



Agence Nationale des Fréquences

**RESULTATS DES MESURES RELATIVES A  
LA COUVERTURE EFFECTIVE DES RESEAUX  
DE L'OPERATEUR FREE MOBILE  
SUR LE TERRITOIRE METROPOLITAIN**

**Rapport  
remis, à sa demande,  
au Ministre  
chargé de l'Industrie, de l'Energie  
et de l'Economie Numérique**

**2 mai 2012**

## TABLE DES MATIERES

|   |    |
|---|----|
| Synthèse .....  | 3  |
| I — Cadre de l'étude .....  | 4  |
| I.1 — Démarche adoptée par les services de l'Agence .....                                     | 4  |
| I.2 — L'architecture hertzienne du réseau de Free Mobile .....                                | 5  |
| I.3 — La notion de couverture à l'épreuve de l'itinérance.....                                | 8  |
| II — Les caractéristiques propres du réseau de Free Mobile .....                              | 10 |
| II.1 —Volumétrie .....  | 10 |
| II.2 —Fonctionnement des relais contrôlés.....  | 11 |
| II.3 — Couverture propre .....  | 12 |
| III —L'itinérance 3G.....   | 16 |
| III.1 —L'itinérance favorise le réseau présentant la meilleure couverture .....               | 16 |
| III.2 —Itinérance et usage du réseau .....  | 17 |
| Annexe 1 : lettre de mission du Ministre.....   | 21 |
| Annexe 2 : déclarations enregistrées auprès de la COMSIS .....                                | 24 |
| Annexe 3 : protocole retenu pour les mesures réalisées sur chaque station-relais .....        | 25 |
| Annexe 4 : données issues du contrôle individuel de chaque station.....                       | 26 |
| Annexe 5 : carte de couverture des émetteurs pour le service « voix » .....                   | 30 |
| Annexe 6 : répartition du trafic entre deux réseaux en situation d'itinérance nationale ..... | 32 |
| Annexe 7 : table des illustrations .....  | 41 |

## Synthèse

### Contexte

Free Mobile a lancé ses premières offres le 10 janvier dernier. Ses obligations de couverture lui prescrivent de couvrir 27 % de la population pour le service de voix et 25 % pour celui de transmission de données.

Dans son communiqué de presse du 27 janvier 2012, « l'ARCEP a souhaité faire part au ministre chargé de l'industrie, de l'énergie et de l'économie numérique qu'elle juge souhaitable que les moyens techniques de l'ANFR puissent être utilisés pour faciliter les contrôles de couverture des réseaux des opérateurs mobiles menés par l'ARCEP ».

En réponse à cette demande, **le Ministre a demandé le 16 février 2012 à l'ANFR d'effectuer les mesures nécessaires pour vérifier la couverture effective des réseaux de l'opérateur Free Mobile.** Ces mesures portent sur les stations dont l'opérateur a déclaré la mise en service. Il s'agit de déterminer :

- la liste des stations constatées en service, c'est-à-dire émettant un signal et paramétrées pour accueillir des communications sur le réseau propre de l'opérateur ;
- la liste des stations en service permettant un accès au service téléphonique et celles permettant un accès à un service haut débit.

La présente étude, réalisée à la demande du Ministre en réponse au souhait exprimé par l'ARCEP de bénéficier du concours matériel de l'ANFR pour contrôler la couverture des opérateurs mobiles, a vocation à compléter les mesures réalisées par l'ARCEP en matière de contrôle du spectre radioélectrique, lequel relève de la compétence de l'Agence. Elle n'a pas vocation à se substituer à la compétence de contrôle de l'Autorité.

### Principaux résultats

Fin mars, Free Mobile disposait au total de 1 770 stations en projet ou en service. L'ANFR a contrôlé **979 stations**, soit l'intégralité des stations qui avaient été déclarées mises en service auprès de l'Agence à la date du début de la mission. **Parmi les stations contrôlées, 781 d'entre elles ont rendu à la fois un service de voix et un service de transmission de données.** Ce nombre apparaît cohérent avec celui communiqué par l'opérateur à l'ARCEP, selon lequel 735 de ses stations étaient opérationnelles à la fin du mois de février. Le réseau de téléphonie mobile de troisième génération constitué par ces 781 stations apparaît fonctionnel.

Les cartes indiquent que Free Mobile a implanté de nombreuses stations de manière espacée. La simulation de couverture réalisée à partir des caractéristiques de ces stations permet d'estimer que **ce réseau présente le potentiel de couvrir 30,8 % de la population métropolitaine.**

Le réseau de Free Mobile sollicite l'itinérance en 3G en tout point du territoire, au-delà des zones frontalières ou des zones blanches mutualisées. **Au stade actuel du déploiement de son réseau, la plus grande part des appels des abonnés de cet opérateur apparaît prise en charge par Orange.** Cette situation est susceptible de perdurer jusqu'à ce que le réseau atteigne une couverture comparable à celle de son partenaire d'itinérance dans les zones principales de séjour de ses abonnés.

# RESULTATS DES MESURES RELATIVES A LA COUVERTURE EFFECTIVE DES RESEAUX DE L'OPERATEUR FREE MOBILE

## I — Cadre de l'étude

Par lettre du 16 février 2012, le Ministre chargé de l'Industrie, de l'Energie et de l'Economie Numérique a souhaité disposer de mesures permettant d'évaluer la couverture effective des réseaux de l'opérateur Free Mobile sur le territoire métropolitain.

Les services de l'Agence nationale des fréquences (ANFR) ont donc entrepris des opérations de contrôle du spectre radioélectrique visant à :

1. évaluer la population couverte par le réseau de l'opérateur, à partir de simulations réalisées au moyen des données à sa disposition ;
2. établir la liste des stations effectivement constatées en service, c'est-à-dire émettant un signal et paramétrées pour accueillir concrètement et effectivement des communications électroniques sur le réseau propre de l'opérateur ;
3. dresser la liste des stations en service permettant un accès effectif au service téléphonique ;
4. dresser la liste des stations en service permettant un accès effectif à un service haut débit.

Les premières constatations après les quinze premiers jours de contrôle ont notamment mis en évidence qu'il ne pouvait être rendu compte du fonctionnement du réseau de Free Mobile sans approfondir les implications de son recours à l'itinérance en mode 3G. Des travaux complémentaires ont alors été entrepris, afin de décrire le comportement hertzien de ce réseau et de contribuer ainsi à l'information du régulateur dans le domaine de compétence propre de l'Agence. Ce rapport présente les principaux résultats rassemblés au cours de cette mission.

### I.1 — Démarche adoptée par les services de l'Agence

Trois actions ont été lancées pour réunir ces éléments. Tout d'abord, les **bases de données** de l'ANFR ont été sollicitées. L'Agence anime en effet deux commissions d'autorisation relatives aux fréquences et aux émetteurs mis en œuvre sur le territoire : la Commission des sites et servitudes (COMSIS) et la Commission d'assignation des fréquences (CAF). Dans ce cadre, les caractéristiques des émetteurs sont consignées dans des registres, après autorisation. Ces informations ont permis de localiser les installations d'émission constituant aujourd'hui le réseau de Free Mobile, ce qui a ainsi permis un examen sur place du fonctionnement de chaque site.

A partir de ces éléments, des **simulations** ont été lancées pour analyser la couverture de ces stations, grâce aux logiciels utilisés par les services de l'Agence. L'objectif de cette démarche était de rassembler des éléments de réponse à la première demande du Ministre, relative à l'évaluation de la population couverte par l'opérateur. Elle a permis d'aboutir à une représentation informatique de la couverture de l'opérateur. Celle-ci a alors ouvert la possibilité de simulations complémentaires, afin de préciser le comportement en itinérance des abonnés au réseau de Free Mobile.

En parallèle, une équipe de **contrôleurs** habilités et assermentés issus des services régionaux de l'ANFR a entrepris un examen, sur place, de chacune des stations déclarées mises en service par l'opérateur. L'objet de ces mesures était de répondre aux trois autres objectifs formulés dans la lettre

de mission, relative à l'identification des stations effectivement en service, en évaluant leur capacité à fournir un accès aux services de voix et de données.

Enfin, pour achever l'interprétation des éléments rassemblés par les contrôleurs, des démarches complémentaires ont été entreprises. C'est ainsi qu'une lecture des cartes SIM de plusieurs opérateurs et opérateurs virtuels (MVNO) a été réalisée, afin de mieux caractériser le fonctionnement de l'itinérance. Enfin, des essais de fonctionnement dans plusieurs zones de couverture ont permis de consolider les diverses simulations réalisées.

Le 20 mars, le collège de l'ARCEP a auditionné la Direction générale de l'Agence au sujet du rapport d'étape et des orientations d'approfondissement. A la suite de cette audition, l'Autorité a consulté la liste des sites que l'Agence avait constatés en fonctionnement afin de s'assurer qu'elle incluait la liste des sites que Free Mobile avait déclarés comme opérationnels auprès du régulateur.

Le Directeur général de Free Mobile a été reçu à l'Agence, à sa demande, le 22 mars dernier.

L'Agence a réalisé l'ensemble de ses travaux à partir d'informations publiques : le comportement hertzien des stations de l'opérateur et l'examen des cartes SIM. Les contrôleurs de l'ANFR, dont les outils permettent de retirer de nombreuses informations en analysant l'interface hertzienne des équipements mis en jeu par l'opérateur, ont réalisé leurs mesures sans qu'il leur ait été nécessaire de solliciter le concours de l'opérateur.

## I.2 — L'architecture hertzienne du réseau de Free Mobile

L'opérateur Free Mobile a été autorisé, par décision de l'ARCEP n° 10-0043 du 12 janvier 2010 ([www.arcep.fr/uploads/tx\\_gsavis/10-0043.pdf](http://www.arcep.fr/uploads/tx_gsavis/10-0043.pdf)), à établir et exploiter un réseau radioélectrique de troisième génération ouvert au public. Cette décision présente de nombreux traits communs avec celles qui ont autorisé les trois réseaux 3G précédents, en 2001 (Orange et SFR) puis en 2002 (Bouygues Télécom). Toutefois, Free Mobile ne dispose pas, contrairement à ses concurrents, de réseau 2G propre. Or, ce type de réseaux, qui fournit sur l'essentiel du territoire un accès au service de voix ainsi qu'à la transmission de données à faible débit, constitue à la fois un filet de sécurité indispensable pour accompagner la fourniture d'un service 3G, et un ensemble de stations préexistantes susceptible d'accélérer le déploiement du réseau afférent. Dans ce contexte, la décision 10-0043 précise que ce nouvel entrant « *pourra, comme ses concurrents opérateurs 3G disposant d'une autorisation GSM [2G], compléter sa couverture grâce à l'itinérance métropolitaine 3G-GSM* ». Elle demande également « *à chaque opérateur 3G disposant d'une autorisation GSM de permettre à Free Mobile d'accéder à l'un de ses sites, à chaque fois qu'il réutilise, pour son propre compte, l'un de ses sites pour y co-localiser ses équipements 3G* ».

Le schéma de principe du réseau découlant de cette autorisation peut donc être illustré par la Figure 1 (cf. page suivante) : l'opérateur nouvel entrant dispose ainsi des mêmes conditions de départ que ses trois concurrents directs, puisqu'il peut adosser la construction de son réseau 3G à un réseau 2G complet préexistant. Après négociation avec les opérateurs susceptibles d'offrir ce service, Free Mobile a ainsi conclu un accord d'itinérance vers la 2G avec Orange.

Sa licence demande à l'opérateur d'atteindre une couverture intrinsèque de son réseau 3G d'au moins 27 % de la population métropolitaine en service de voix, et de 25 % en service de données avant le 12 janvier 2012. Free Mobile a sollicité de l'ARCEP un contrôle de la réalisation de cette couverture le 10 novembre 2011, et l'Autorité a constaté l'accomplissement de cette obligation par communiqué du 13 décembre suivant. Enfin, l'opérateur a ouvert son service le 10 janvier 2012, soit moins de deux années après la délivrance de l'autorisation, conformément aux dispositions de ce texte.

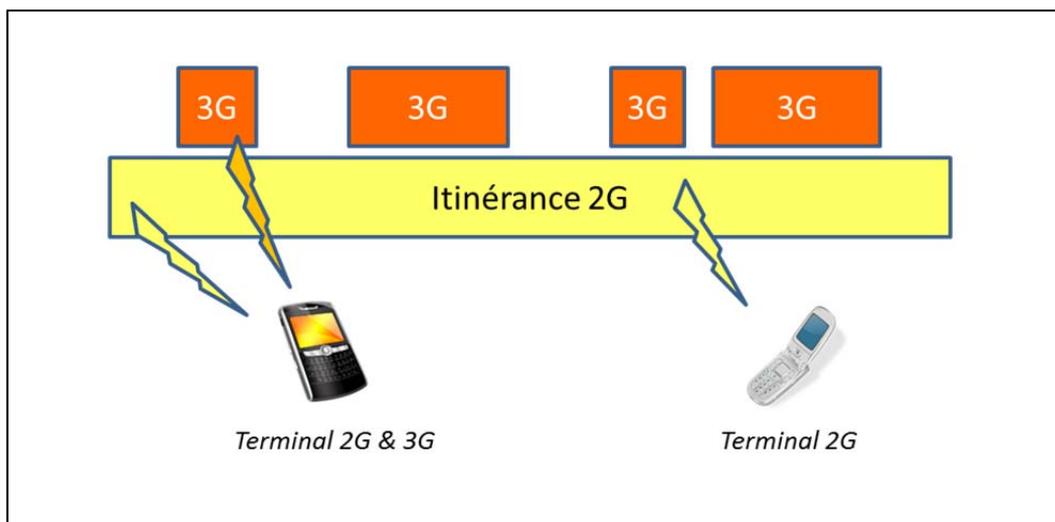


Figure 1. Dispositif décrit dans la licence de Free Mobile.

La configuration de réseau décrite par la licence est bien connue, ayant été employée au cours de la décennie passée par les trois opérateurs existants. Une infrastructure 3G peu développée emporte l'impossibilité d'offrir les services de données d'un débit élevé. Ce dispositif constitue donc une incitation puissante à construire rapidement un réseau 3G efficace.

Néanmoins, en 2012, le parc de terminaux apparaît très différent de celui qui prévalait dix années plus tôt. En particulier, une infrastructure 3G étendue se révèle désormais indispensable pour permettre le bon fonctionnement des terminaux qui animent la croissance du secteur, les *smartphones*. Free Mobile a donc conclu un accord d'itinérance complémentaire vers la 3G qui lui ouvre la possibilité de commercialiser un service de même niveau que celui de ses concurrents. C'est ainsi que le service ouvert en janvier 2012 par Free Mobile incorpore également une itinérance 3G sur le réseau d'Orange. Le dispositif actuellement offert à ses abonnés peut donc être schématisé par la Figure 2.

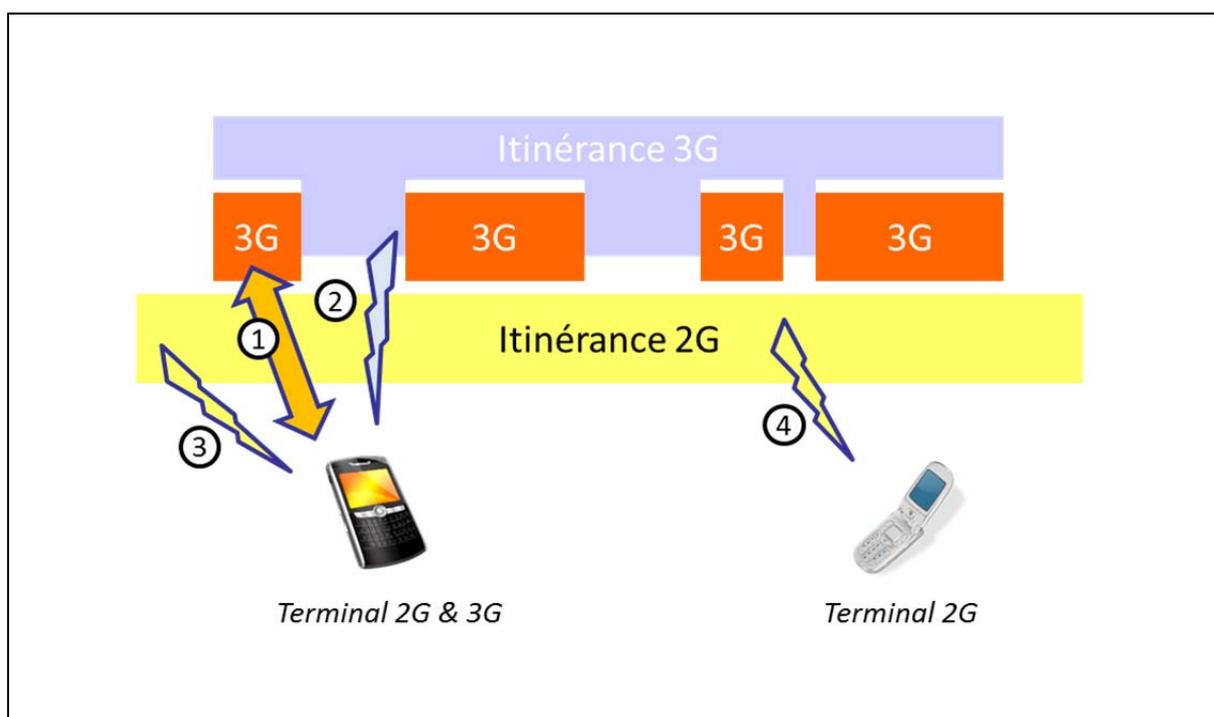


Figure 2. Introduction de l'itinérance vers la 3G.

