

Evaluation de la qualité de service mobile à partir de sondes fixes

Etude menée par la société Directique

AVERTISSEMENT

L'Autorité de régulation des communications électroniques et des Postes (ARCEP) a confié à la société Directique une étude sur l'évaluation de la qualité de service mobile à partir de sondes fixes.

La méthodologie utilisée et les résultats obtenus sont de la seule responsabilité de la société Directique et n'engagent pas l'Autorité.

Si toutefois les parties intéressées ont des observations à formuler, elles sont invitées à faire part de leurs commentaires à l'ARCEP.

Evaluation de la qualité de service mobile à partir de sondes fixes

2012



INTRODUCTION	3
1. PRINCIPES DE L'ETUDE	3
1.1 INFLUENCE DES CONDITIONS RADIO SUR LA QUALITE DE SERVICE	3
1.2 PLAN D'EXPERIENCE	4
1.3 PROTOCOLES DE MESURE	5
1.4 LOCALISATION DES MESURES	6
1.5 REPARTITION DES MESURES DANS LE TEMPS ET VOLUMETRIE	6
1.6 DISPOSITIF TECHNIQUE	7
2 SYNTHESE DES RESULTATS.....	9
2.1 EXPERIENCES REALISEES.....	9
2.2 ENSEIGNEMENTS TRANSVERSAUX SUR LA SENSIBILITE DE LA QoS	23
2.3 ANALYSE DE LA DISPERSION DES DEBITS MESURES.....	25
2.4 GESTION DES CONTRAINTES LIEES AU DEPLOIEMENT DE SONDES FIXES.....	27

INTRODUCTION

Cette étude s'inscrit dans le cadre des travaux de l'ARCEP en matière de suivi de la qualité de service offerte par les opérateurs et vise à tester la mise en place d'un dispositif automatique de mesure de la qualité de service des réseaux mobiles localisé de manière fixe, en dehors des réseaux des opérateurs (appelé ci-après « sonde fixe »).

L'objectif de ce dispositif de mesure est multiple, il peut permettre de :

- monitorer le réseau d'un opérateur en un point donné
- mesurer la qualité de service sur une zone plus large, en augmentant le nombre de points de mesure.

Dans le cadre de cette étude, nous avons souhaité effectuer plusieurs expériences de mesure de la qualité de service d'un réseau en des points donnés, sur une certaine période de temps afin, notamment, de rendre compte de l'influence des conditions de réception radio, de l'heure de la journée et de la localisation des mesures sur la qualité de service fournie.

Cette étude a permis également de tirer des enseignements sur la mise en œuvre opérationnelle d'un dispositif automatique de mesure de la qualité de service des réseaux mobiles.

1. PRINCIPES DE L'ETUDE

La qualité de service perçue par les utilisateurs des services de données sur les réseaux mobiles, dépend de tous les maillons de la chaîne permettant d'acheminer et de traiter les données : le terminal et son paramétrage, l'accès radio (qualité du signal, niveau de charge sur la cellule), le raccordement des équipements radio au cœur de réseau, les équipements de traitement et optimisation des flux (compression, transcodage, etc.), les équipements d'interconnexion au réseau Internet, les performances des serveurs et leur optimisation en fonction du navigateur du client.

Parmi tous ces facteurs, la présente expérimentation s'est attachée à :

- identifier les paramètres influant effectivement sur la qualité de service, et les indicateurs significatifs;
- mettre au point un plan d'expérience (protocole de mesure, nombre et règles de localisation des sondes, volumétrie, etc.) qui permette de recueillir des données statistiquement représentatives;
- tester un dispositif technique (sondes et serveur de collecte de données) en évaluant notamment les contraintes opérationnelles liées à la mise en place et la maintenance de la solution.

Cette étude ne visant à pas comparer les résultats des quatre opérateurs mobiles, les résultats ont été anonymisés.

1.1 Influence des conditions radio sur la qualité de service

Notre expérience, et la connaissance des réseaux, nous montre que l'accès radio joue sur la qualité de service (accessibilité et débits utile) par plusieurs facteurs :

- le RSCP mesure la puissance du canal pilote d'une cellule et traduit notamment l'affaiblissement de la propagation. A l'intérieur d'un bâtiment, le RSCP est notamment

sensible aux matériaux utilisés et l'épaisseur des cloisons. Le RSCP ne mesure ainsi pas directement la puissance du canal utilisé pour le trafic de données mais permet de fournir une bonne indication de l'atténuation de ce canal.

- le E_C/I_0 correspond au rapport entre le RSCP et la puissance reçue sur la totalité des 5 MHz de la bande de fréquence. Ce rapport varie avec la charge de trafic et les conditions de couverture radio (nombre de cellules visibles et niveaux de puissance de ces cellules) ;
- la technologie (3G, HSPA, bi fréquence ...) à condition que le terminal en ait la capacité ;
- le trafic data total au même instant sur la même cellule (aux périodes où deux terminaux trafiquent en même temps le débit est divisé par deux).

