l'intérieur seront déduites à partir de règles de décroissance empiriques qui sont fonction des matériaux utilisés. Pour chaque quartier les règles de décroissance permettront d'analyser les impacts à la fois sur la couverture indoor (décroissance à travers une cloison) et la couverture « deep indoor » (décroissance à travers deux cloisons).

4.1.2 Diminution de la puissance des antennes

Les simulations ont pour objectif de quantifier pour chaque scénario de réduction de puissance :

- la diminution du niveau d'exposition aux ondes des antennes-relais
- la perte de couverture pour les services voix et données

Les simulations seront lancées après la présentation au comité opérationnel des résultats complets de l'état des lieux (mesures terrain et modélisations) pour plusieurs quartiers et types d'environnement géographique.

A la lumière de l'état des lieux simulé et terrain de l'exposition, un ou deux scénarios de réduction de l'exposition seront proposés par le MEEDDM et l'ANFR, validés par le COMOP puis simulés. Ces scénarios pourront différer d'une zone d'expérimentation à l'autre. Chaque scénario se traduira par une réduction de la puissance des antennes relais selon la bande de fréquences, la station ou l'opérateur.

Chaque réduction de puissance sera déduite de niveaux d'exposition maximum visés pour une définition précise d'un lieu de vie et de travail et un type d'exposition donné (maximal théorique ou horaire maximal).

Le groupe technique établira la réduction de puissance à appliquer à l'ensemble des antennes de la zone d'impact de la couverture en utilisant l'une des deux règles suivantes selon les instructions données par le COMOP :

- R1 : assurer que la même valeur cible de qualité sera atteinte autour de ces stations.
- R2 : assurer que les antennes en dehors de la zone d'impact pour l'exposition n'auront aucun impact significatif sur la couverture et la qualité de service à l'intérieur de la zone d'expérimentation.

Dans le cas où la règle R1 s'applique, le CSTB sera chargé de modéliser l'environnement immédiat de toutes les antennes de la zone d'impact de la couverture de façon à déterminer la réduction de puissance à appliquer à toutes les antennes de cette zone.

Dans le cas où la règle R2 s'applique, la société de service experte en planification des réseaux sera chargée de déterminer la réduction de puissance à appliquer pour s'assurer que les antennes de la zone de couverture situées en dehors de la zone d'expérimentation n'auront aucun impact significatif sur la couverture et la qualité de service à l'intérieur de la zone d'expérimentation.

Lors de la phase d'expérimentation terrain, ce sont ces réductions de puissance qui seront appliquées.

Dans le cas où la règle R1 est appliquée et si le COMOP identifie des difficultés avec la réduction de la puissance sur certaines antennes situées dans la zone d'impact pour la couverture hors zone d'impact pour l'exposition, il pourra être envisagé de limiter la réduction de puissance à appliquer à ces antennes si les résultats de modélisation de la couverture démontrent qu'une telle réduction ne pourra avoir aucun effet significatif sur la couverture de la zone d'expérimentation.

Chaque scénario sera simulé et aboutira, comme pour l'état des lieux simulé, à la production des cartes et des indicateurs décrits au paragraphe 4.1.1 par le CSTB pour l'exposition et par le

prestataire retenu pour la modélisation de la couverture pour la dégradation de la couverture et de la qualité de service.

4.1.3 Simulation de l'exposition et de la couverture avec une modification de la configuration du réseau

La diminution de la puissance des antennes devrait avoir un effet direct sur la couverture. Il convient donc d'envisager la modélisation d'une modification de la configuration des réseaux visant à diminuer l'exposition tout en préservant une couverture et une qualité de service équivalentes ou à traiter d'éventuels points atypiques (densification macrocellulaire, déploiement de microcellules, modification des caractéristiques d'antennes...).

Il s'agit d'un travail de planification et d'optimisation des réseaux pour lequel ni le CSTB ni l'ANFR n'ont de véritables compétences. L'étude sera donc aussi réalisée par la société de service experte en planification des réseaux pour définir pour certaines zones d'expérimentation qui seront arrêtés par le COMOP sur proposition du groupe technique un scénario de modification de la configuration du réseau en s'attachant à conserver la couverture initiale tout en réduisant l'exposition aux ondes radio des antennes-relais telle qu'évaluée par le CSTB dans l'état des lieux de l'exposition.

Deux types de scénarios de modifications de la configuration du réseau sont envisageables :

- Modification locale (traitement d'un point atypique) : déplacement, surélévation, changement ou réorientation de quelques antennes
- Modification de l'architecture du réseau :
 - Densification macro-cellulaire
 - couverture assurée essentiellement par des microcellules correspondant au remplacement de tout ou partie des antennes macro cellulaires

L'Agence évaluera la pertinence des propositions et présentera ces « scénarios » en groupe technique avant adoption au COMOP.