L'équilibre général de ce réseau apparaît donc très différent du dispositif initial : le réseau d'Orange peut offrir l'essentiel des services de communications électroniques, en 2G ou en 3G, sur l'ensemble du territoire. Le réseau de Free Mobile, quant à lui, se substituera, au fil de la progression de son déploiement sur le territoire, au réseau 3G d'Orange.

Selon les terminaux utilisés, cette configuration offre diverses possibilités :

- Les terminaux disposant d'une capacité 3G peuvent recourir, par ordre de préférence décroissante, soit au réseau 3G de Free Mobile (cas ① de la Figure 2), soit au réseau 3G d'Orange (cas ②), soit au réseau 2G d'Orange (cas ③) ;
- Les terminaux sans capacité 3G fonctionnent quant à eux exclusivement à partir du réseau 2G d'Orange (cas ④).

Le fonctionnement des terminaux en relation avec le réseau 2G (cas ③ et ④) ne présente pas d'intérêt particulier : il s'agit d'un dispositif en tout point comparable à celui de certains opérateurs virtuels (« *Full MVNO* ») autorisés en France. Son fonctionnement est stable et bien connu. **Il n'a donc pas été approfondi au cours de cette mission.**

En revanche, le fonctionnement selon les modes ① et ② (fonctionnement en 3G sur le réseau propre de Free Mobile ou en itinérance vers la 3G du réseau d'Orange) constitue une première à cette échelle sur le territoire métropolitain. Jusqu'ici, la possibilité d'itinérance entre deux réseaux détenus par des opérateurs distincts n'avait en effet été observée en France que sur des zones d'étendue limitée : soit aux frontières, entre un opérateur national et ses partenaires dans le pays limitrophe, soit dans les zones blanches, où une couverture mutualisée existe, quoique le plus souvent en mode 2G. Il existe également au sein de chacun des trois réseaux historiques une itinérance à l'échelle du pays entre les modes 2G et 3G ; cette possibilité pour chaque opérateur d'organiser et d'optimiser cette articulation au sein de son propre réseau fait partie intégrante, depuis l'origine, des modalités de déploiement des réseaux 3G partout où ils ont été mis en œuvre. Enfin, si l'itinérance nationale 3G-3G entre réseaux concurrents a effectivement déjà été adoptée dans quelques pays européens, elle est restée peu documentée en France, où le principe de concurrence fondée sur les infrastructures prévaut depuis le lancement des réseaux GSM.

Du fait de la variété de son interface hertzienne, l'architecture de ce réseau revêt désormais une complexité supérieure à celle de ses concurrents directs, qu'ils soient opérateurs à infrastructure autonome (Bouygues Télécom, Orange, SFR) ou opérateurs virtuels. Les communications établies à partir des terminaux Free Mobile atteignent en effet le réseau-cœur de l'opérateur à partir de plusieurs trajets, schématisés dans la Figure 3 (cf. page suivante) :

- si elles sont captées par l'infrastructure propre de Free Mobile, ils suivent le trajet (A), qui leur fait rejoindre directement le réseau-cœur ;
- si elles sont captées par l'infrastructure d'Orange, elles rejoignent le réseau de cet opérateur par les voies (B) et (C) ; ensuite, ces appels sont remis au réseau Free Mobile par la voie (D).

Le schéma, limité à l'infrastructure devant faire l'objet d'une déclaration en COMSIS, ne détaille pas les possibilités d'écoulement de trafic à partir des interfaces hertziennes supplémentaires que sont susceptibles de procurer les installations domestiques d'abonnés au réseau fixe (*femto-cells*, usage du WiFi pour les connexions de données).

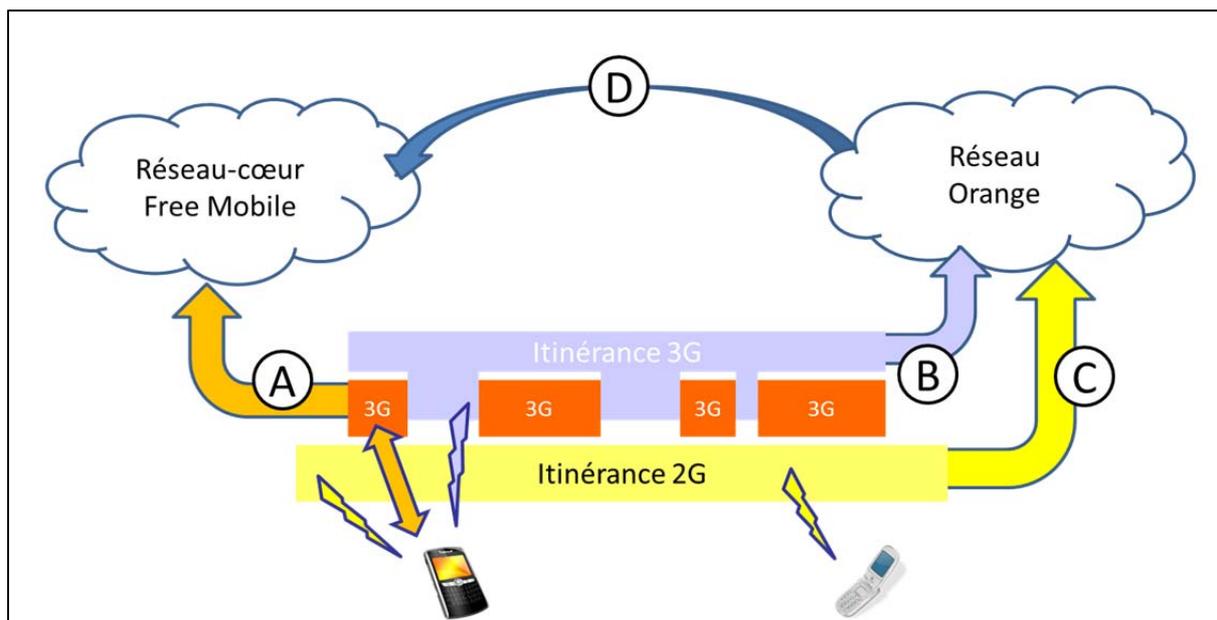


Figure 3. Trajets des appels issus des terminaux Free Mobile.

Les services de l'Agence n'ont pas approfondi au cours de cette mission le fonctionnement des canaux (C) ou (D). L'Agence n'a pas de compétence spécifique en matière d'ingénierie de réseau filaire et l'examen était restreint aux seuls segments hertziens du réseau de Free Mobile. **Les résultats présentés dans ce rapport approfondissent donc le fonctionnement du canal (A), représentatif de la capacité de l'opérateur à gérer le trafic de sa propre infrastructure**, ainsi que, lorsque cela est apparu nécessaire, la répartition entre les canaux (A) et (B).

### I.3 — La notion de couverture à l'épreuve de l'itinérance

La notion de couverture par un réseau relève, a priori, de principes simples : un réseau couvre une zone si, dans l'endroit considéré, il rend le service souhaité à chaque terminal qui en fait la demande. Les textes législatifs et réglementaires puis les décisions de l'Autorité de régulation des communications électroniques et des postes (ARCEP) ont néanmoins créé une définition plus précise de la couverture, qui découle de l'application reproductible d'un procédé de mesure. Ce protocole, publié pour la première fois en 2001, est notamment détaillé dans la décision n° 2007-0178 de l'Autorité en date du 20 février 2007 ([http://www.arcep.fr/uploads/tx\\_gsavis/07-0178.pdf](http://www.arcep.fr/uploads/tx_gsavis/07-0178.pdf)). Cette notion désigne les zones où il est possible de recevoir les services demandés en ne sollicitant que les équipements *contrôlés par un même opérateur*, de l'antenne-relais au terminal.

Pour rendre possible la mesure de cette couverture, le protocole est assorti de contraintes sur les paramètres de réseau. Ainsi, le protocole de l'ARCEP précise-t-il que les mobiles doivent être réglés pour choisir toujours les relais de leur propre opérateur (interdiction de l'itinérance, ce qui peut être assuré par l'emploi pendant le test de cartes SIM spécifiques). En outre, le protocole ne prévoit pas de vérifier la capacité des relais à écouler le niveau de trafic adapté à la fréquentation des lieux étudiés (tests en charge) : les tests sont formés d'appels *unitaires* consécutifs, donc sans situation de charge délibérément provoquée.

Ces paramètres apparaissent incontournables dans le cadre de l'évaluation de la couverture en propre d'un réseau donné. En effet, s'il s'agit par exemple d'évaluer la couverture de l'agglomération de Strasbourg, l'interdiction de l'itinérance permet d'éviter que la puissance parfois localement importante de relais allemands voisins de la ville n'accroisse artificiellement la couverture constatée, en comptabilisant la couverture offerte par un passage sur un réseau étranger partenaire. Cette

limitation permet donc d'appliquer le protocole dans les villes frontalières, jusqu'alors principal endroit d'usage de l'itinérance. Le fait d'interdire l'itinérance dans le protocole de test supprime ainsi tout biais lié à l'itinérance dans l'évaluation de la couverture propre du réseau.

Cette approche reflète en outre le fonctionnement le plus fréquent d'un mobile abonné auprès de l'un des trois opérateurs historiques : à distance des frontières et des quelques zones blanches comblées par une infrastructure mutualisée, ce mobile n'a qu'une seule couverture à sa disposition. Il utilise donc toujours les services fournis par son propre opérateur, situation identique à celle du test.

En revanche, lorsqu'un mobile dispose de plusieurs couvertures grâce à l'itinérance, un arbitrage permanent s'effectue entre ces possibilités. C'est ainsi que, lorsque le terminal a accès via son abonnement à plusieurs réseaux, il peut se trouver dans une zone couverte par son réseau préférentiel sans pour autant y accéder effectivement. Cette situation est devenue pour la première fois sensible au moment du lancement de la 3G. De fait, c'est une expérience commune que de constater que son mobile abandonne par endroits le réseau 3G pour se rabattre sur le réseau 2G. Or, bien souvent, et notamment à Paris, un passage en 2G se produit dans des zones où le test standard de couverture a pourtant certifié l'existence d'une couverture 3G. C'est en l'occurrence le plus souvent l'état de charge de la cellule 3G qui a provoqué le transfert du terminal vers un service GSM, GPRS ou EDGE moins performant : la couverture 3G existe, mais elle devient inaccessible à certains usagers. Il apparaît ainsi une notion de « couverture effective », qui représente la probabilité qu'en un point un mobile utilise effectivement les services d'un réseau donné. Cette notion statistique, qui dépend de l'endroit, du niveau de charge du réseau, mais aussi de la mobilité de l'abonné, n'est, à ce jour, pas évaluée.

| Terminologie ARCEP | Autres désignations                                       | Définition  |
|--------------------|---|---|
| Couverture         | --  | Zones où est présent un niveau de champ ouvrant la possibilité de raccorder le terminal au réseau et de rendre les services souhaités. La couverture des réseaux mobiles fait l'objet d'un rapport annuel de l'ARCEP. |
| Usage du réseau    | Couverture effective, taux d'usage d'une l'infrastructure | Taux d'usage par les terminaux d'une couverture donnée.   |
| Qualité de service | Degré d'efficience de la couverture effective             | Niveau de qualité, mesuré selon une métrique adaptée, du service fourni dans des conditions d'usage données. La qualité de service des réseaux mobiles fait l'objet d'un rapport annuel de l'ARCEP.                   |

Tableau 1. Définitions liées à la notion de couverture.

Pour décrire et préciser ce phénomène, l'ARCEP retient les trois notions de *couverture*, *usage du réseau* et *qualité de service*. Le terme de **couverture** désigne le résultat du test standardisé (terminal muni d'une carte SIM prioritaire pour ce type de service, sans itinérance) et représente le potentiel d'accéder à une infrastructure à partir d'un endroit donné. L'**usage du réseau** représente, quant à lui, le choix d'infrastructure statistiquement le plus fréquent que le terminal est amené à faire en un lieu donné, en fonction des différents réseaux couvrant la zone et de la charge du réseau. Il s'exprime en pourcentage du temps passé sur un réseau donné, et on peut l'assimiler à une « couverture effective », puisqu'il représente ce que le terminal exploitera en moyenne de la couverture qui lui est offerte. Enfin, la **qualité de service** représente le niveau de qualité que peut produire le réseau pour chacun des services testés en un lieu donné, dans des conditions d'emploi bien définies (en un point fixe, en déplacement, etc.). Ces notions sont résumées dans le Tableau 1.

L'application du protocole standard de mesure de couverture à un réseau doté de larges possibilités d'itinérance peut conduire à un écart significatif entre la couverture évaluée par l'ARCEP, qui correspond au potentiel maximal de couverture d'une infrastructure donnée, et la couverture effective, plus réduite du fait de choix opérés conjointement et à chaque instant par les réseaux et le terminal. Pour Free Mobile, cet écart semble avoir été sensible depuis le lancement de son offre commerciale. C'est vraisemblablement ce qui, pour l'essentiel, a pu susciter une interrogation quant à la permanence de fonctionnement du réseau de Free Mobile. Ce rapport traite donc de ce phénomène.

## II — Les caractéristiques propres du réseau de Free Mobile

L'étude du réseau de Free Mobile a fait apparaître un comportement très différent selon que l'itinérance était ou non autorisée par les terminaux programmables utilisés par les contrôleurs. Cette section détaille l'état du réseau sans itinérance, les implications de cette dernière étant, quant à elles, détaillées dans la section III.

### II.1 — Volumétrie

Les données disponibles dans la base COMSIS révèlent un réseau qui demeure encore de petite taille par rapport à ceux de ses trois concurrents. Free Mobile dispose aujourd'hui d'un peu plus d'un millier de stations déclarées mises en service, soit entre 6 et 10 % environ des stations 3G de même statut présentes dans le réseau de chacun de ses concurrents directs. La progression de ces déclarations au fil des mois, détaillée en annexe 2, est restituée par la Figure 4.

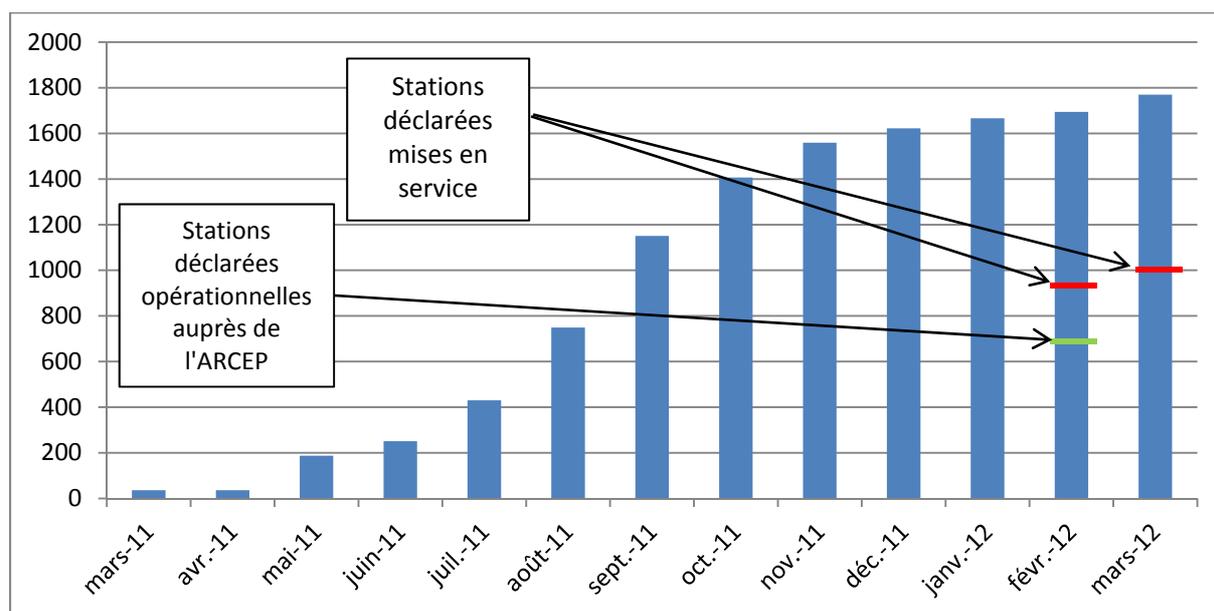


Figure 4. Nombre de stations déclarées en COMSIS par l'opérateur.

Un examen de l'historique de la progression des accords COMSIS en installations 3G permet de constater que ce niveau d'avancement de la construction du réseau apparaît comparable à ce qui avait été réalisé par les trois opérateurs concurrents au début effectif de leur déploiement. En prenant chaque fois comme point de départ le moment où les dossiers COMSIS ont commencé à affluer, chacun des trois opérateurs a atteint en deux années un total de stations 3G en projet variant entre 1 500 et 2 500. **Avec 1 770 projets de stations déclarés deux années après avoir entamé la construction de son réseau, Free Mobile se situe donc dans cette moyenne de déploiement des réseaux.**

L'évolution du nombre des dossiers COMSIS avait suscité quelques interrogations à la fin du mois de février : le nombre de stations en service semblait en effet marquer le pas depuis le dernier trimestre 2011. **Les chiffres de mars 2012 font néanmoins apparaître une relance du nombre de projets présentés en COMSIS.** Fin février, Free Mobile disposait ainsi de 1 694 stations en projet et 979 déclarées mises en service. Un mois plus tard, 76 nouveaux projets ont été déclarés et 51 stations en projet ont été déclarées mises en service.