En chaque point situé en bonne condition radio, il est important de mesurer le débit optimal, qui est le débit maximum en l'absence d'autre trafic sur la cellule. Ce débit maximal sera facile à déduire des mesures, car c'est le plafond très souvent atteint des débits instantanés. L'influence des conditions radio et du trafic ne peut alors que réduire le débit maximal.

Les autres réductions par rapport à la qualité de service optimale, liées au réseau de transport et aux plates-formes de traitement des flux sont relativement indépendantes des conditions radio. Elles dépendent essentiellement du trafic global géré par ces équipements à chaque instant, donc de la localisation géographique et du trafic observé sur cette localisation en fonction de la plage horaire.

Il est important d'évaluer distinctement les deux ensembles de facteurs dans le plan d'expérience et l'analyse des résultats : conditions radio et trafic local d'une part (expériences 1 et 4), localisation géographique et trafic global d'autre part (expérience 3).

Il s'agira également d'apprécier l'influence de l'instant (heure, jour, période de l'année) auquel est effectuée la mesure sur les résultats (expérience 0) et d'étudier la corrélation entre niveau de champ et débits (expérience 2).

1.2 Plan d'expérience

L'élaboration du plan d'expérience consiste à définir des situations précises permettant de mettre en évidence l'influence de chacun des facteurs objets de cette étude (localisation, conditions radio, trafic et moment de la mesure) indépendamment des autres.

La première étape de l'expérience a donc consisté à cartographier les conditions radio dans les locaux choisis pour héberger les sondes en relevant les indicateurs de conditions radio (Rxlevel en 2G, RSCP et E_C/I_0 en 3G). L'objectif de cette phase était d'identifier dans chaque bâtiment des lieux de mesures sujets à des conditions de réception différentes.

Les mesures sont ensuite lancées en continu à toutes les heures de la journée. Cette répartition temporelle permet de distinguer les différences de qualité de service selon le moment où est effectuée la mesure.

Une sonde a été laissée au même lieu de mesure durant toute l'étude afin d'étudier l'évolution de la qualité de service sur une longue période. Hormis lors de l'expérience 4, qui ne comportait que deux sondes, les expériences consistaient à installer les trois autres sondes dans un même lieu pendant des cycles de mesure de 2 semaines. A l'issue de chaque cycle de mesure, ces sondes ont été déplacées dans d'autres bâtiments ou d'autres lieux représentatifs de conditions de trafic et de réception différentes.

1.3 Protocoles de mesure

◆ Protocole

La mesure des débits montants et descendants a été réalisée en lançant un téléchargement de fichier et en relevant le volume transféré chaque seconde pendant une période de 10 secondes.

Ce protocole a été préféré à celui qui consiste à transférer des fichiers de volume fixe. En effet, la transmission de fichiers de volume fixe risque de générer des durées, soit trop courtes si le débit est très élevé sur le point de mesure, soit trop longues sur les points à très faible débit. Si la durée est trop courte le débit n'a pas le temps de monter en régime et le débit mesuré est sous-évalué. Une durée très longue n'apporte quant à elle aucune information supplémentaire mais peut gêner le cadencement des mesures à un rythme suffisant. En effet, afin d'éviter que les mesures n'interfèrent entre elles, les mesures susceptibles d'être réalisées en concurrence en cas d'itinérance ou en cas de sondes rapprochées ont été effectuées en décalé en assurant un intervalle d'au moins 30 secondes.

Pour chaque mesure, ont été enregistrés :

- l'instant de lancement de l'opération (action API), avec précision en millisecondes
- l'instant de début de transfert des données
- le volume transféré ensuite seconde par seconde
- l'instant de fin de transfert (soit interruption au bout de 10 secondes, soit en fin de fichier)
- le volume total transféré (somme des volumes par seconde)
- les éventuels échecs de transfert (hors délai ou échecs commentés par un code d'erreur)

◆ Aspect indicateurs

Nous avons mesuré deux indicateurs de débit distincts, basés sur l'identification de deux délais incluant ou non la phase de connexion serveur avant téléchargement :

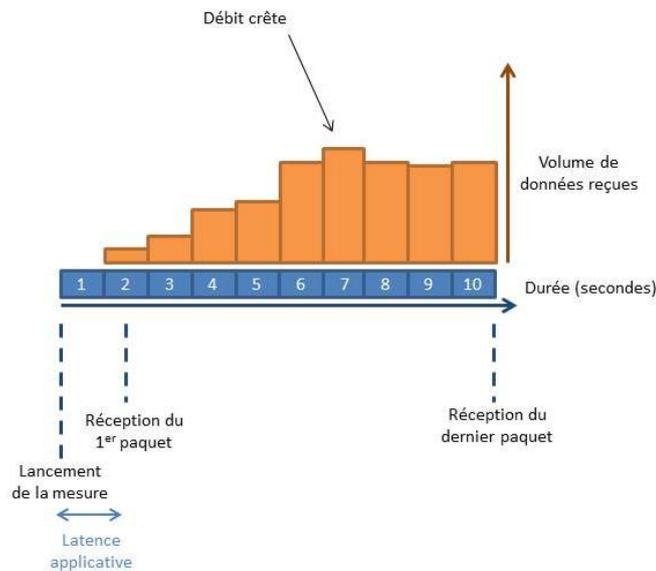
- débit « applicatif » : volume de données téléchargées relativement au délai total entre l'action API de commande de chargement et fin de chargement ;
- débit de transfert des données : ce même volume de données relativement au délai entre le début et la fin de transmission des données proprement dites.