Pour les nouvelles configurations qu'elle proposera, cette société spécialisée dans la planification des réseaux produira les cartes et les indicateurs décrits au paragraphe 4.1.1 concernant la couverture. Le CSTB réalisera alors une nouvelle simulation de l'exposition résultant de cette nouvelle configuration du réseau.

4.2 Expérimentation terrain

Les travaux d'expérimentation terrain seront réalisés selon un cahier des charges conforme à la description des travaux qui est faite dans ce document.

Les mesures sur le terrain sont réalisées sur la zone d'expérimentation. Lors de la phase d'expérimentation, la diminution de la puissance des antennes concernera l'ensemble des antennes relais situées à l'intérieur de la zone d'impact pour la couverture.

Tous les résultats présentés devront être accompagnés d'un bilan des incertitudes.

4.2.1 Etat des lieux de terrain

Un **état des lieux de terrain** est réalisé pour chaque zone d'expérimentation :

Des mesures devront permettre de valider et de compléter les résultats de simulation concernant **l'état des lieux de l'exposition** :

- α) mesures géoréférencées d'un quadrillage des rues de la zone d'expérimentation pour une vérification statistique de la simulation de l'exposition et pour la mesure d'autres sources d'exposition
- β) mesure précise de l'exposition sur une dizaine de « points chauds » à identifier sur la base de l'état des lieux simulé. Ces mesures devront être étendues aux autres sources d'exposition et évaluer la variabilité spatiale autour du point chaud (dans une pièce, sur les accès extérieurs comme les balcons ...)
- γ) mesure de la variabilité temporelle (sur 24 heures et sur une semaine) des niveaux d'exposition sur les points chauds
- δ) évaluation de la relation entre exposimétrie individuelle et exposition d'une zone (en confiant des dosimètres individuels à des personnes vivant ou travaillant autour d'un « point chaud »)

Le protocole de mesure qui sera utilisé pour chaque type de mesure, devra être défini, puis validé par le Groupe Technique du COMOP. Ce protocole devra inclure les caractéristiques nécessaires des équipements à utiliser et les éléments sur l'incertitude des mesures.

Les mesures sur les « points chauds » permettront d'établir une courbe de valeur moyenne par tranche horaire qui sera utilisée dans le traitement de la modélisation afin de calculer l'exposition horaire maximale à partir de l'exposition maximale théorique. La forme de cette courbe ne devrait pas varier significativement entre des points chauds proches d'une même antenne (niveau dominant) mais pourrait présenter des différences plus marquées entre des points chauds autour de deux antennes distinctes. Cela devra être analysé par le groupe technique.

L'état des lieux de terrain de la couverture et de la qualité de service sera réalisé à partir d'un protocole relatif à l'évaluation de la qualité de service des réseaux mobiles. La méthodologie s'appuie sur celle pratiquée dans le cadre de l'enquête annuelle de l'ARCEP relative à la qualité du service de téléphonie vocale des réseaux mobiles de seconde et de troisième génération en France métropolitaine tout en adaptant cette méthodologie à l'objectif de cette étude, à savoir qualifier l'impact de la baisse de puissance sur la couverture et sur la qualité de service. Elle porte sur la qualité des communications du service de téléphonie vocale et du transfert de données en mode paquets.

4.2.2 Diminution sur le terrain de la puissance des antennes

La puissance des antennes de la zone d'impact pour la couverture sera diminuée conformément au(x) scénario(s) défini(s) dans la phase de modélisation.

Au cours de cette expérimentation, la baisse du niveau **d'exposition** sera contrôlée sur des points chauds de la zone d'expérimentation.

En parallèle, l'impact sur la **couverture** et la qualité de service sera évalué en utilisant protocole établi par l'ARCEP. La comparaison la plus juste avec la couverture initiale suppose d'évaluer la qualité de la communication aux mêmes points et aux mêmes heures. Des mobiles à trace seront utilisés pour pouvoir déterminer avec quelle antenne relais les communications sont établies

4.2.3 Etudes des modalités de l'expérimentation de modifications de la configuration des réseaux sur le terrain

Cette possibilité sera étudiée ultérieurement par le groupe technique pour préconisations par le COMOP auprès de l'Etat compte tenu d'une part des résultats de la modélisation d'une configuration du réseau (et donc de l'intérêt éventuel de confirmer des résultats par une expérimentation) et d'autre part de la faisabilité technique et financière d'une telle expérimentation.