Lors de l'entretien du 22 mars, les représentants de Free Mobile ont indiqué aux services de l'Agence que l'opérateur était parfois confronté à des procédures d'urbanisme prolongées, ce qui interférait avec l'homogénéité de son déploiement dans certaines villes. De fait, la tension que suscitent les projets d'antennes-relais, qui s'exprime également dans le cadre du « Grenelle des Antennes », constitue un sujet de préoccupation pour l'ensemble des opérateurs de téléphonie mobile. Il suffit de relever que, si certains projets se trouvent ainsi suspendus, ils deviendront bientôt visibles sur l'histogramme, compte tenu du délai que la COMSIS accorde pour leur achèvement.

## II.2 — Fonctionnement des relais contrôlés

Les services de l'ANFR se sont attachés à réaliser des mesures qui complètent les analyses que le régulateur avait déjà effectuées sur Free Mobile. Le nombre encore réduit des relais déclarés mis en service par l'opérateur a permis d'envisager une approche exhaustive, conçue autour d'une inspection sur place de chacun de ces sites. **Les techniciens de l'ANFR ont ainsi procédé à l'examen de chacune des 979 stations déclarées mises en service auprès de l'Agence.**

Les contrôleurs ont suivi un protocole de test précis, dont un résumé est fourni en annexe 3. L'objet de la mesure était de constater l'état de fonctionnement de l'antenne-relais et de jauger sa capacité à fournir les services attendus, qu'il s'agisse de voix ou de données. Chaque contrôle a été enrichi par un recueil de données techniques complémentaires, soit une soixantaine de paramètres. Les principaux résultats de cette opération de vérification sont consignés dans l'annexe 4.

Le réseau de Free Mobile est constitué d'émetteurs fonctionnant dans deux bandes de fréquences, à 900 MHz et à 2,1 GHz. Toutes les stations ont été dotées d'une capacité à 2,1 GHz ; environ les deux tiers fonctionnent également à 900 MHz. Bien que cette dernière bande de fréquences procure une couverture plus efficace, l'opérateur a privilégié la bande des 2,1 GHz lors de ce premier déploiement. En effet, la bande des 900 MHz, à l'origine dédiée à la 2G, n'est utilisable pour des services en 3G en France que depuis 2008, et l'aptitude du parc actuel de téléphones 3G à utiliser cette bande demeure encore réduite à ce jour. D'autre part, la licence de Free Mobile précise que la bande des 900 MHz ne sera, dans huit zones très denses<sup>1</sup>, disponible que début 2013 : dans ces zones, seul le déploiement en 2,1 GHz était donc envisageable pour le lancement commercial.

La campagne de mesure a conduit aux résultats suivants :

- Sur les 651 émetteurs à 900 MHz testés, 47 n'étaient pas en émission au moment du contrôle. Les 604 émetteurs témoignant d'une activité hertzienne n'ont, pour 54 d'entre eux, pas établi d'appel voix et, pour 109 d'entre eux, pas créé de liaison de données. Au total, les services de l'Agence ont donc constaté le bon fonctionnement de 495 émetteurs à 900 MHz (connexions voix ou haut débit possibles), soit 76 % des émetteurs de ce type pour lesquels les tests ont pu être validés.

---

<sup>1</sup> Huit zones autour des communes suivantes : Bayonne, Lille, Lyon, Marseille, Nice, Paris, Strasbourg et Toulouse.

- Sur les 947 émetteurs à 2,1 GHz testés avec succès, 145 n'étaient pas en émission au moment du contrôle. Les 802 émetteurs témoignant d'une activité hertzienne n'ont, pour 91 d'entre eux, pas établi d'appel voix et, pour 143 d'entre eux, pas créé de liaison de données. Au total, les services de l'Agence ont donc constaté le bon fonctionnement de 659 émetteurs à 2,1 GHz (connexions voix ou haut débit possibles), soit 70 % des émetteurs de ce type pour lesquels les tests ont pu être validés.

S'agissant de stations complètes, formées d'une combinaison d'un émetteur 2,1 GHz et, pour une partie d'entre elles, d'un émetteur 900 MHz, leur fonctionnement se trouve résumé par la Figure 5. Les contrôles ont fait apparaître, parmi les stations dont tous les émetteurs ont été déclarés mis en service auprès de l'Agence, 916 stations produisant effectivement une émission hertzienne. Parmi celles-ci, environ 10 % n'établissent pas d'appel vocal et environ 18 % ne permettent pas de transfert de données. Au total, 15 % des stations en émission n'ont pas rendu de service complet (voix et données) dans l'une ou l'autre des deux bandes.

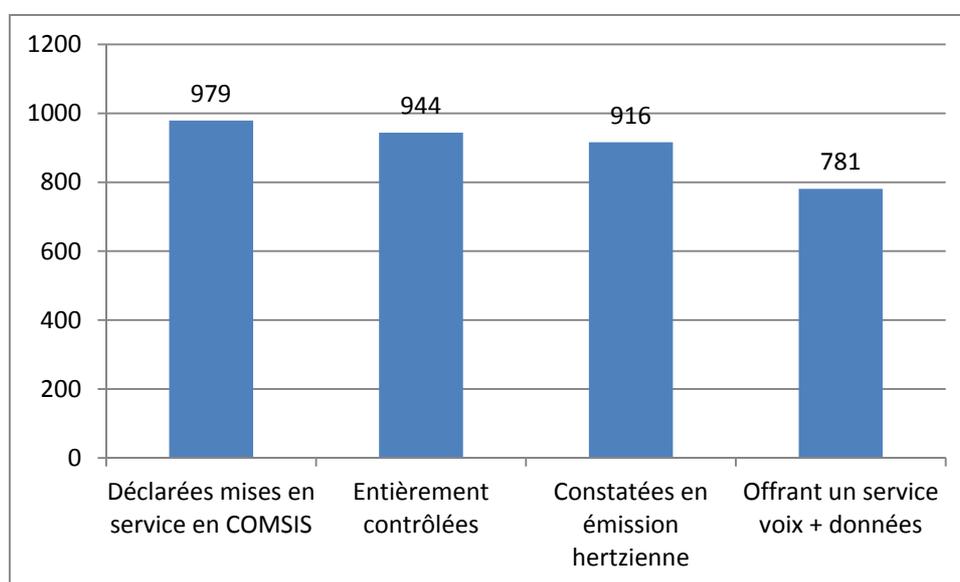


Figure 5. Etat de fonctionnement des stations Free Mobile.

Enfin, **781 stations ont fourni, au moins sur l'une des deux fréquences, un service de voix et de données.** Le fonctionnement unitaire<sup>2</sup> de ces stations est apparu satisfaisant : elles ont correctement fourni les services attendus. Ce chiffre corrobore les informations publiées par l'ARCEP, qui a indiqué à la fin du mois de février que l'opérateur lui avait déclaré disposer de 735 stations opérationnelles, et apparaît cohérent avec les sondages effectués sur le terrain en janvier par le prestataire missionné par l'Autorité pour réaliser le deuxième test de couverture.

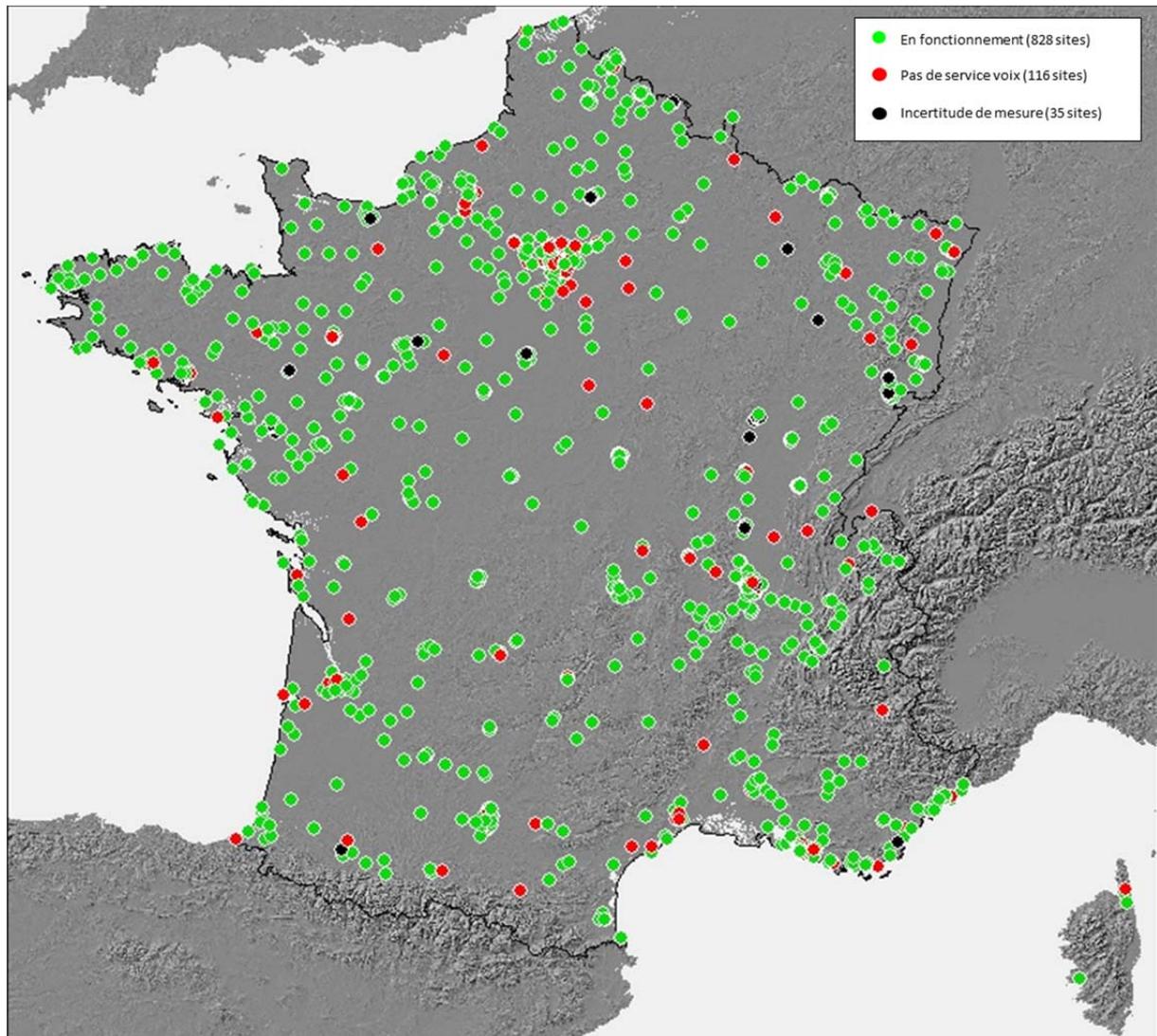
### II.3 — Couverture propre

L'Agence dispose de logiciels lui permettant de simuler la propagation des ondes issues des stations-relais et de modèles numériques de terrain. La combinaison de ces informations lui permet de confectionner des cartes de prédiction géographique de couverture pour différentes gammes de fréquences. Elle en fait notamment un usage régulier dans le cadre de plusieurs de ses missions :

- pour la protection de la réception de la télévision numérique terrestre (TNT), en collaboration avec le CSA ;

<sup>2</sup> Il convient de souligner que l'Agence n'a pas testé leur capacité à répondre à plusieurs appels simultanés.

- pour la planification des réseaux indépendants, que l'Agence assure par convention avec l'ARCEP ;
- pour la coordination des fréquences frontalières, avec ses homologues étrangers ;
- pour la détermination des niveaux de champ, dans le cadre de sa mission de protection de l'exposition du public aux ondes électromagnétiques ;
- et, enfin, pour le diagnostic de brouillages.



*Figure 6. Position géographique des émetteurs contrôlés pour le service de voix.*

La particularité de ces logiciels est d'offrir de multiples combinaisons de paramètres. Il existe tout d'abord plusieurs normes applicables pour la modélisation de la propagation. S'accorder sur les coefficients retenus pour l'absorption par les bâtiments présente un enjeu particulier dans les services utilisés en milieu urbain, comme la téléphonie mobile. Il convient aussi d'agréer des seuils correspondant à un fonctionnement acceptable pour des terminaux standard. Selon les réglages choisis, la couverture géographique calculée peut varier dans des proportions significatives.

A défaut de disposer de la carte de couverture du réseau de Free Mobile, l'ANFR a élaboré, au fil de cette mission, quelques lignes directrices permettant de produire des cartes de prévision de couverture en téléphonie mobile. Celles-ci sont détaillées en annexe 5. Ces paramètres simplifiés ne sauraient se substituer à ceux qu'utilisent les opérateurs pour construire des cartes de couverture plus

détaillées afin d'optimiser l'ingénierie de leurs réseaux. Toutefois, ils autorisent la confection rapide, à partir des descriptions d'émetteurs contenues dans les bases de l'Agence, de cartes plausibles. En outre, ils autorisent des comparaisons sans biais des couvertures des différents opérateurs.

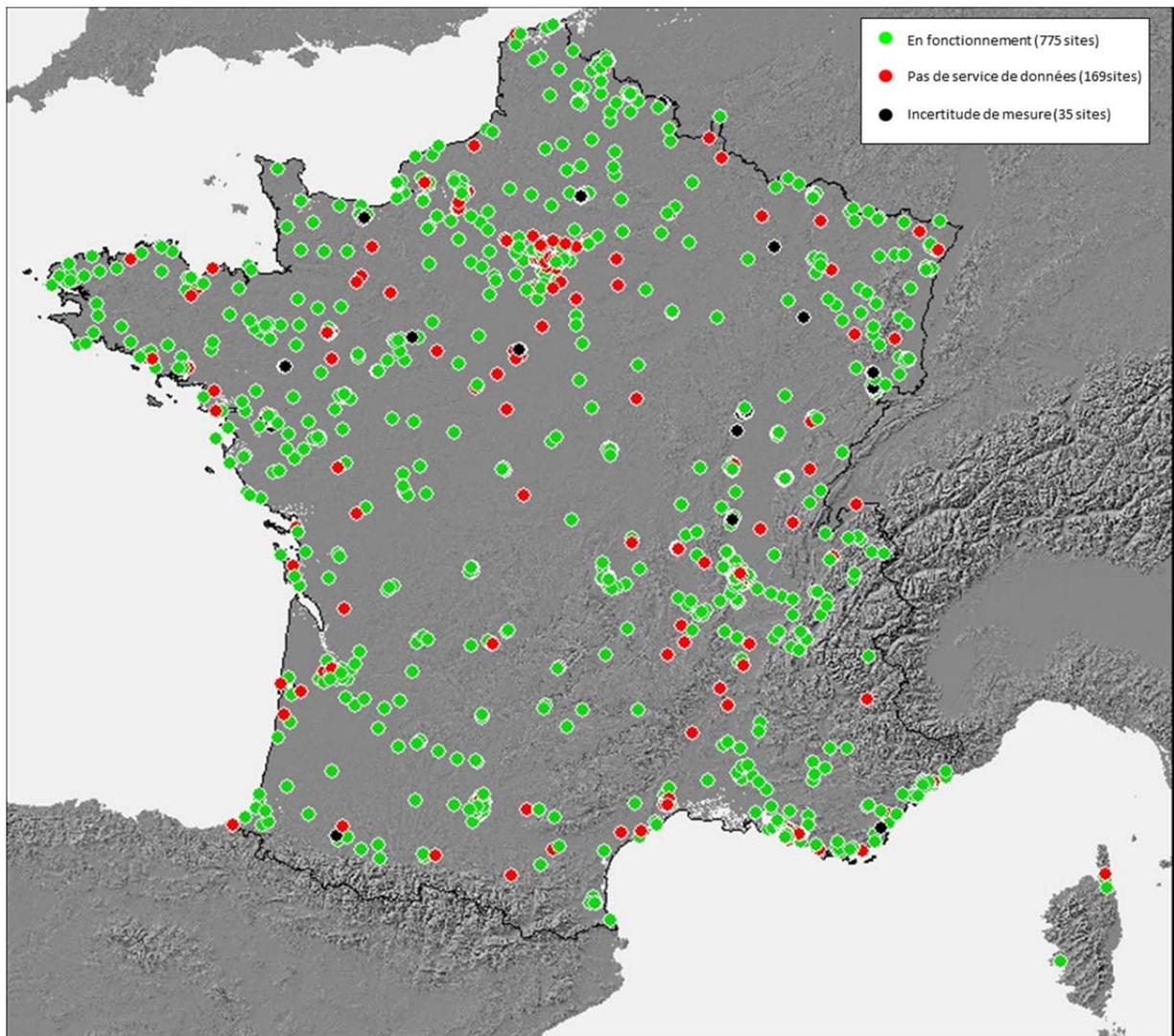
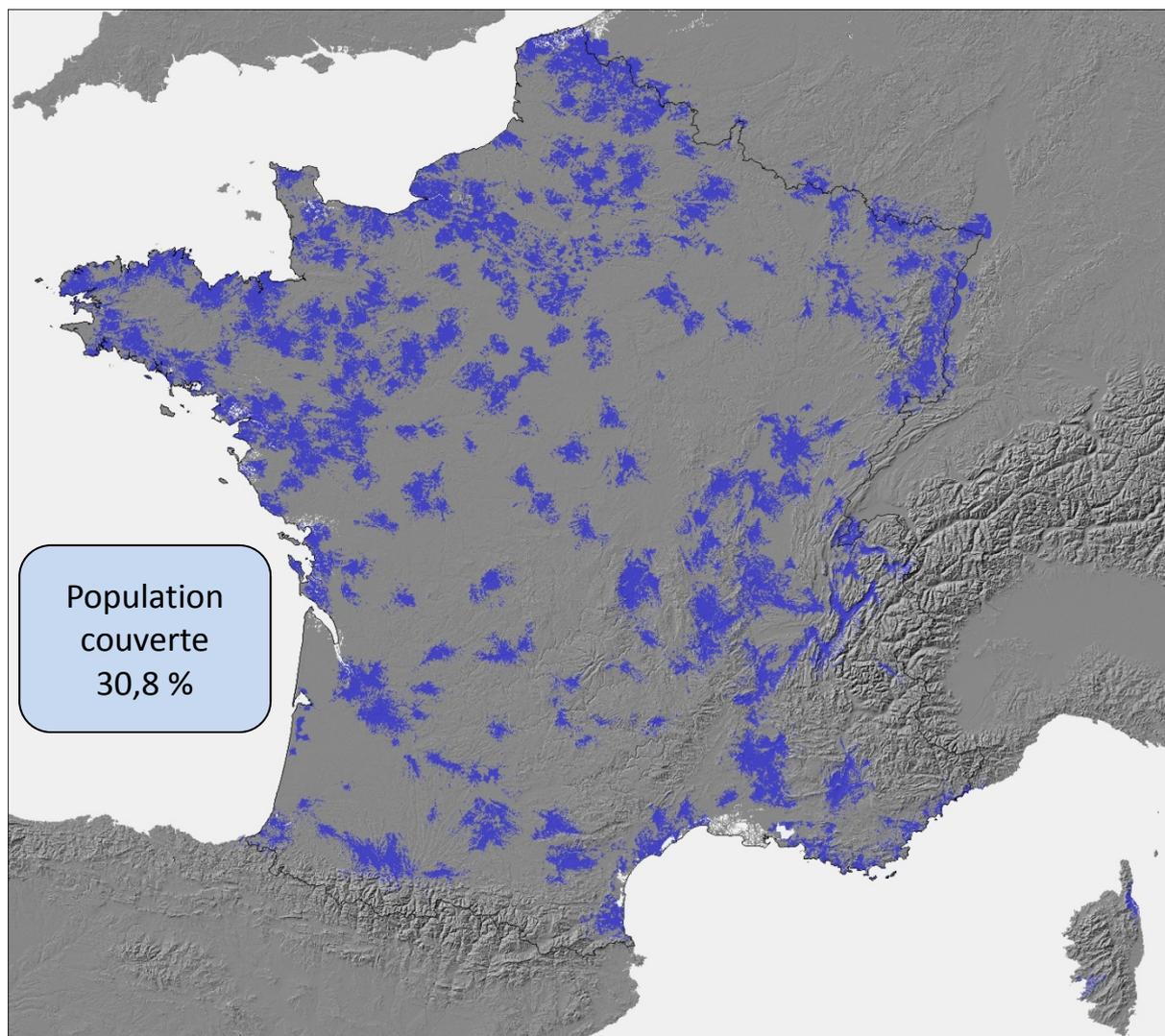