Le débit applicatif est plus représentatif de la vision client. Le débit de transfert est plus représentatif de la bande passante capillaire du réseau, c'est-à-dire la bande passante réellement disponible pour la transmission des paquets.

La différence entre le délai applicatif et le délai de transfert contient en tête le délai d'exécution de l'API, le délai de résolution DNS (si requête DNS), le délai de connexion avec le serveur et les échanges de commandes, et en queue le délai entre fin de chargement, et remontée de l'événement par l'API. Pour un fichier donné, le délai de transfert est ainsi, par construction, plus court que le délai applicatif. Le débit applicatif est donc plus faible que le débit de transfert.

Ces indicateurs sont complétés par :

- le taux d'échec de la transaction : taux de mesures où le débit applicatif est inférieur à 200kbit/s ;
- le débit crête : débit maximal par seconde observé sur la durée du téléchargement. C'est ce débit qui se rapproche le plus du débit « optimal » du réseau, que l'on observerait en l'absence de trafic concurrent sur le lieu de mesure.



1.4 Localisation des mesures

Le choix et la gestion des localisations est un élément clé de l'étude, puisque qu'il conditionne la pertinence des résultats vis-à-vis des objectifs.

Ce choix a donc été effectué en vue de comparer les résultats entre plusieurs conditions géographiques différentes.

Ensuite, c'est le choix des points de mesure au sein des immeubles qui a permis de trouver des conditions radio suffisamment variées pour obtenir une répartition des mesures par plages de RSCP, et par plages de E_c/I_0 , et ainsi analyser l'influence de ces deux facteurs sur les débits et les échecs.

Outre les locaux de l'Autorité et de Directique nous avons positionné des sondes dans des bâtiments en zone dense à Paris, en zone de moyenne densité en banlieue de Toulouse et en zone rurale à Blonville sur Mer en Normandie.

1.5 Répartition des mesures dans le temps et volumétrie

Le cycle de mesures et la durée de chaque expérience ont été choisis pour obtenir un bon compromis entre le nombre de mesures par créneau horaire et la limite d'usage raisonnable des abonnements.

Pour pouvoir comparer les écarts à la moyenne des différents indicateurs qui nous intéressent (niveaux de champ, débits...) nous devons garantir la précision statistique des résultats.

Soit p , l'écart à la moyenne considéré et n le nombre de mesures, la précision statistique avec un intervalle de confiance de 95% est donné par la formule suivante : $1.96 \cdot \text{racine}(p \cdot (1-p)/n)$

Le facteur 1.96 est dérivé de l'approximation gaussienne de la loi de distribution binomiale.

La précision la plus mauvaise étant atteinte avec $p=0.5$, on obtient ainsi une précision statistique de 3% avec $n=1000$ mesures et de 2,2% avec $n=2000$ mesures.

A raison de 6 mesures par heure par sonde et par opérateur, plus de 2000 mesures ont été réalisées sur chaque sonde et chaque expérience, En comparant l'écart à la moyenne des résultats moyens d'une sonde à l'autre sur une expérience donnée, on obtient donc une précision statistique sur une heure donnée de l'ordre de 2%.

Au total, ce sont plus de 100 000 mesures qui ont été réalisées entre le 24 aout et le 12 novembre 2012 (hors mesures de préparation)

1.6 Dispositif technique

Le dispositif technique mis en place pour mesurer automatiquement la qualité de service des services mobiles est constitué de 4 sondes. Chaque sonde est composée d'un PC relié à 4 smartphones Android équipés de **Mobispeed** (un par opérateur) et branchée sur le secteur. La sonde positionnée à l'extérieur est placée dans une boîte hermétique en plastique à l'abri des intempéries.

Mobispeed est une application de mesure de la qualité de service pour Smartphones qui permet de mesurer la disponibilité et la rapidité du réseau cellulaire ou wifi en un point donné tout en collectant des données liées à la couverture radio et au terminal. C'est un outil de mesures de bout-en-bout complet et entièrement paramétrable. Il peut fonctionner en mode totalement autonome, dans une mallette comportant 4 terminaux identiques sur chacun des 4 réseaux, et ne nécessite pour seule installation qu'un seul branchement sur une prise de courant.

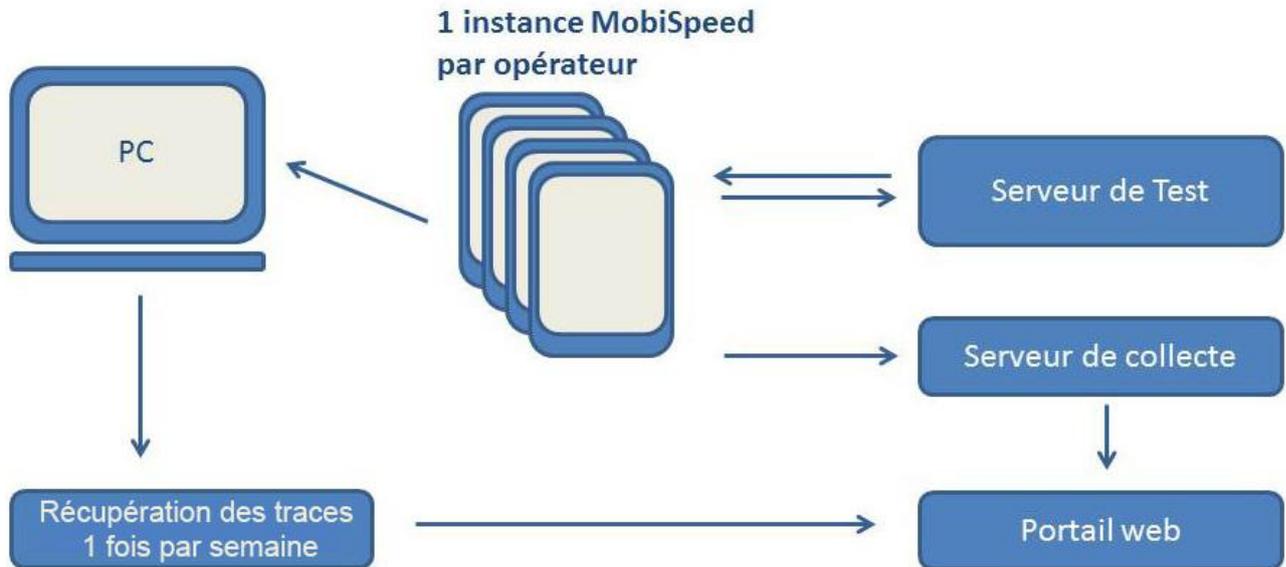
La collecte des données dans un serveur centralisé permet de disposer en temps réel des résultats.

Développé pour Android et iOS, **Mobispeed** est une solution multiplateformes compatible avec un nombre important de terminaux (Apple, Samsung, HTC, Sony-Ericsson, Lg...etc.) sans modification du système d'exploitation, et donc représentatif de l'usage des clients. Dans le cadre de cette étude nous avons utilisé le smartphone Android HTC Desire S.

Mobispeed fournit dans les résultats la suite des débits par seconde tout au long du chargement. Ceci permet de connaître, mieux que les simples valeurs de débit max et min, le comportement du réseau et de détecter les éventuels problèmes répétitifs suspects. Ce type de solution n'est en revanche pas adapté à la mesure automatique du rapport E_C/I_0 puisque cet indicateur n'est accessible qu'en accédant manuellement au menu technique du terminal.

Cette expérience pilote visant à obtenir un maximum de données, il aurait été dommageable de ne pas mener d'investigations sur l'influence du rapport E_C/I_0 sur la qualité de service obtenue. Nous avons à ce titre couplé les smartphones à un dispositif permettant de récupérer la trace radio. Ceci peut être réalisé en reliant 4 smartphones équipés de **Mobispeed** à un PC équipé du logiciel de mesure **MobiTrace** qui permet de récupérer les conditions radios complètes (E_C/I_0 y compris) à chaque instant.

◆ **Schéma de fonctionnement : terminaux MobiSpeed + trace radio complète**



Si les résultats des tests de débit sont disponibles quasi instantanément sur le serveur de collecte, le volume des fichiers traces radio ne permet en revanche pas de récupérer ces informations en temps réel via le réseau mobile car le trafic induit pourrait perturber les mesures. Les PC ne pouvant être connectés à Internet par câble ou wifi dans les locaux de l'ARCEP, les traces radio sont récupérées 1 fois par semaine sur clé USB par le technicien en charge de la maintenance des sondes, puis traitées pour intégrer les niveaux d' E_c/I_0 de chaque mesure sur le portail web.

◆ **Aspect serveur**

Les mesures ont été réalisées sur un serveur d'OVH disposant d'une bande passante garantie de 1Gbps.

2 SYNTHÈSE DES RESULTATS

2.1 Expériences réalisées

◆ Expérience 0 : Mesures en un point fixe sur une durée prolongée

L'objectif principal de cette expérience était d'évaluer l'influence du moment de la mesure (heure, jour période de l'année) sur les débits applicatifs obtenus, sur une période prolongée (du 24 août au 12 novembre 2012).

Les profils de débits applicatifs mesurés sur la sonde 0, installée dans un bureau de l'ARCEP durant toute la durée de l'étude, font apparaître des performances relativement constantes la semaine. Un opérateur en particulier présente une hausse de performance marquée le weekend.