Figure 7. Position géographique des émetteurs contrôlés pour le service de transmission de données.

L'examen de l'implantation des stations (Figure 6 et Figure 7) fait apparaître une assez grande dispersion de leurs emplacements. En effet, **Free Mobile a implanté de nombreuses stations de manière espacée**. Ce choix peut résulter des freins au déploiement déjà évoqués pendant ces deux premières années de construction du réseau : la possibilité, prévue par la licence, de disposer de points d'émission issus des stations 3G des opérateurs concurrents n'emporte pas celle d'obtenir l'accord des riverains ou, particulièrement en zone urbaine, des municipalités dans un délai aussi court. Néanmoins, cette topologie demeure sans conséquence pour l'offre globale du service aux abonnés, du fait de la double itinérance 2G et 3G dont dispose l'opérateur. Pour autant, il accroît la longueur de la frontière qui sépare les zones couvertes par le réseau de Free Mobile de celles qui ne le sont pas encore. Cette configuration multiplie pour un usager en mobilité les occasions de déclencher cette itinérance.



*Figure 8. Couverture de l'opérateur Free Mobile simulée à partir des stations constatées en fonctionnement (seuil : -95 dBm).*

La carte de couverture reconstituée par simulation, à partir des seules stations fonctionnelles pour le service de voix, constitue la Figure 8. Son recoupement avec un modèle de répartition de la population métropolitaine conduit à **un potentiel de couverture en propre du réseau de Free Mobile évalué à 30,8 % de la population**, selon les hypothèses décrites dans l'annexe 5. La couverture de ce réseau apparaît donc cohérente avec l'évaluation communiquée par l'ARCEP.

**Les principales caractéristiques du réseau étudié peuvent donc être résumées comme suit :**

- **un plan de déploiement comportant un peu moins de 1 800 projets de stations, qui se situe dans la moyenne de ce qui peut être attendu après deux années de construction ;**
- **un taux important (15 %) de stations en émission hertzienne mais non encore opérationnelles ;**
- **une certaine dispersion dans l'implantation des stations sur le territoire ;**
- **un réseau constitué d'environ 800 stations 3G fonctionnelles, concourant à produire une couverture propre d'un peu plus de 30 % de la population métropolitaine.**



Ce phénomène met en défaut le sens commun qui inciterait à penser que, dès lors que la couverture du réseau d'abonnement atteint 30 %, la probabilité pour que le mobile demeure sur ce réseau devrait être également voisine de 30 %.

Cette situation peut être illustrée par la Figure 9, où un mobile se déplace en traversant une zone couverte par deux opérateurs dont l'un dispose d'un réseau d'émetteurs plus dense que l'autre. Sur ce schéma, un mobile est mis en marche au point de départ, dans la zone de couverture de son propre opérateur. Après sa recherche initiale de réseau, compte tenu de sa position, le mobile se raccorde naturellement à son opérateur d'abonnement.

- Lorsqu'il atteint **(A)**, il est confronté à l'interruption du réseau de son opérateur. Il passe alors en itinérance sur le réseau partenaire.
- En **(B)**, il entre de nouveau sous la couverture de son opérateur d'abonnement. Néanmoins, la couverture du réseau d'itinérance reste également présente : en l'absence d'événement déclencheur, il poursuit en itinérance.
- En **(C)**, l'état prolongé d'itinérance depuis le point (A) déclenche une recherche périodique de réseau ; mais, en ce point, le seul réseau disponible est une nouvelle fois celui de l'opérateur partenaire : le mobile reste donc en itinérance.
- En **(D)**, le mobile rejoint la couverture de son opérateur d'abonnement ; mais la couverture de l'opérateur partenaire ne s'est pas interrompue : en l'absence d'élément déclencheur, il maintient l'itinérance.
- En **(E)**, la recherche périodique de réseau révèle la présence du réseau d'abonnement, le mobile s'y raccorde donc.
- En **(F)**, la couverture de l'opérateur d'abonnement s'interrompt ; le mobile bascule en itinérance.

Dans cet exemple, et bien qu'il ait eu la possibilité d'être couvert par son opérateur de référence sur plus de la moitié de son trajet, le mobile n'a donc été connecté à celui-ci que sur une fraction de son parcours, entre le point de départ et le point (A) d'une part, entre (E) et (F) d'autre part.

### III.2 — Itinérance et usage du réseau

Les services de l'ANFR modélisent, dans leurs études de projets d'usage partagé de bandes de fréquences, des effets statistiques pour quantifier la gêne qu'un service intermittent (par exemple, un satellite de communication à défilement) peut créer dans l'exploitation de services utilisant la même bande de fréquences.

Comme la mission avait permis de construire une simulation informatique de couverture, il est apparu utile de l'exploiter pour conduire une étude statistique. Celle-ci a permis d'étudier l'influence du comportement des usagers sur la couverture utilisée par leurs terminaux, dans deux configurations issues de l'identification de deux zones où la couverture de Free Mobile apparaît d'ores et déjà significative. Ces travaux, détaillés dans l'annexe 6, permettent de disposer d'une première tentative d'évaluation du taux d'usage du réseau, ou de la « couverture effective », dans le cas d'une itinérance nationale.

Les couvertures dans lesquelles la modélisation s'est déroulée sont déduites de deux configurations de terrain, constituées d'emprises urbaines et suburbaines dans lesquelles la couverture géographique du réseau de Free Mobile a été estimée respectivement à 44 % et 72 % des zones considérées.

Pour évaluer l'importance de l'effet décrit dans la section précédente, les services de l'Agence ont fait procéder à la lecture, par un laboratoire indépendant, des données de plusieurs cartes SIM d'opérateurs différents (opérateurs à infrastructure et MVNO) présents sur le marché français. La norme prévoit que la périodicité de cette recherche soit fixée par l'opérateur par pas de 6 minutes. Il est ainsi possible de provoquer cette nouvelle recherche de réseau toutes les 6, 12, 18, 24, 30 minutes, etc. Fixer un délai court peut paraître préférable, puisque cela permet au mobile de rejoindre plus souvent son réseau d'abonnement ; néanmoins, ce choix est rarement retenu, car la recherche de nouveaux réseaux empêche le terminal d'émettre ou de recevoir et nécessite une brève mais intense activité hertzienne du mobile, qui abrège son autonomie. Fixer un délai très long, de l'ordre d'une heure ou au-delà, favorise *a contrario* l'autonomie du portable ; en revanche, cette longue durée peut être préjudiciable à l'opérateur ou à son client : un abonné français vivant dans une ville frontalière assez bien couverte par des relais étrangers pourrait ainsi se trouver en itinérance pendant de longues périodes et voir sa facture augmenter rapidement, en particulier du fait des transmissions de données fréquentes en 3G. L'examen des cartes SIM a fait apparaître que la périodicité était fixée, dans les cartes examinées, entre 18 minutes et 60 minutes. **Free Mobile a retenu 30 minutes, ce qui apparaît donc comme une valeur intermédiaire.**

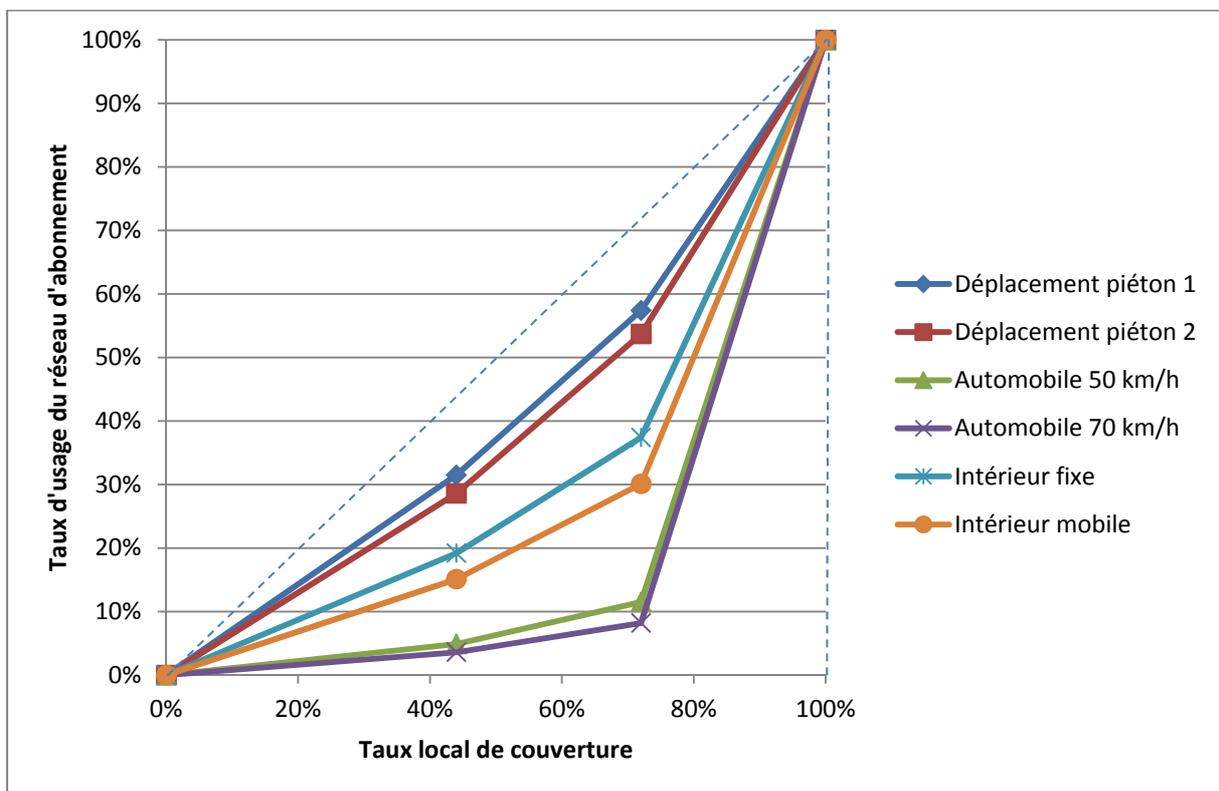


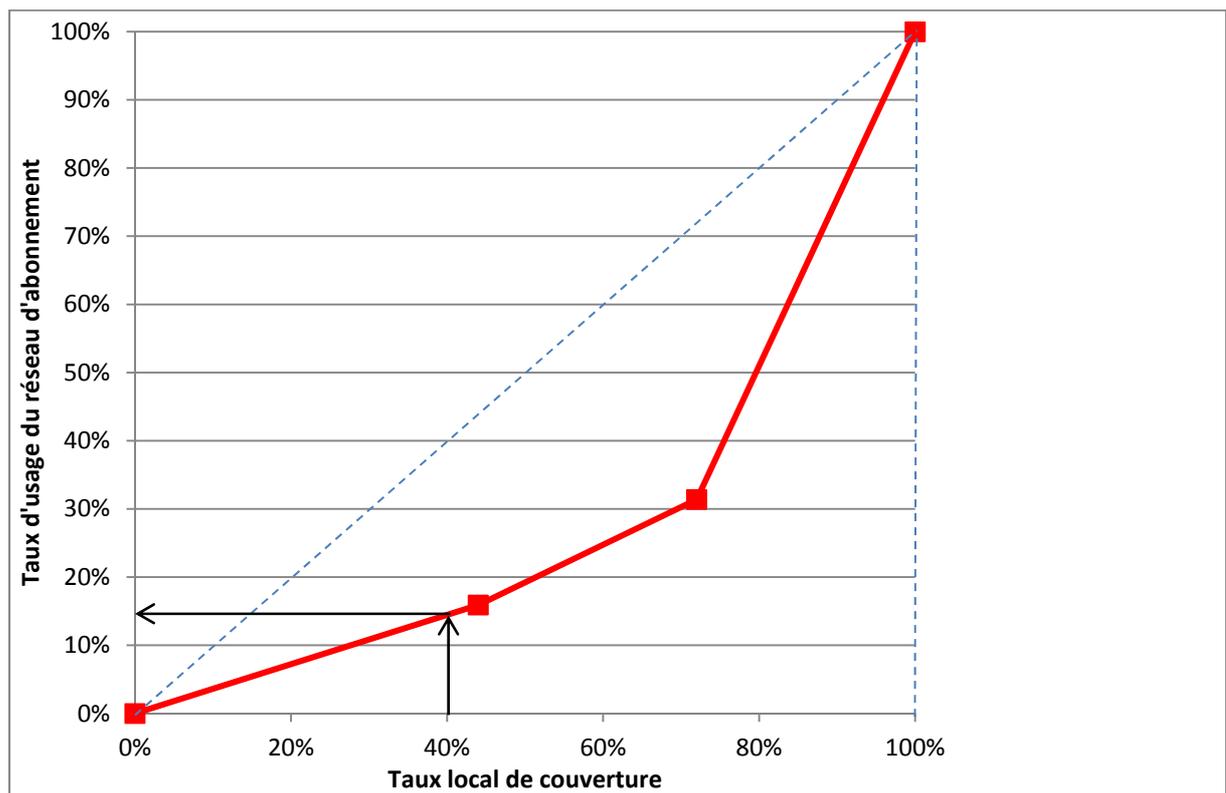
Figure 10. Taux d'usage du réseau d'abonnement en fonction du taux local de couverture, selon le type de trajet (périodicité de la recherche de réseau : 30 minutes).

Enfin, six profils-types d'usage ont été identifiés, en faisant varier les vitesses de déplacement et la localisation (à l'extérieur ou à l'intérieur d'un bâtiment) pour refléter des situations représentatives du comportement d'un abonné mobile : piéton en promenade de quartier, piéton en marche rapide d'un point à un autre ; automobiliste roulant à une moyenne de 50 km/h ; automobiliste roulant à une moyenne de 70 km/h ; utilisateur immobile en intérieur ; utilisateur se déplaçant à l'intérieur de bâtiments. Pour obtenir des résultats statistiques significatifs, un très grand nombre de comportements aléatoires a alors été engendré à partir de ces éléments, en relevant périodiquement l'état du mobile en fonction des champs simulés.