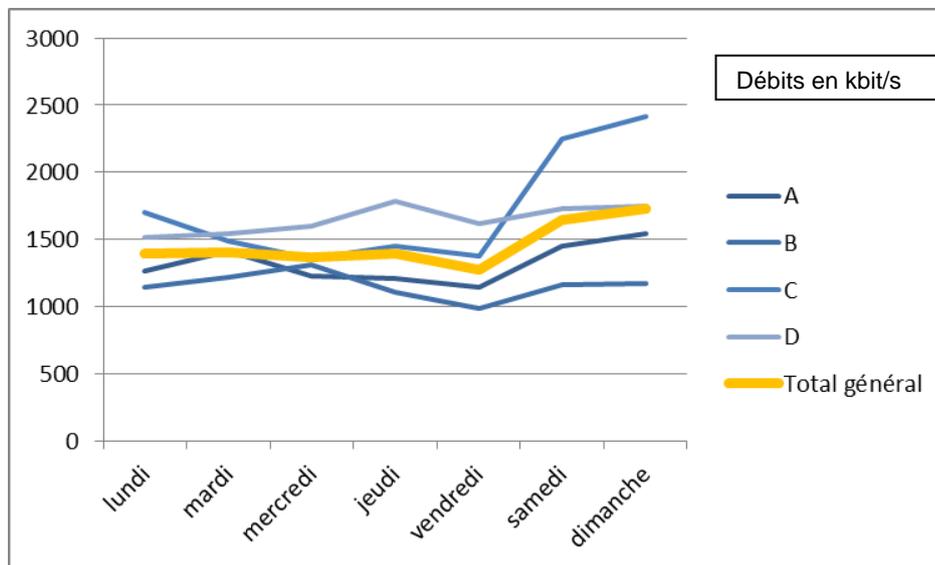


Figure 1. Profils journaliers de débits

L'influence de l'heure de la journée sur les performances mesurées est, quant à elle, tout à fait remarquable. **Si les débits sont relativement plats durant la journée, les courbes remontent après 18h pour atteindre un pic de performance entre 2h et 6h du matin.**

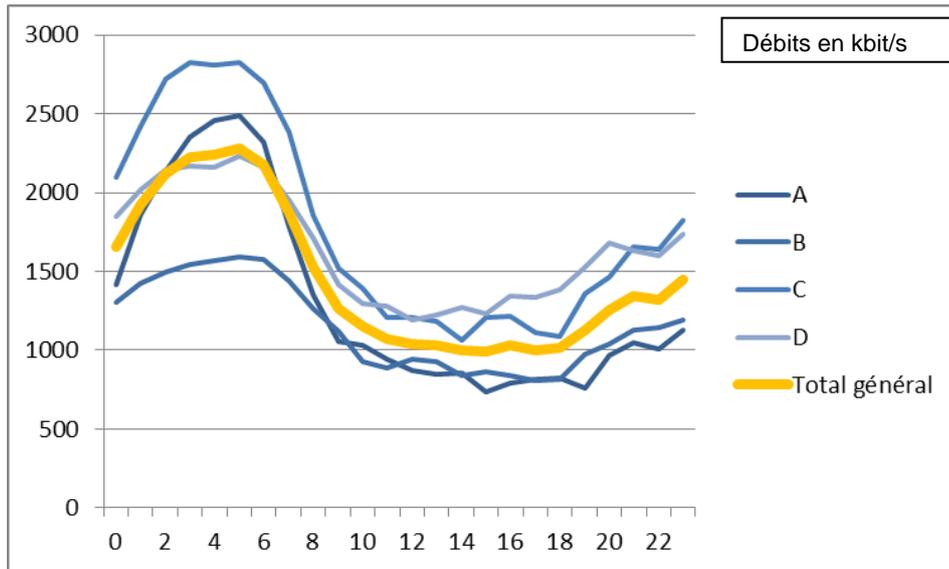


Figure 2. Profils horaires de débits

L'influence de la période de l'année sur les performances est plus difficile à interpréter. On peut néanmoins noter une baisse de la performance marquée pour deux opérateurs à partir de la semaine 36, coïncidant avec la fin des vacances d'été et la reprise d'activité de septembre.

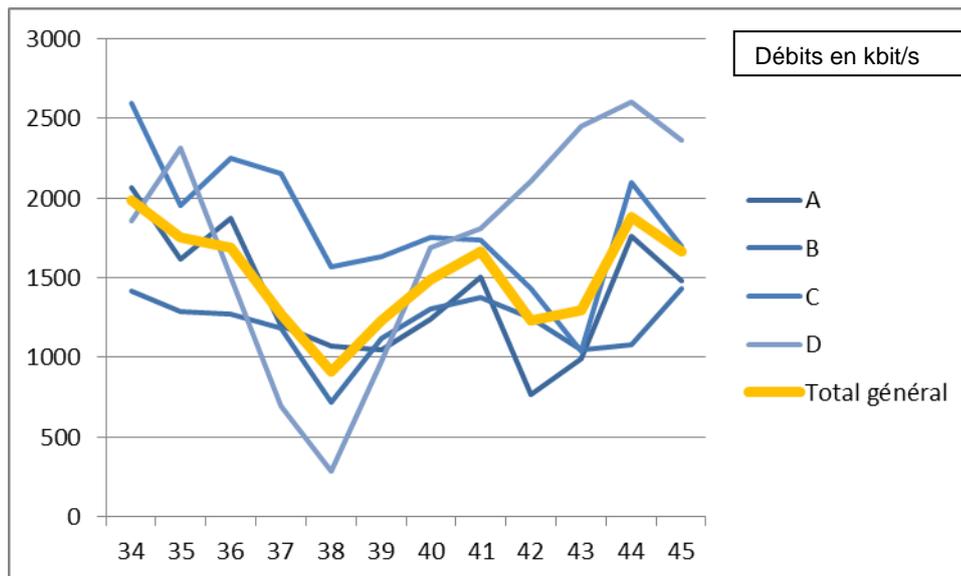


Figure 3. Profils de débits par semaine

Cette expérience nous permet également d'apprécier le gain en termes de précision statistique entre une expérience d'une ou deux semaines et une expérience de près de trois mois.

1 semaine de mesures					2 semaines de mesure					12 semaines				
h	débit moyen	Nb mesures	écart à la moyenne	précision statistique	h	débit moyen	Nb mesures	écart à la moyenne	précision statistique	h	débit moyen	Nb mesures	écart à la moyenne	précision statistique
0	1684.8465	150	13%	5%	0	1666.8188	292	6%	3%	0	1652.0455	1591	13%	2%
1	1946.1459	155	31%	7%	1	1897.5488	328	21%	4%	1	1917.6017	1594	31%	2%
2	2178.3164	151	47%	8%	2	2116.365	327	35%	5%	2	2118.5099	1620	45%	2%
3	2291.0385	152	54%	8%	3	2287.4419	310	46%	6%	3	2221.2377	1585	52%	2%
4	2298.4466	129	55%	9%	4	2173.4323	268	39%	6%	4	2240.5489	1561	53%	2%
5	2188.0794	134	47%	8%	5	2229.0587	278	42%	6%	5	2276.787	1563	56%	2%
6	2126.9077	147	43%	8%	6	2121.3474	309	35%	5%	6	2177.4918	1550	49%	2%
7	1985.3975	138	34%	8%	7	1943.1005	281	24%	5%	7	1871.0475	1559	28%	2%
8	1395.7092	154	-6%	4%	8	1436.9166	306	-8%	3%	8	1526.5865	1583	4%	1%
9	1214.8859	138	-18%	8%	9	1244.1782	283	-21%	6%	9	1265.0741	1585	-14%	2%
10	1184.7758	151	-20%	8%	10	1169.7076	311	-25%	6%	10	1153.607	1590	-21%	2%
11	1007.1114	162	-32%	10%	11	1062.888	307	-32%	7%	11	1070.5394	1561	-27%	3%
12	1010.5216	137	-32%	11%	12	1037.9338	295	-34%	8%	12	1042.547	1564	-29%	3%
13	1030.4534	137	-31%	11%	13	1053.457	290	-33%	8%	13	1031.7161	1543	-30%	3%
14	954.01546	152	-36%	11%	14	964.25972	309	-38%	8%	14	998.04869	1577	-32%	3%
15	1198.8043	153	-19%	8%	15	1047.5851	299	-33%	8%	15	993.91444	1570	-32%	3%
16	1113.4113	169	-25%	8%	16	1061.3067	306	-32%	7%	16	1032.0959	1531	-30%	3%
17	1022.386	157	-31%	10%	17	1058.0568	315	-32%	7%	17	1000.8154	1548	-32%	3%
18	1107.8386	150	-25%	9%	18	1049.375	294	-33%	8%	18	1012.8059	1552	-31%	3%
19	1117.1832	149	-25%	9%	19	1142.2816	305	-27%	7%	19	1126.9174	1579	-23%	3%
20	1174.2035	150	-21%	8%	20	1228.2209	303	-22%	6%	20	1259.5018	1584	-14%	2%
21	1448.3229	157	-3%	3%	21	1402.4928	298	-11%	4%	21	1341.6553	1603	-8%	1%
22	1298.9357	150	-13%	6%	22	1348.1779	311	-14%	4%	22	1323.3143	1589	-10%	2%
23	1463.6295	150	-2%	2%	23	1449.6966	268	-7%	3%	23	1447.6471	1593	-1%	1%
Total	1466.9072	3572			Total	1464.1386	7193			Total	1464.0656	37775		

A titre d'exemple, la précision statistique la moins bonne obtenue sur un ensemble aléatoire de 2 semaines de mesures (données extraites sur l'ensemble des 12 semaines) est de 8% à 14h. Ceci signifie qu'on a 95% de chances que la moyenne des mesures réalisées dans cette tranche horaire sera supérieure de 36% à 41% [38 - 8% de 38 ; 38 +8% de 38] à la moyenne journalière.

Les taux de précision statistique ainsi obtenus avec 2 semaines de mesure sont suffisants pour permettre de tirer des conclusions quant aux tendances observées.