Les valeurs des paramètres retenues pour cette simulation incluent des hypothèses simplificatrices, ce qui fait que les résultats obtenus ne peuvent prétendre refléter tous les aspects de la réalité. Ces données quantitatives permettent néanmoins de tirer de premières conclusions quant à la relation entre taux de couverture et taux d'usage du réseau d'abonnement. La Figure 10 donne une indication de la variation du taux d'usage du réseau en fonction du taux de couverture (évalué localement) du réseau d'abonnement, pour les comportements étudiés.

La diagonale du carré représente l'égalité entre couverture et taux d'usage du réseau, ce qui constitue le mode de fonctionnement de chacun des trois réseaux n'autorisant pas l'itinérance. Le fait que toutes les courbes se situent sous cette diagonale indique que le réseau d'abonnement ne véhicule qu'une fraction du trafic des mobiles, et en particulier dès lors que la couverture locale est réduite.

L'agrégation de paniers de comportements permet d'aboutir à un schéma très simplifié illustrant l'évolution du rendement du réseau en fonction de la densité locale de couverture réalisée (Figure 11). Comme l'indique l'annexe 6, l'expérience des utilisateurs présente une grande variabilité. Néanmoins, pour un grand nombre de simulations aléatoires, cette courbe reflète ce qui pourrait être la vision du trafic produit par tous ces utilisateurs au niveau du réseau. A titre d'exemple, si la couverture du réseau d'abonnement atteint 40 % de la surface considérée, le modèle indique ainsi que les mobiles de ces usagers auront recours au réseau d'abonnement pendant environ 15 % du temps.



*Figure 11. Taux d'usage du réseau d'abonnement (profil agrégé correspondant à un employé de bureau, durée de 16 h, périodicité de recherche du réseau de 30 minutes).*

En outre, l'analyse développée dans l'annexe 6 fait apparaître que **les périodes de recherche du réseau programmables dans la carte SIM ne procurent qu'une légère amélioration du taux d'usage du réseau**. En particulier, une simulation du taux de 18 minutes, minimum constaté sur les

cartes SIM examinées, ne produit qu'un effet marginal sur le taux d'usage du réseau tant que la couverture propre n'atteint pas localement un niveau élevé.

Ces éléments font tout d'abord apparaître que la capacité de l'opérateur à fournir une couverture presque équivalente à celle de son partenaire sur les zones les plus fréquentées par ses abonnés est l'une des clefs pour accroître sensiblement la captation de trafic par son réseau propre. A cet égard, l'implantation d'émetteurs isolés ne couvrant pas l'intégralité d'une agglomération contribue à la couverture, mais sans doute peu à l'usage effectif du réseau, notamment par les abonnés en mobilité.

La forme des courbes indique que le développement de l'infrastructure en début de déploiement contribue relativement peu à la croissance du taux d'usage du réseau. En revanche, **l'apport marginal de l'infrastructure croît sensiblement lorsque celle-ci atteint une densité comparable à celle du réseau partenaire**. Cela peut s'expliquer par le fait que la résorption quasi-complète des trous de couverture élimine alors les « fuites » vers le réseau d'itinérance, et permet ainsi de réintégrer l'essentiel du trafic sur le réseau propre. Cet effet favorable se produit, selon ces modèles simplifiés, lorsque le taux de couverture des zones d'étude s'approche de 80 %.

**En résumé, l'accord d'itinérance 3G produit les effets suivants :**

- **En l'état actuel de la topologie et de la couverture propre de Free Mobile, le taux d'usage du réseau 3G de l'opérateur est vraisemblablement faible par rapport à son taux de couverture ;**
- **Pour que ce réseau puisse capter la plus grande partie du trafic 3G de ses abonnés, il conviendrait d'accroître sensiblement sa couverture ou de densifier les zones privilégiées par ses abonnés.**

Enfin, ces travaux de modélisation ouvrent la voie à la définition d'une « couverture effective », qui pourrait être établie en pondérant la couverture potentielle à partir de comportements d'utilisateurs dans des subdivisions formées de zones représentatives des lieux de séjour des abonnés. Cette dimension, sans incidence sur les obligations réglementaires, pourrait permettre de mesurer l'évolution de l'efficacité du réseau propre d'un opérateur, au fil de l'accomplissement du programme de déploiement imposé par sa licence.

## **Annexe 1 : lettre de mission du Ministre**



MINISTÈRE CHARGÉ DE L'INDUSTRIE, DE L'ÉNERGIE  
ET DE L'ÉCONOMIE NUMÉRIQUE

LE MINISTRE

Paris, le **16 FEV. 2012**

Monsieur le Directeur Général,

L'opérateur Free Mobile a obtenu le 12 janvier 2010 une autorisation d'utilisation des fréquences pour exploiter un réseau radioélectrique de troisième génération ouvert au public. Conformément à cette autorisation, Free Mobile devait être en mesure d'ouvrir commercialement son réseau au plus tard le 12 janvier 2012. À cette même date, il devait couvrir 27% de la population pour le service de voix et 25% pour le service de transmission de données.

Ces obligations minimales, qui correspondent à un taux de disponibilité pour les appels à l'extérieur des bâtiments d'au moins 95%, devaient être respectées hors accord d'itinérance avec un autre opérateur, à toute heure de la journée. Dès lors que Free Mobile respecte ces obligations, il peut bénéficier de l'itinérance sur le réseau d'un opérateur mobile tiers pour compléter sa couverture du territoire national.

Dans son communiqué de presse du 27 janvier 2012, « *l'ARCEP a souhaité faire part au ministre chargé de l'industrie, de l'énergie et de l'économie numérique qu'elle juge souhaitable que les moyens techniques de l'ANFR puissent être utilisés pour faciliter les contrôles de couverture des réseaux des opérateurs mobiles menés par l'ARCEP* ».

En réponse à cette demande, je vous demande de bien vouloir effectuer les mesures nécessaires pour vérifier la couverture effective des réseaux de l'opérateur Free mobile sur le territoire métropolitain.

Ces mesures devront porter sur les stations dont l'opérateur aura déclaré la mise en service auprès de la Commission sites et servitudes (COMSIS), afin notamment de déterminer :

- la population couverte par le réseau de l'opérateur, évalué à partir de simulations réalisées au moyen des données à votre disposition ;

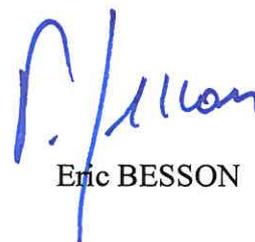
Monsieur Gilles BRÉGANT  
Directeur Général  
Agence Nationale des Fréquences  
78 Avenue du Général de Gaulle  
94704 MAISONS-ALFORT CEDEX

- la liste des stations effectivement constatées en service, c'est-à-dire émettant un signal et paramétrées pour accueillir concrètement et effectivement des communications électroniques sur le réseau propre de l'opérateur ;
- la liste des stations en service permettant un accès effectif au service téléphonique ;
- la liste des stations en service permettant un accès effectif à un service haut débit.

Vous me rendrez compte des premiers résultats de ces mesures d'ici le 29 février 2012.

Je vous prie de croire, Monsieur le Directeur général, à l'assurance de ma considération distinguée.

*Rien à voir*

  
Eric BESSON

## Annexe 2 : déclarations enregistrées auprès de la COMSIS

Cette annexe détaille la volumétrie des déclarations réalisées par l'opérateur Free Mobile auprès de la Commission des sites et servitudes (COMSIS) gérée par l'Agence nationale des fréquences.

L'existence de cette commission résulte de l'application des articles L.43-I et R.20-44-14 14° du Code des Postes et communications électroniques (CP&CE). L'article L.43-I dispose ainsi notamment que l'Agence « coordonne l'implantation sur le territoire national des stations radioélectriques de toute nature afin d'assurer la meilleure utilisation des sites disponibles et veille au respect des valeurs limites d'exposition du public aux champs électromagnétiques prévues à l'article L. 34-9-1. A cet effet, les décisions d'implantation ne peuvent être prises qu'avec son accord ou, lorsqu'elles relèvent de la compétence du Conseil supérieur de l'audiovisuel, qu'après son avis. »

Ces dispositions sont précisées par l'article R.20-44-1 5° 1 du CP&CE ainsi que par l'arrêté du 17 décembre 2007 pris pour son application et relatif aux conditions d'implantation de certaines installations et stations radioélectriques. Les modalités de la procédure sont déterminées par le document DR-05 de l'Agence intitulé « Procédures d'utilisation optimale des sites radioélectriques ». Selon le DR-05 (section 1.7.1), « les projets d'implantation ou de modification d'installations approuvées par l'ANFR font l'objet soit :

- Sur l'initiative du pétitionnaire, d'une déclaration de mise en service ou d'abandon du projet ;
- Sur demande de l'ANFR [d'une confirmation ou d'un abandon du projet]. »

Les stations ayant fait l'objet d'une déclaration de mise en service par l'opérateur sont donc considérées par l'ANFR comme étant « prêtes à émettre ». En effet, le projet d'installation de l'émetteur étant alors terminé, l'équipement est susceptible d'avoir une activité hertzienne à tout moment. Cela ne signifie pas nécessairement qu'il soit raccordé au réseau, ou a fortiori en fonctionnement commercial. En effet, des tests de bon fonctionnement sont usuellement réalisés par l'opérateur avant qu'il n'intègre définitivement un relais à son réseau.

|                | 2011 |       |     |      |         |      |       |      |      |      | 2012  |       |      |
|----------------|------|-------|-----|------|---------|------|-------|------|------|------|-------|-------|------|
|                | Mars | Avril | Mai | Juin | Juillet | Août | Sept. | Oct. | Nov. | Déc. | Janv. | Févr. | Mars |
| Accords COMSIS | 36   | 0     | 151 | 64   | 179     | 319  | 402   | 256  | 152  | 63   | 44    | 28    | 76   |
| Cumul          | 36   | 36    | 187 | 251  | 430     | 749  | 1151  | 1407 | 1559 | 1622 | 1666  | 1694  | 1770 |

Tableau 2. Nombre de stations déclarées en COMSIS par Free Mobile.

Début février, le total des projets achevés (stations déclarées mises en service auprès de l'ANFR) atteignait le chiffre de 979. Fin mars, il était de **1 030** (+ 51 stations, soit + 5 %).

### **Annexe 3 : protocole retenu pour les mesures réalisées sur chaque station-relais**

L'objet initial du contrôle était de vérifier l'allumage effectif des stations déclarées en service par l'opérateur et de qualifier leurs capacités à fournir les principaux services attendus (voix et transmission de données).

Les contrôleurs ont utilisé des « téléphones à trace », téléphones programmables permettant d'afficher les caractéristiques techniques des émissions des antennes-relais. Ces téléphones ont été équipés de cartes émises par l'opérateur Free Mobile, achetées dans des conditions commerciales standard.

Chaque contrôle s'est effectué en un seul point, à vue et à proximité de la station à contrôler. Le contrôleur, après avoir localisé la station déclarée à partir des indications portées dans les fichiers de l'Agence, devait réaliser successivement les opérations suivantes :

1. Mise en marche du téléphone à trace, relevé de l'indicatif de la station l'ayant spontanément pris en charge ;
2. Recherche exhaustive de toutes les stations reçues par le terminal, avec leur niveau respectif de réception ;
3. Dans l'éventualité où la station Free Mobile à contrôler n'était pas celle qui avait été spontanément retenue par le terminal, connexion forcée du terminal à la station Free Mobile à étudier, dans toutes les gammes de fréquences offertes (2,1 GHz et, le cas échéant, 900 MHz) ;
4. Dans chaque gamme de fréquences, tentative d'établissement d'un appel vocal ;
5. Dans chaque gamme de fréquences, tentative de téléchargement d'une vidéo sur un serveur YouTube au fonctionnement préalablement qualifié.

Au total, chaque contrôle s'est ainsi traduit par la saisie d'une soixantaine de paramètres caractérisant le fonctionnement de la station et son environnement hertzien.

Ces tests sont différents de ceux qui sont décrits dans le protocole de mesure de la couverture défini par l'ARCEP. L'ARCEP prescrit en effet des appels d'une durée minimale d'une minute après décroché, alors que la durée de l'appel réalisée par les contrôleurs de l'ANFR n'était pas normée. De la même manière, la connexion de données recherchée par l'ARCEP est réputée conforme dès lors qu'elle atteint 144 kbits/s. La connexion au serveur YouTube utilisée dans le cadre du protocole ANFR peut exiger un débit supérieur.

Les tests réalisés ont été exclusivement unitaires (appel par appel) : de ce fait, il n'a pas été réalisé de test de charge des stations hertziennes Free Mobile.

## Annexe 4 : données issues du contrôle individuel de chaque station

Un relais de téléphonie mobile est constitué d'un ensemble d'équipements techniques (panneaux rayonnants, mât, support, câblage, appareils électroniques). Sur un relais donné, plusieurs opérateurs peuvent avoir installé un équipement. Dans ce qui suit, on appellera « station » la partie du relais qui est contrôlée par un seul opérateur, et qui fait donc l'objet d'une déclaration séparée en COMSIS (cf. annexe 2).

Une station Free Mobile peut, selon la nature de son équipement, être active soit uniquement dans la bande des 2,1 GHz (stations à un seul émetteur), soit dans les bandes des 900 MHz et 2,1 GHz (stations à deux émetteurs).

### 1 – Infrastructure déclarée apte à l'émission

Les contrôles se sont déroulés de mi-février à mi-mars 2012. Toutes les stations déclarées comme aptes à l'émission en date du 1<sup>er</sup> février 2012, au nombre de 979, ont fait l'objet d'un examen sur place. L'intégralité des stations a été contrôlée selon des méthodes identiques. Les stations déclarées aptes ultérieurement n'ont pas été observées.

| Stations déclarées auprès de la COMSIS   | Nombre | Pourcentage du total |
|--|--------|----------------------|
| Stations déclarées aptes à l'émission (COMSIS) au 1 <sup>er</sup> février 2012 | 979    | --                   |
| <i>comportant</i> : émetteurs 900 MHz déclarés aptes à émettre                 | 668    | 68 %                 |
| <i>comportant</i> : émetteurs 2,1 GHz déclarés aptes à émettre                 | 979    | 100 %                |

Tableau 3. Stations ayant fait l'objet d'un contrôle.

#### Interprétation :

- Les 979 stations déclarées aptes à l'émission ont toutes la possibilité de fonctionner dans la bande des 2,1 GHz.
- Parmi ces stations, un peu plus des deux tiers fonctionnent également dans la bande des 900 MHz, qui procure en général une meilleure couverture.
- Le nombre plus faible des stations à 900 MHz peut être imputable au fait que l'opérateur Free Mobile ne dispose pas encore de la possibilité d'utiliser cette bande de fréquences sur l'ensemble du territoire métropolitain. En effet, aux termes de sa licence, ce n'est qu'au plus tard au 31 décembre 2012 que les fréquences correspondantes seront libérées dans les agglomérations de Bayonne, Lille, Lyon, Marseille, Nice, Paris, Strasbourg, Toulouse.

### 2 – Relais dont le contrôle a été validé

Les 979 stations ont été contrôlées. Dans moins d'une dizaine de cas, le logiciel du mobile de test a dysfonctionné au cours de l'exécution du protocole et le contrôleur n'a pas été en mesure de remédier à la situation avant de quitter la zone de test. Dans d'autres cas, en présence d'une ingénierie urbaine produisant des couvertures superposées, la sélection de la station à tester s'est révélée incorrecte en recoupant les mesures *a posteriori*. Dans ces deux circonstances, le test de l'émetteur n'a pas été retenu.

| Stations contrôlées par les services de l'ANFR       | Nombre | Pourcentages                                |
|--|--------|---|
| Emetteurs 900 MHz dont le contrôle a été validé      | 651    | 97 %<br><i>des émetteurs correspondants</i> |
| Emetteurs 2,1 GHz dont le contrôle a été validé      | 947    | 97 %<br><i>des émetteurs correspondants</i> |
| Stations dont le contrôle a été intégralement validé | 944    | 96 %<br><i>des stations contrôlées</i>      |

Tableau 4. Contrôles validés.

### Interprétation :

- Les mesures ont été systématiquement réalisées émetteur par émetteur.
- Sur les 979 stations examinées, 35 portaient au moins un émetteur qui n'a pu être mesuré. 944 stations ont donc été caractérisées pour chacun de leurs émetteurs. Les 35 stations n'ayant pu être intégralement mesurées se répartissent en 14 stations dont les deux émetteurs (900 MHz et 2,1 GHz) n'ont pu être mesurés, 3 stations à deux émetteurs dont seul celui à 900 MHz n'a pu être décrit et 18 stations dont l'unique émetteur à 2,1 GHz a dû être écarté (Figure 12).
- L'élimination de ces mesures est sans conséquence sur les résultats qui suivent. Elle influe simplement sur les dénominateurs permettant d'obtenir les pourcentages cités.