Visuellement, la représentation des résultats précédents montre que **l'allongement de la durée de l'expérience permet de « lisser » le profil mais qu'une seule semaine de mesure fournit déjà une bonne indication des phénomènes observés.**

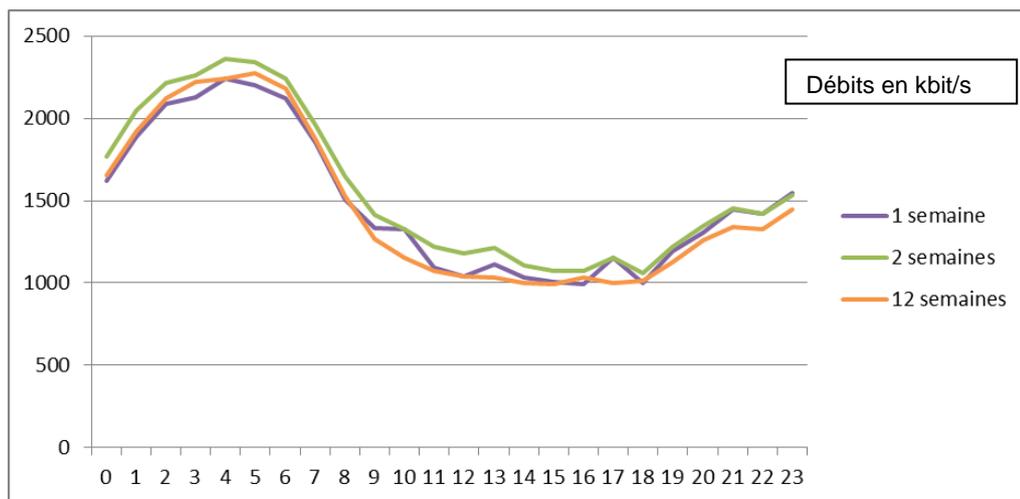


Figure 4. Profils horaires selon la durée d'expérience

◆ **Expérience 1 : Influence de la position dans un bâtiment**

L'objectif de cette expérience est d'essayer de mettre en évidence l'influence de la position à l'intérieur d'un bâtiment sur les conditions radio et les débits obtenus. Après cartographie des locaux, les sondes ont été installées dans les locaux de l'Autorité aux emplacements suivants :

- Balcon du 11^e étage, à l'extérieur côté square (sonde 3)
- A l'intérieur d'un bureau côté square (sonde 0)
- A l'intérieur d'une salle au centre du bâtiment (sonde 2)
- A l'intérieur d'un bureau côté jardin (sonde 1)

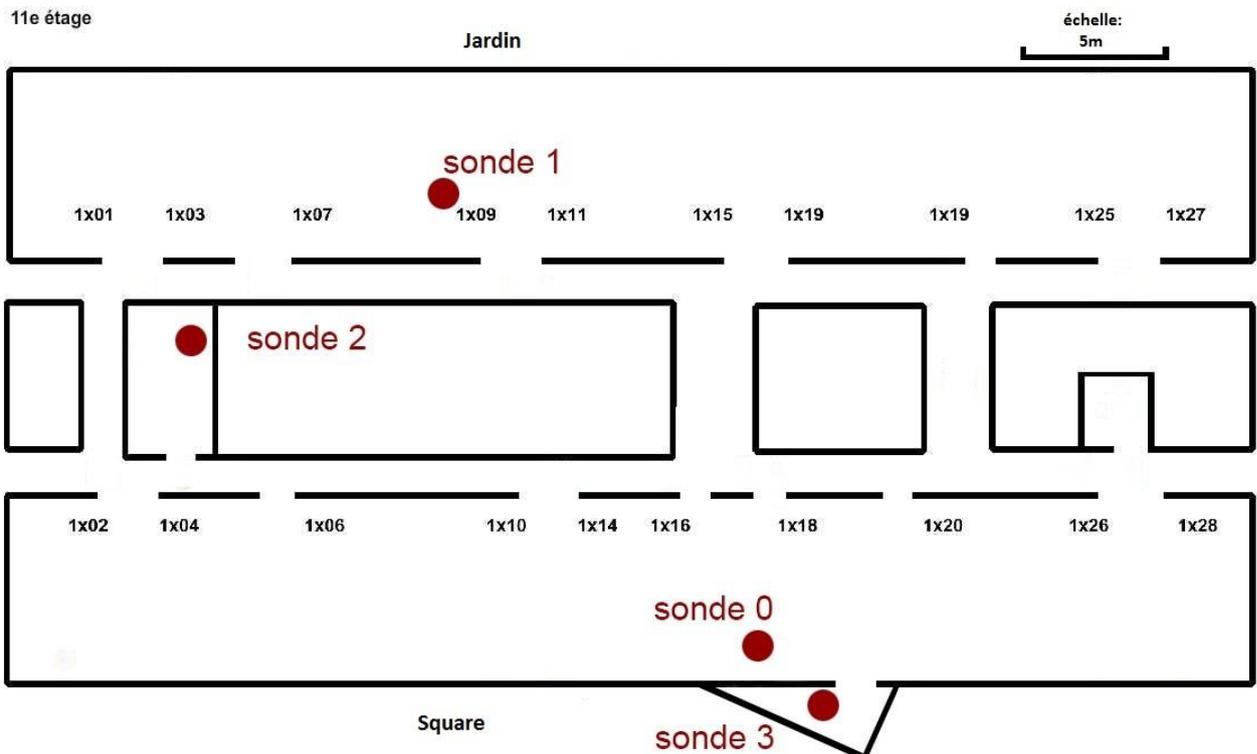


Figure 5. Plan des locaux de l'ARCEP

Les mesures de niveau de champ mettent nettement en évidence **l'atténuation du signal pilote lorsque l'on s'enfonce dans un bâtiment**. Quel que soit l'opérateur, la sonde 3, positionnée à l'extérieur reçoit en moyenne 20 dBm de plus que la sonde 2, située dans une pièce sans fenêtre, en plein cœur du bâtiment.