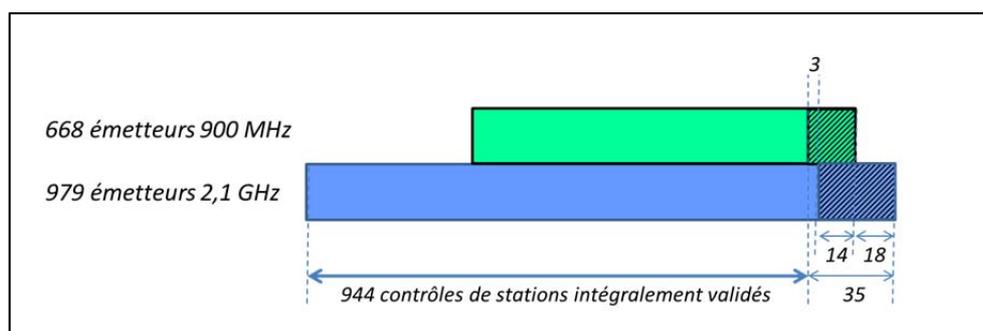


Figure 12. Validation des contrôles des émetteurs et des stations.

### 3 – Relais effectivement constatés en émission hertzienne

Le contrôleur devait tout d'abord s'assurer que chaque émetteur déclaré témoignait effectivement d'une activité hertzienne dans la bande de fréquences correspondante.

| Stations constatées en émission   | Nombre | Pourcentages                                |
|---|--------|---|
| Emetteurs 900 MHz en fonctionnement   | 604    | 93 %<br><i>des émetteurs correspondants</i> |
| Emetteurs 2,1 GHz en fonctionnement   | 802    | 85 %<br><i>des émetteurs correspondants</i> |
| Stations constatées en émission dans au moins l'une des deux bandes de fréquences | 916    | 97 %<br><i>des stations contrôlées</i>      |

Tableau 5. Emetteurs constatés en activité hertzienne.

**Interprétation :**

- 47 émetteurs fonctionnant dans la bande des 900 MHz ne donnaient pas de signe d'activité hertzienne. Ce chiffre, rapporté aux 651 émetteurs mesurés dans cette bande de fréquences, indique *a contrario* que les neuf dixièmes de ces émetteurs ont été activés.
- Sur les 947 émetteurs à 2,1 GHz examinés, 145 n'émettaient aucun signal.
- Seules 28 des 944 stations mesurées n'émettent sur aucune des deux fréquences : la quasi-totalité des stations émet donc dans au moins l'une des deux bandes de fréquences.

**4 – Etat du terminal en début de test**

Au moment du début du contrôle, l'opérateur devait examiner la configuration du mobile de test. Le tableau qui suit décrit donc l'état du terminal constaté en début du contrôle.

| Etat du terminal constaté en début de contrôle   | Nombre | Pourcentages  |
|--|--------|---|
| Le terminal s'est spontanément connecté sur un canal de l'émetteur 900 MHz                           | 188    | 31 %<br><i>des émetteurs correspondants constatés en émission</i> |
| Le terminal s'est spontanément connecté sur un canal de l'émetteur 2,1 GHz                           | 391    | 49 %<br><i>des émetteurs correspondants constatés en émission</i> |
| Le terminal s'est spontanément connecté sur un canal de la station, soit en 900 MHz, soit en 2,1 GHz | 585    | 64 %<br><i>des stations émettant sur l'une des deux bandes</i>    |
| Le terminal était connecté sur une station ORANGE, en 2G ou en 3G                                    | 331    | 36%<br><i>des stations en émission</i>                            |

Tableau 6. Réseau spontanément retenu par le terminal en début de contrôle.

**Interprétation :**

- Au total, un peu moins des deux tiers (64 %) des 916 stations Free Mobile en émission ont créé spontanément une connexion avec un terminal situé dans leur proximité immédiate depuis quelques minutes.
- Au cours de la campagne de mesure, les contrôleurs ont constaté qu'il était nécessaire d'attendre environ une demi-heure pour qu'un appareil ayant établi une communication sur l'un des deux réseaux (Free Mobile ou Orange) remette spontanément ce choix en question, que l'appareil soit allumé ou éteint pendant cette période.
- Cette configuration n'a qu'une valeur indicative, car l'état du mobile à cet instant apparaît comme la résultante des opérations ou des déplacements réalisés dans l'heure précédant le contrôle (cf. section III.1).
- L'apport principal de ces résultats a été de conduire à un examen plus approfondi du fonctionnement de l'itinérance entre les deux réseaux (section III), et à l'analyse des cartes SIM de l'opérateur.

## 5 – Services fournis par les stations Free Mobile

Ce tableau détaille les services rendus par la station Free Mobile, sur chacune des deux bandes de fréquences, après connexion du terminal, soit spontanément, soit après forçage par le contrôleur.

| Service fourni par la station Free Mobile                              | Nombre | Pourcentages                            |
|--|--------|---|
| Emetteurs 900 MHz permettant un accès effectif au service téléphonique | 550    | 91 %<br><i>des stations en émission</i> |
| Emetteurs 2,1 GHz permettant un accès effectif au service téléphonique | 711    | 89 %<br><i>des stations en émission</i> |
| Emetteurs 900 MHz permettant un accès effectif à un service haut débit | 495    | 82 %<br><i>des stations en émission</i> |
| Emetteurs 2,1 GHz permettant un accès effectif à un service haut débit | 659    | 82 %<br><i>des stations en émission</i> |

Tableau 7. Services rendus par les stations.

### Interprétation :

- Dans ces conditions d'usage, la performance des stations devrait être proche de 100 %, puisque le terminal a été préalablement connecté à un émetteur qui l'a accepté.
- L'impossibilité de rendre le service peut avoir plusieurs causes, et notamment :
  - le non raccordement de l'émetteur au réseau : émetteur en test, acceptant des connexions mais n'écoulant pas de trafic ;
  - la surcharge de l'émetteur au moment du test : les capacités d'écoulement de trafic étaient déjà entièrement engagées au moment du test ;
  - un dysfonctionnement ayant conduit le réseau à refuser au terminal le droit d'activer le service demandé.

Le protocole de test n'a pas permis de recueillir les causes de ces échecs.

## Annexe 5 : carte de couverture des émetteurs pour le service « voix »

La carte de couverture de la Figure 8 a été produite à partir des données remises par l'opérateur Free Mobile décrivant les projets d'antennes-relais dans le contexte de la procédure COMSIS. La localisation, les puissances et les orientations des diagrammes de rayonnement ont été déduits des valeurs enregistrées dans cette base de données.

Néanmoins, il n'a pas toujours été possible de retenir ces valeurs en l'état. En effet, il est tout d'abord apparu que la puissance déclarée par l'opérateur était supérieure à celle qui semblait être effectivement mise en œuvre dans les installations réelles. Il a donc été décidé de lui appliquer une atténuation de 3 dB, qui peut être considérée comme la différence entre la puissance maximale du générateur de signaux et celle effectivement délivrée par les panneaux rayonnants. Cet ajustement permet ainsi de rapprocher les puissances maximales de celles retenues par les trois autres opérateurs français.

En outre, de nombreuses stations Free Mobile ont été déclarées avec une inclinaison horizontale (« tilt ») nulle. Cette configuration correspond à l'enveloppe maximale que peut prendre le rayonnement de l'émetteur. Néanmoins, la pratique commune en téléphonie mobile consiste à orienter légèrement les antennes vers le sol, soit en inclinant physiquement les panneaux (tilt mécanique), soit en agissant électroniquement sur le front d'ondes (tilt électrique). Les services de l'Agence ont donc retenu un tilt légèrement négatif correspondant aux pratiques usuelles. Le tilt global (mécanique et électrique) a ainsi été pris égal à  $-5^\circ$  en zone urbaine et  $-2^\circ$  en zone rurale. Toutefois, lorsque les tilts déclarés étaient inférieurs à  $-2^\circ$ , ce sont les valeurs COMSIS qui ont été retenues pour la simulation.

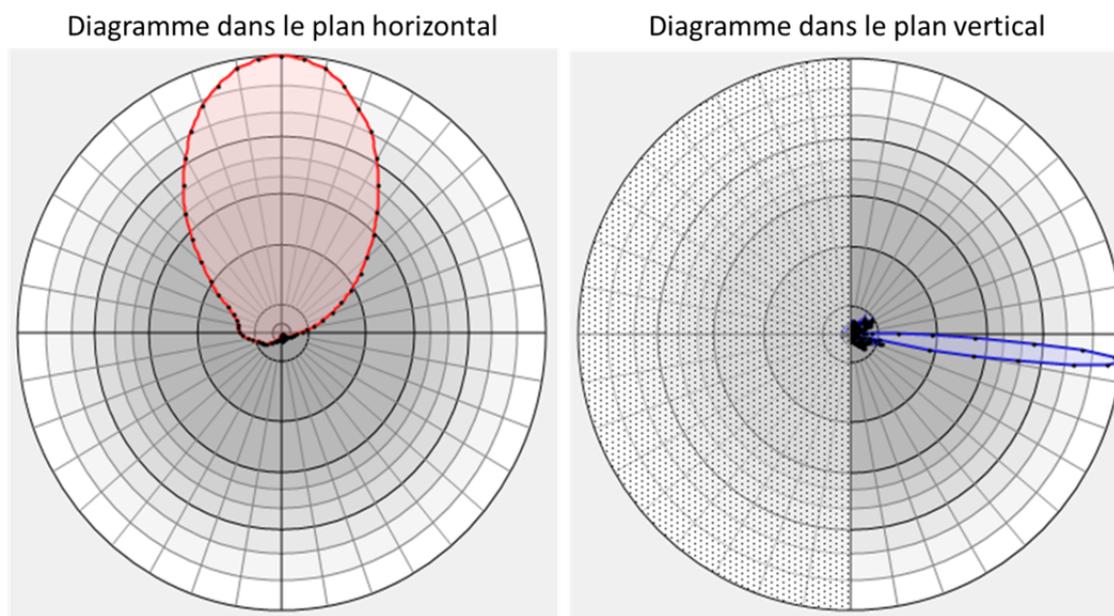


Figure 13. Gabarits de rayonnement des antennes-relais (un seul lobe).

Les diagrammes verticaux et horizontaux utilisés sont quant à eux ceux des antennes déclarées par l'opérateur, tels qu'issus de la documentation technique de leur constructeur (cf. Figure 13).

La couverture est habituellement assimilée à celle du canal qui permet la sélection du réseau par les mobiles (canal pilote commun, ou CIPCH, *Common Pilot CHannel*). Sa portée dépend de la

puissance de la station dévolue à ce canal. La puissance CPICH a forfaitairement été fixée à 10 % de la puissance totale rayonnée par le relais.

La carte de couverture est calculée selon une maille carrée de 50 mètres de côté.

La carte de couverture a été produite en utilisant le progiciel « ICS Telecom » développé par la société ATDI. Le logiciel est paramétré pour appliquer un modèle de propagation qui combine la recommandation UIT-R P.525 et les diffractions selon le modèle « Deygout 94 » corrigées d'un terme d'atténuation supplémentaire lié à l'occultation de l'ellipsoïde de Fresnel. Ce modèle tient compte de l'élévation du terrain et de l'influence du sursol caractérisé au moyen d'un *clutter* qui propose une atténuation statistique pour chaque zone considérée (selon des modalités telles que « urbain 15 m », « suburbain » ou « forêt »). Le *clutter* utilisé est celui fourni par ATDI.

Seuls les émetteurs effectivement constatés en fonctionnement ont été pris en compte dans cette simulation. Les cellules entachées d'une incertitude de mesure ou celles qui ont été constatées non fonctionnelles n'ont pas été incluses.

Puisque certains des 35 émetteurs constatés en incertitude de mesure pouvaient en réalité être en fonctionnement, la couverture estimée peut être considérée comme légèrement plus faible que la couverture réelle. Cet écart est néanmoins réduit, car la majorité des émetteurs non mesurés se situent dans des villes où une certaine redondance de couverture a été assurée par l'opérateur. De ce fait, la non-prise en compte d'un relais situé sous cet émetteur principal ne fait varier la couverture qu'à la marge.

La simulation de carte de couverture est basée sur un seuil RSCP de - 95dBm (ETSI TS 125 304 §5.1.2.2). Le rayon de calcul a été fixé à 2,5 km en milieu urbain et à 30 km en milieu rural. Les calculs sont effectués pour une hauteur de réception de 1,5 m.

## Annexe 6 : répartition du trafic entre deux réseaux en situation d'itinérance nationale

Cette annexe approfondit les mécanismes d'itinérance à grande échelle rencontrés dans le cadre de l'étude du réseau de Free Mobile. Elle étudie la situation d'un opérateur disposant d'un réseau propre qui complète son service grâce à un accord avec un réseau partenaire disposant d'une couverture quasi-complète. Par simulation, elle évalue ainsi la différence entre le taux de couverture du réseau d'abonnement et l'utilisation effective de ce réseau.

L'étude étudie le comportement d'un mobile qui, à l'instar des terminaux Free Mobile, disposerait de deux réseaux sur le territoire national :

- Un **réseau d'abonnement**, qu'il doit chercher à rejoindre le plus souvent possible pour tirer le meilleur parti de l'investissement consenti en infrastructure par son opérateur ;
- Un **réseau d'itinérance**, réseau d'un opérateur partenaire qui peut accueillir le mobile quand celui-ci ne dispose plus de la couverture de son réseau d'abonnement.

On supposera qu'il existe une dissymétrie entre la couverture de ces deux réseaux : la couverture du réseau d'abonnement pourra varier de 0 à 100 %, tandis que celle du réseau d'itinérance sera, par simplification, supposée égale à 100 %.

### 1 – Un modèle simplifié pour estimer les effets de l'itinérance

La Figure 9 fait ressortir que plus la recherche de réseau est fréquente, plus le mobile recourra à son réseau d'abonnement. Il en est de même pour la densité du réseau d'abonnement : moins celui-ci présente de trous de couverture, plus il favorisera le maintien en connexion de ses mobiles. Cette situation permet de concevoir un modèle simulant le comportement d'un mobile en itinérance nationale, en extrapolant à partir de configurations observées au cours de l'enquête sur Free Mobile. Ensuite, différents comportements statistiques d'utilisateurs peuvent permettre de mieux appréhender le temps passé par le mobile sur les deux réseaux.

#### 1.1 – L'environnement de la simulation

L'étude du taux d'usage du réseau d'abonnement en fonction de la couverture offre deux points sans calcul :

- Lorsque la couverture du réseau d'abonnement est nulle, l'usage de ce réseau est également nul ;
- De même, lorsque la couverture de ce réseau s'identifie à celle du réseau d'itinérance, l'usage du réseau d'itinérance devient nul à son tour.

Pour appréhender la forme des courbes entre ces deux points, il convient de disposer de situations reflétant des configurations plausibles où le réseau d'abonnement couvre suffisamment de territoire. L'étude de la couverture de Free Mobile a permis de retenir deux zones dans lesquelles le déploiement local atteint une densité significativement différente : la région de Lille et celle centrée sur l'Est de Paris.

Les cartes de la Figure 14 et de la Figure 15 présentent les zones étudiées. La zone sélectionnée en banlieue Est de Paris (Figure 14) présente localement un taux de couverture géographique de **44 %**. La zone centrée sur Lille et s'étendant jusqu'à Roubaix (Figure 15), correspond, quant à elle, à un taux de

couverture géographique local de **72 %**. Ces cartes ont été créées en utilisant les paramètres et le progiciel décrits dans l'annexe 5.

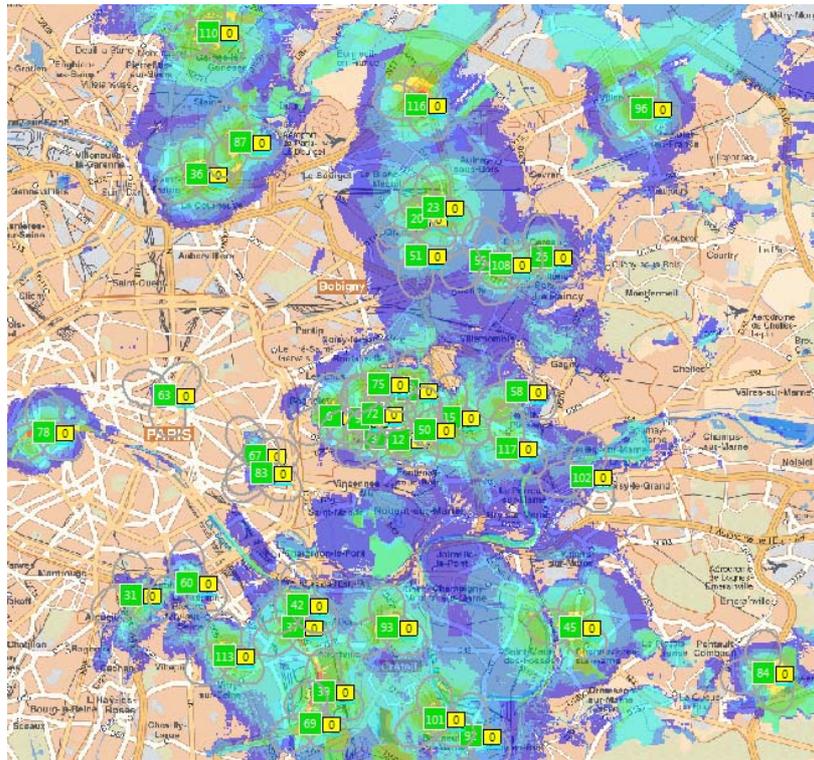


Figure 14. Zone retenue pour le réseau d'abonnement à l'Est de Paris (extérieur).  
Couverture géographique de la zone : 44 %.

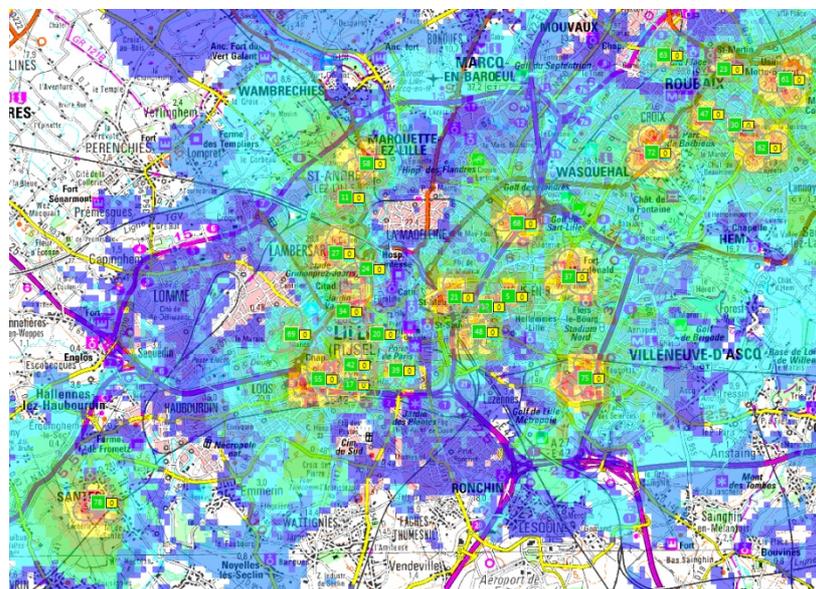


Figure 15. Zone retenue pour le réseau d'abonnement à proximité de Lille (extérieur).  
Couverture géographique de la zone : 72 %.

La suite de cette étude se fonde sur ces configurations, en les simplifiant pour faciliter l'analyse. Les conclusions qui suivent sont donc simplement indicatives : leur portée se limite à une première quantification du mécanisme de sélection du réseau via les taux d'usage du réseau pour les couvertures étudiées. Elles ne sont en outre valables que pour des mobiles à capacité 3G, qui ne constituent qu'une partie du parc des appareils actuellement en circulation en France.

Pour compléter la simulation, il a été également nécessaire de décliner ces cartes de couverture pour refléter la situation à l'intérieur des bâtiments. L'atténuation supplémentaire liée à la pénétration du signal dans le bâtiment est aléatoire du fait de la diversité des matériaux utilisés et du nombre d'obstacles franchis. En retenant les orientations définies par [1], et en considérant le mur extérieur comme seul obstacle, l'atténuation moyenne supplémentaire au niveau du rez-de-chaussée est prise égale à 14 dB par rapport à la propagation extérieure. La variabilité de la propagation est modélisée par une variable aléatoire log-normale d'écart type 8 dB, selon [2]. La Figure 16 et la Figure 17 illustrent les couvertures corrigées de l'atténuation moyenne due à la pénétration à l'intérieur des bâtiments, dans les deux cas précédents.

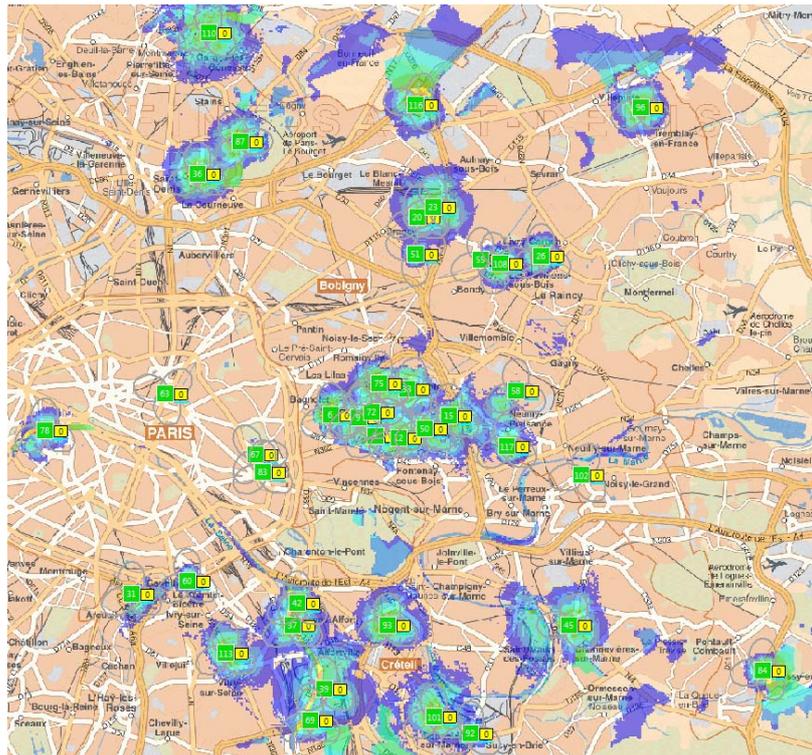


Figure 16. Couverture intérieure pour le réseau d'abonnement à l'Est de Paris.

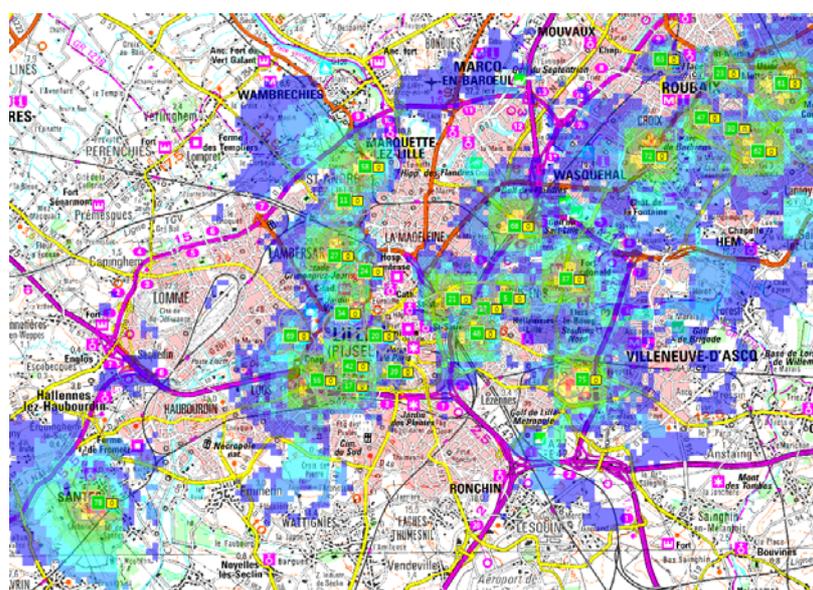


Figure 17. Couverture intérieure pour le réseau d'abonnement à Lille.

## 1.2 – Les scénarios de comportement

Les simulations ont pour objectif d'estimer le temps moyen de séjour d'un utilisateur sur le réseau d'abonnement. Six profils-types d'usage ont été identifiés, en faisant varier les vitesses de déplacement et la localisation (à l'extérieur ou à l'intérieur d'un bâtiment) pour refléter des situations représentatives du comportement d'un abonné mobile.

- **Déplacement « piéton 1 », promenade de quartier** : le premier profil correspond à un utilisateur se déplaçant en milieu extérieur à une vitesse moyenne de 4 km/h et restant immobile durant 30 % du temps en moyenne. Les changements de direction sont assez marqués, de sorte que les déplacements de l'utilisateur sont concentrés sur une surface de faible dimension.
- **Déplacement « piéton 2 », marche** : le second profil correspond à un utilisateur se déplaçant en milieu extérieur à une vitesse moyenne de 4 km/h et restant immobile durant 10 % du temps en moyenne. Les changements de directions sont moins marqués que dans le modèle précédent. Ce type de trajet reflète le déplacement d'un piéton effectuant un trajet d'un point à un autre dans la ville.
- **Automobile 50 km/h** : le troisième profil correspond à un utilisateur se déplaçant dans un véhicule à une vitesse moyenne de 50 km/h, subissant 1 % de temps d'arrêt en moyenne et des trajectoires légèrement incurvées. Ce type de trajet correspond à un déplacement automobile sur des axes routiers secondaires.
- **Automobile 70 km/h** : le quatrième profil correspond à un utilisateur se déplaçant dans un véhicule à une vitesse moyenne de 70km/h, subissant 0,1 % de temps d'arrêt en moyenne et des trajectoires faiblement incurvées. Ce type de correspond à un déplacement automobile sur des axes routiers principaux.
- **Intérieur fixe** : dans ce profil, l'utilisateur est immobile à l'intérieur d'un bâtiment.
- **Intérieur fixe** : ce modèle permet d'identifier l'influence des déplacements des utilisateurs à l'intérieur d'un bâtiment où les variations de propagations peuvent être très significatives. On considère un utilisateur changeant de pièce en moyenne toutes les 20 minutes. Du fait de ces déplacements, il est nécessaire de considérer les variations aléatoires de la propagation *indoor*.

## 1.3 – La périodicité de recherche du réseau par le terminal

Lors de l'examen des cartes SIM de plusieurs opérateurs français, cette périodicité a été constatée fixée entre 18 minutes et 60 minutes, la périodicité retenue par Free Mobile étant quant à elle fixée à 30 minutes. La simulation a donc retenu deux valeurs : une périodicité de 30 minutes, ainsi qu'une périodicité plus courte (18 minutes).

## 1.4 – Principes retenus pour la simulation

Les simulations ont consisté à générer aléatoirement un grand nombre de trajets dans les zones considérées, en calculant leur configuration toutes les 5 secondes en extérieur et toutes les 20 secondes en intérieur.

En extérieur, les simulations s'effectuent en trois étapes :

- génération du trajet du mobile ;
- détermination des couvertures rencontrées sur le trajet ;
- application de l'algorithme de sélection du réseau.

La génération du trajet, sur la zone traitée, dépend du modèle considéré. De manière simplifiée, à chaque instant un déplacement élémentaire, fonction du déplacement précédent, est tiré aléatoirement

mais selon une loi de probabilité prédéterminée, choisie de façon à obtenir un déplacement type qui caractérise le modèle.

Pour chaque point du trajet, la couverture du réseau d'abonnement est déterminée en considérant couverts les emplacements où la puissance CPICH dépasse -95 dBm [3]. Enfin, la sélection du réseau est effectuée selon le mécanisme déjà décrit. En faisant l'hypothèse simplificatrice d'une couverture complète du réseau d'itinérance dans la zone considérée, une transition est appliquée du réseau d'abonnement vers le réseau d'itinérance dès que la couverture du réseau d'abonnement est perdue, et du réseau d'itinérance vers le réseau d'abonnement à chaque instant de recherche de réseau si la couverture du réseau d'abonnement est présente. Au début de chaque trajet, on suppose que le mobile est connecté au réseau d'abonnement si celui-ci est présent, et au réseau d'itinérance dans le cas contraire.

La simulation du modèle intérieur mobile s'effectue quant à elle en cinq étapes :

- tirage de la position du mobile ;
- génération des « changements de pièce » ;
- détermination des marges de pénétration *indoor* aléatoires ;
- détermination des couvertures rencontrées ;
- sélection du réseau.

La position initiale du mobile permet de déterminer la valeur de champ reçu. Les changements de pièce sont tirés aléatoirement. A chaque changement, une perte de pénétration est tirée aléatoirement. Cette perte ne change pas tant que le mobile reste dans la même pièce. Le critère de couverture pilote reste le même que pour les simulations en extérieur (-95 dBm).

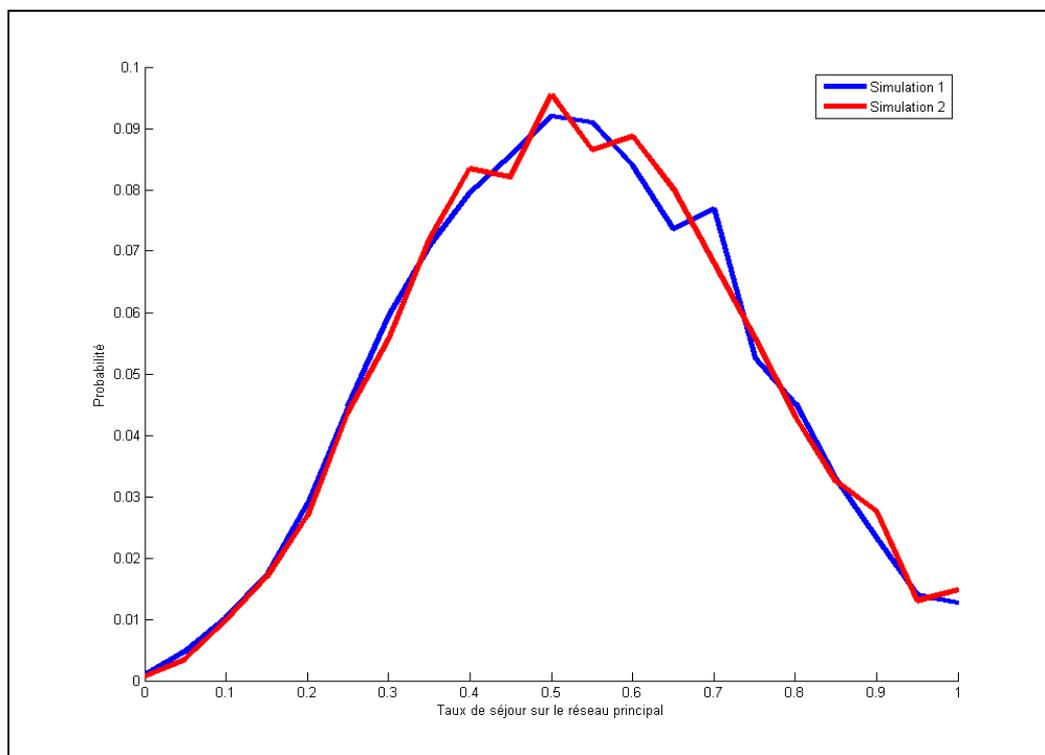


Figure 18. Densités de probabilité du taux moyen de séjour sur le réseau d'abonnement pour 10 000 tirages.

Les résultats sont donnés, dans chaque cas étudié, en moyennant sur 10 000 mobiles suivis pendant 5 heures les taux de séjour sur le réseau d'abonnement. La taille de ces échantillons donne des résultats tout à fait stables, comme on peut le constater sur la figure 6.6 qui donne la distribution empirique du taux de séjour moyen sur le réseau d'abonnement pour deux simulations de 10 000 échantillons (modèle « piéton 2 »).

La Figure 18 fait ressortir que, bien que la durée de suivi ait été de 5 heures, le taux de séjour des mobiles sur le réseau d'abonnement présente une grande dispersion. En d'autres termes, l'expérience utilisateur reste très fluctuante. Les résultats donnés ci-après sont ceux, cumulés, qui seraient constatés au niveau réseau.

## 2 – Résultats de la simulation

Les résultats du Tableau 8 donnent, pour les deux zones étudiées, la proportion du temps de séjour dans le réseau d'abonnement selon les différents modèles de comportement retenus, pour une période de recherche fixée à 30 minutes.

| Modèle               | Zone Paris Est : 44 %   |                                       | Zone Lille-Roubaix : 72 %   |                                       |
|----------------------|---|---------------------------------------|---|---------------------------------------|
|                      | Proportion du déplacement avec terminal connecté au réseau d'abonnement | Ratio usage sur couverture extérieure | Proportion du déplacement avec terminal connecté au réseau d'abonnement | Ratio usage sur couverture extérieure |
| Déplacement piéton 1 | 31,5 %  | 0,72                                  | 57,4 %  | 0,80                                  |
| Déplacement piéton 2 | 28,6 %  | 0,65                                  | 53,7 %  | 0,75                                  |
| Automobile 50 km/h   | 4,9 %   | 0,11                                  | 11,5 %  | 0,16                                  |
| Automobile 70 km/h   | 3,6 %   | 0,08                                  | 8,2 %   | 0,11                                  |
| Intérieur fixe       | 19,2 %  | 0,44                                  | 37,4 %  | 0,52                                  |
| Intérieur mobile     | 15,1 %  | 0,34                                  | 30,1 %  | 0,42                                  |

Tableau 8. Proportion du trafic écoulé sur le réseau d'abonnement.  
Cas d'une période de recherche de 30 minutes.

| Modèle               | Zone Paris Est : 44 %   |                                       | Zone Lille-Roubaix : 72 %   |                                       |
|----------------------|---|---------------------------------------|---|---------------------------------------|
|                      | Proportion du déplacement avec terminal connecté au réseau d'abonnement | Ratio usage sur couverture extérieure | Proportion du déplacement avec terminal connecté au réseau d'abonnement | Ratio usage sur couverture extérieure |
| Déplacement piéton 1 | 34,7 %  | 0,79                                  | 61,9 %  | 0,86                                  |
| Déplacement piéton 2 | 33,1 %  | 0,75                                  | 58,6 %  | 0,81                                  |
| Automobile 50 km/h   | 7,8 %   | 0,18                                  | 18,3 %  | 0,25                                  |
| Automobile 70 km/h   | 5,7 %   | 0,13                                  | 13,2 %  | 0,18                                  |
| Intérieur fixe       | 19,2 %  | 0,44                                  | 37,4 %  | 0,52                                  |
| Intérieur mobile     | 16,5 %  | 0,38                                  | 32,0 %  | 0,44                                  |

Tableau 9. Proportion du trafic écoulé sur le réseau d'abonnement.  
Cas d'une période de recherche de 18 minutes.

La colonne « ratio usage / couverture extérieure » indique la relation entre ces deux dimensions. Idéalement, si le mobile recherchait en permanence un meilleur réseau (période de recherche nulle), ce ratio serait égal à 1 pour tous les trajets en extérieur.

Des simulations complémentaires ont été faites en réduisant la période de recherche à 18 minutes afin d'évaluer les possibilités d'accroître la part de trafic écoulé par le réseau d'abonnement. Les résultats sont donnés dans le Tableau 9.

Il convient de souligner que ces chiffres sont produits pour des couvertures géographiques, et non pas des couvertures en population. Néanmoins, dans ces deux zones où la population apparaît très concentrée, ces valeurs restent proches.

### 3 - Interprétation

Grâce aux deux points obtenus par la simulation (un par zone), et aux deux points déjà cités (0 % et 100 %), nous disposons ainsi de quatre points par cas d'usage. La première constatation est que **toutes les courbes reliant le taux d'usage du réseau à la couverture apparaissent concaves** (figure 6.7). Compléter l'infrastructure en début de déploiement contribue donc peu à l'usage du réseau. En revanche, l'apport marginal d'infrastructure croît lorsque celle-ci se rapproche, en densité, de celle du réseau partenaire. La concavité des courbes est d'autant plus marquée que la vitesse de déplacement du mobile est élevée, comme l'illustre la Figure 19. Le scénario le plus favorable à l'opérateur est celui du mobile utilisé à l'extérieur, par un piéton en déplacement lent.

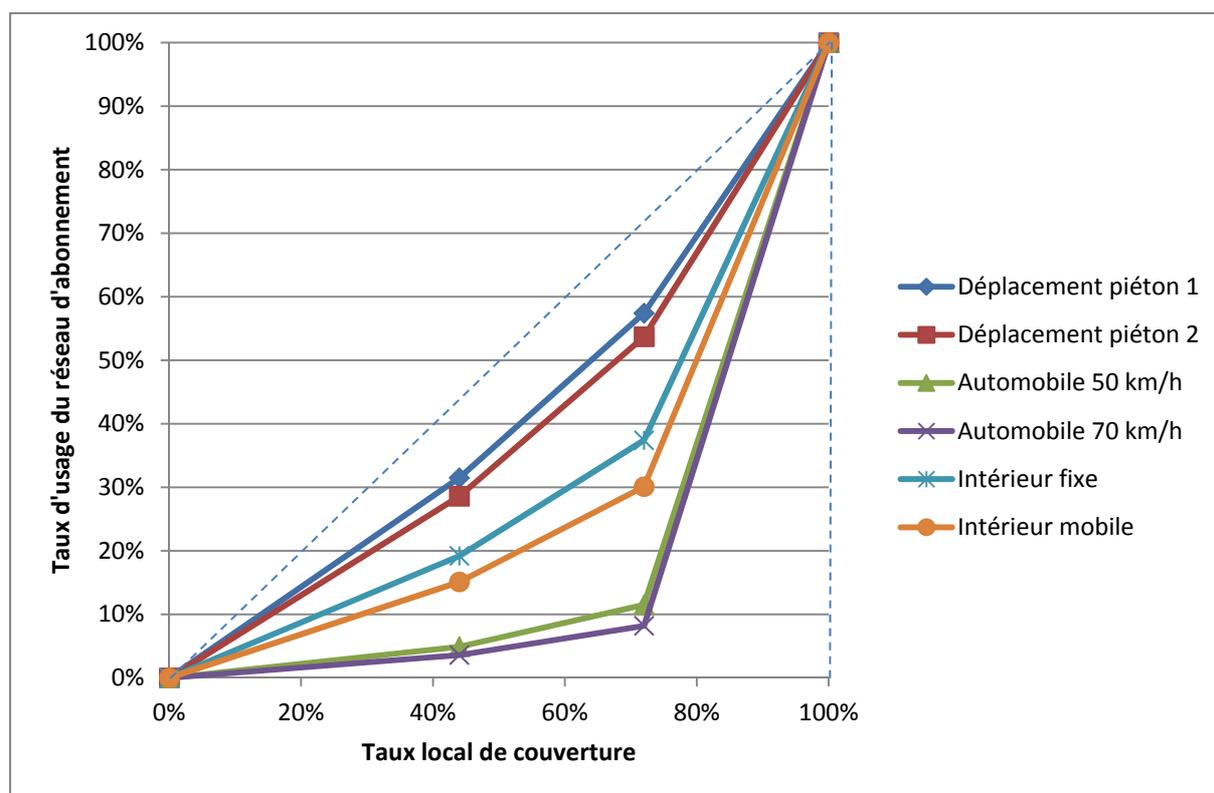


Figure 19. Taux d'usage du réseau d'abonnement en fonction du type de comportement (périodicité de la recherche : 30 minutes).

Par ailleurs, comme le montre la Figure 20, le choix d'un intervalle plus rapproché pour lancer la recherche d'un réseau par le terminal n'a, en début de déploiement du réseau, qu'un intérêt modéré.

Cette figure fait apparaître que ce gain est plus sensible pour un mobile en trajet rapide, mais uniquement à partir d'un taux de couverture intermédiaire.

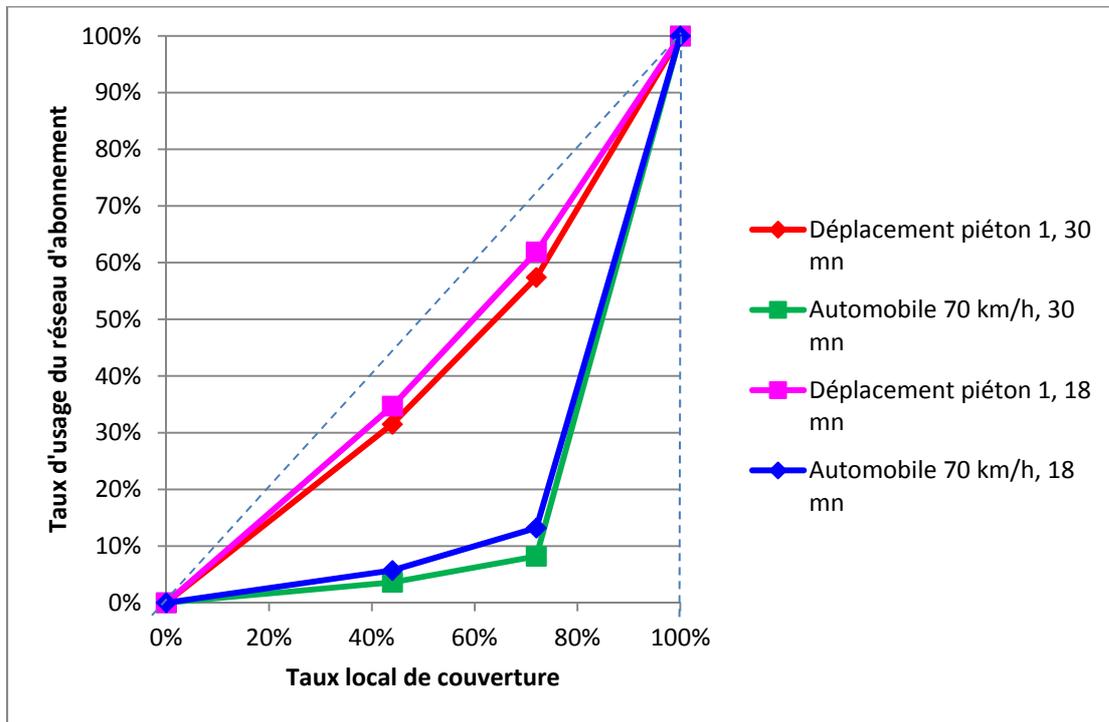


Figure 20. Influence de la période de recherche sur le taux de trafic écoulé (18 minutes et 30 minutes).

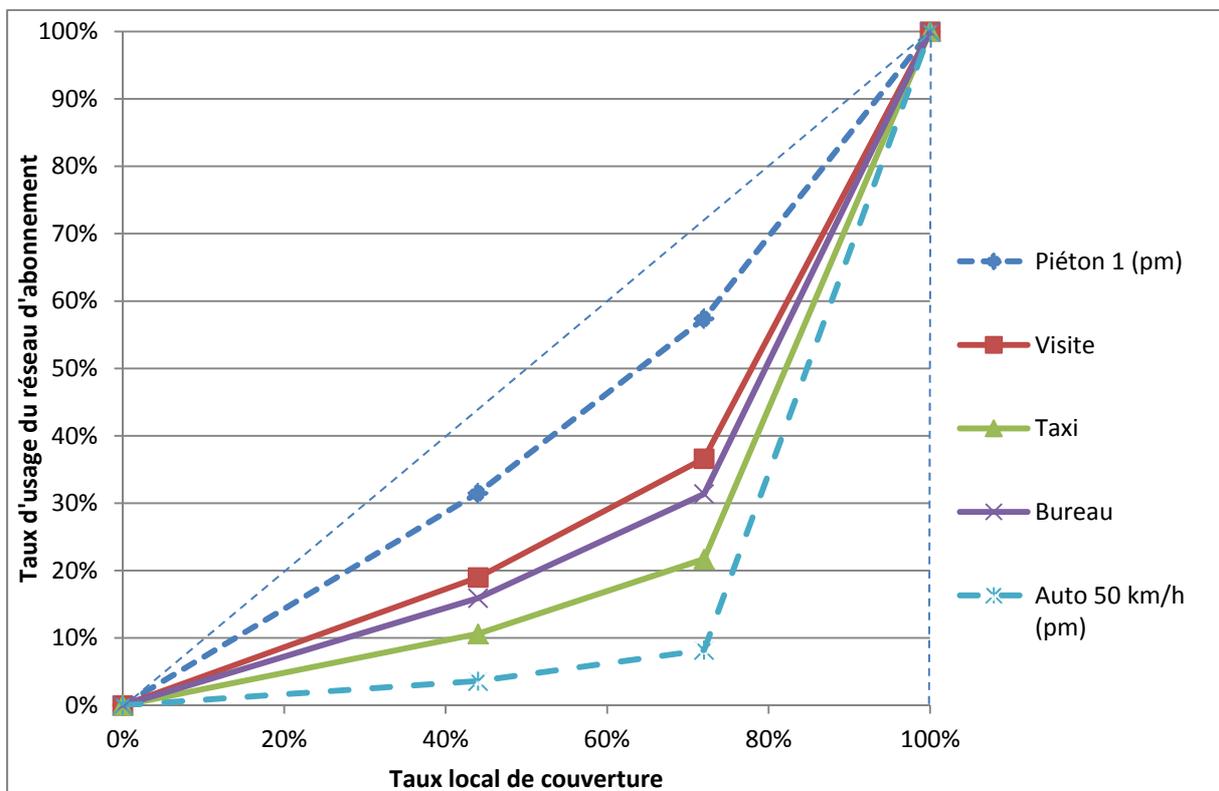


Figure 21. Taux d'usage du réseau en fonction de la couverture locale pour des moyennes pondérées des six comportements étudiés.

Enfin, même dans la situation la plus favorable qui a été étudiée (taux de couverture de 72 %, période de recherche réduite à 18 minutes, piéton en promenade), le taux d'appels captés par l'opérateur n'atteint qu'environ 62 %.

Enfin, il apparaît envisageable, à partir de ces éléments, de décrire des comportements composites plus proches du comportement d'un usager dans sa vie quotidienne, en mêlant les six cas étudiés. A titre d'exemple, la Figure 21 montre la forme des courbes pour la moyenne pondérée obtenue en retenant chaque fois, pour une amplitude de 16 h, une durée de marche, d'usage de véhicule et de séjour en intérieur illustrant le comportement d'un touriste en visite, d'un chauffeur de taxi et d'un employé de bureau (Tableau 10). Les deux courbes extrêmes (promeneur et automobiliste à 70 km/h) sont rappelées pour mémoire sur le schéma.

|                    | <b>Visite</b> | <b>Taxi</b> | <b>Bureau</b> |
|--------------------|---------------|-------------|---------------|
| Promenade          | 3 h           | 0,5 h       | 1 h           |
| Marche rapide      | 0,5 h         | --          | 0,5 h         |
| Automobile 50 km/h | 1 h           | 6 h         | 1 h           |
| Automobile 70 km/h | --            | 2 h         | --            |
| Intérieur fixe     | 4 h           | 1 h         | 7 h           |
| Intérieur mobile   | 7,5 h         | 6,5 h       | 6,5 h         |

Tableau 10. Comportements composites utilisés dans la figure 21.

Pour ce panier d'usages plus proches du comportement d'abonné urbain, la concavité des courbes apparaît assez marquée, principalement du fait de la faiblesse relative de la couverture intérieure dans les configurations étudiées.

## 5 – Bibliographie

- [1] “*Digital Mobile Radio Towards Future Generation Systems*”, COST 231 Final Report.
- [2] “*Propagation data and prediction methods for the planning of indoor radiocommunication systems and radio local area networks in the frequency range 900 MHz to 100 GHz*”, Recommendation ITU-R P.1238-7 (02/2012).
- [3] “*Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); User Equipment (UE) procedures in idle mode and procedures for cell reselection in connected mode (3GPP TS 25.304 version 10.3.0 Release 10)*”, 3GPP, Specification.
- [4] “*Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); Non-Access-Stratum (NAS) functions related to Mobile Station (MS) in idle mode (3GPP TS 23.122 version 10.5.0 Release 10)*”, 3GPP, Specification.

## Annexe 7 : table des illustrations

|   |    |
|---|----|
| Figure 1. Dispositif décrit dans la licence de Free Mobile.....   | 6  |
| Figure 2. Introduction de l'itinérance vers la 3G.....  | 6  |
| Figure 3. Trajets des appels issus des terminaux Free Mobile.....   | 8  |
| Figure 4. Nombre de stations déclarées en COMSIS par l'opérateur.....   | 10 |
| Figure 5. Etat de fonctionnement des stations Free Mobile.....  | 12 |
| Figure 6. Position géographique des émetteurs contrôlés pour le service de voix.....  | 13 |
| Figure 7. Position géographique des émetteurs contrôlés pour le service de transmission de données.....   | 14 |
| Figure 8. Couverture de l'opérateur Free Mobile simulée à partir des stations constatées en fonctionnement (seuil : -95 dBm).....   | 15 |
| Figure 9. Changements successifs de réseaux au cours du trajet d'un mobile.....   | 16 |
| Figure 10. Taux d'usage du réseau d'abonnement en fonction du taux local de couverture, selon le type de trajet (périodicité de la recherche de réseau : 30 minutes)..... | 18 |
| Figure 11. Taux d'usage du réseau d'abonnement (profil agrégé correspondant à un employé de bureau, durée de 16 h, périodicité de recherche du réseau de 30 minutes)..... | 19 |
| Figure 12. Validation des contrôles des émetteurs et des stations.....  | 27 |
| Figure 13. Gabarits de rayonnement des antennes-relais (un seul lobe).....  | 30 |
| Figure 14. Zone retenue pour le réseau d'abonnement à l'Est de Paris (extérieur).....   | 33 |
| Figure 15. Zone retenue pour le réseau d'abonnement à proximité de Lille (extérieur).....   | 33 |
| Figure 16. Couverture intérieure pour le réseau d'abonnement à l'Est de Paris.....  | 34 |
| Figure 17. Couverture intérieure pour le réseau d'abonnement à Lille.....   | 34 |
| Figure 18. Densités de probabilité du taux moyen de séjour sur le réseau d'abonnement pour 10 000 tirages.....  | 36 |
| Figure 19. Taux d'usage du réseau d'abonnement en fonction du type de comportement (périodicité de la recherche : 30 minutes).....  | 38 |
| Figure 20. Influence de la période de recherche sur le taux de trafic écoulé (18 minutes et 30 minutes).....  | 39 |
| Figure 21. Taux d'usage du réseau en fonction de la couverture locale pour des moyennes pondérées des six comportements étudiés.....                                      | 39 |
| <br>  |    |
| Tableau 1. Définitions liées à la notion de couverture.....   | 9  |
| Tableau 2. Nombre de stations déclarées en COMSIS par Free Mobile.....  | 24 |
| Tableau 3. Stations ayant fait l'objet d'un contrôle.....   | 26 |
| Tableau 4. Contrôles validés.....   | 27 |
| Tableau 5. Emetteurs constatés en activité hertzienne.....  | 27 |
| Tableau 6. Réseau spontanément retenu par le terminal en début de contrôle.....   | 28 |
| Tableau 7. Services rendus par les stations.....  | 29 |
| Tableau 8. Proportion du trafic écoulé sur le réseau d'abonnement. Cas d'une période de recherche de 30 minutes.....  | 37 |
| Tableau 9. Proportion du trafic écoulé sur le réseau d'abonnement. Cas d'une période de recherche de 18 minutes.....  | 37 |
| Tableau 10. Comportements composites utilisés dans la figure 21.....  | 40 |