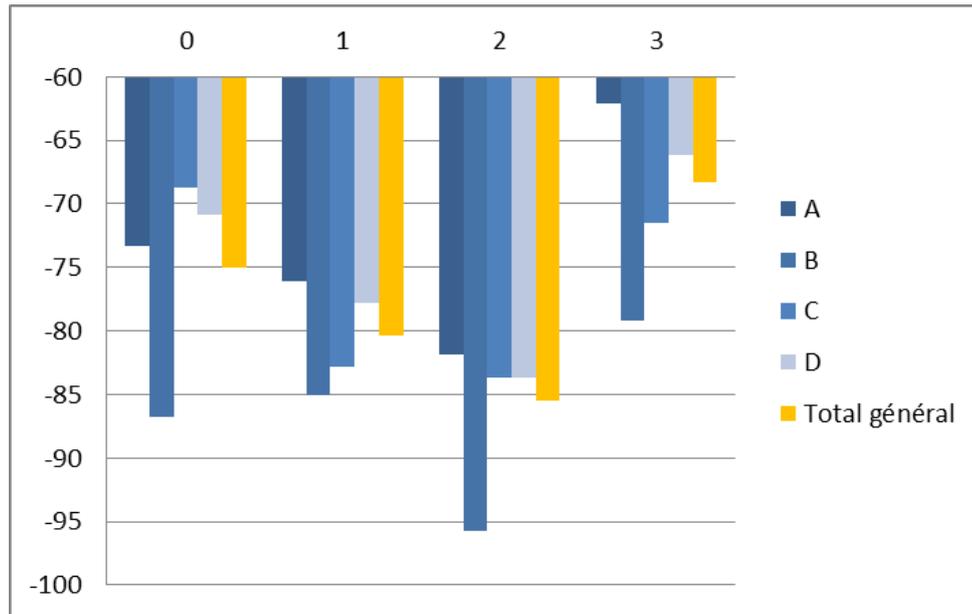


Figure 6. RSCP moyen par sonde

Le niveau moyen du rapport E_c/I_0 n'apparaît en revanche pas directement corrélé avec la position dans le bâtiment. Ceci s'explique par le fait que l'atténuation du signal utile s'accompagne également d'une atténuation des signaux parasites.

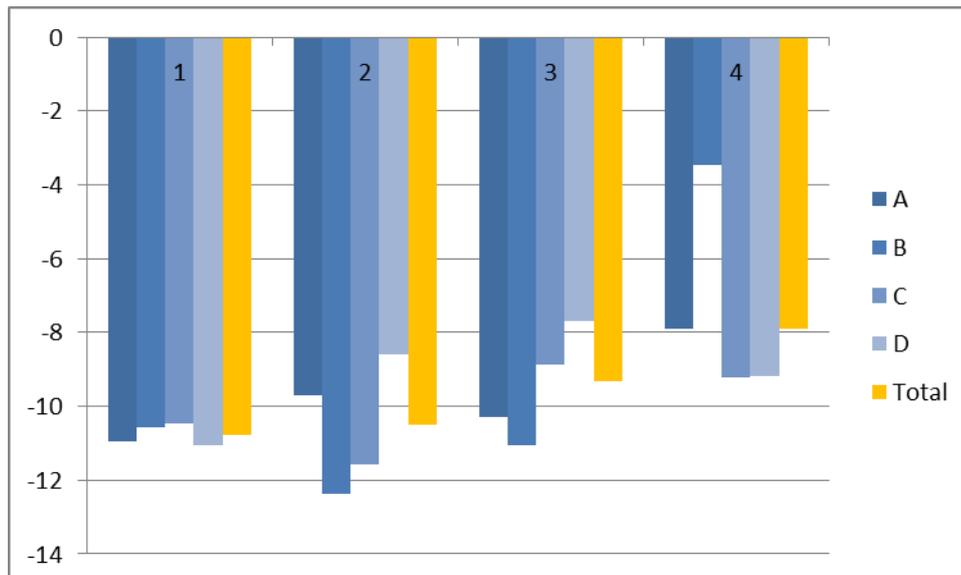


Figure 7. E_c/I_0 moyen par sonde

La mesure la plus pertinente pour évaluer l'impact des conditions de l'expérience sur la qualité de service est le débit crête, plutôt que le débit applicatif, car il permet de limiter les biais dus à la variabilité des délais de montée en débit et des conditions de charge radio (cf partie 2.3). Celui-ci est défini comme le maximum des débits calculés sur chacune des 10 secondes de mesure. L'indicateur présenté est ainsi la moyenne des débits crête des mesures sur chaque sonde pour chaque opérateur..

L'expérience ne montre a priori qu'une faible corrélation entre la position à l'intérieur du bâtiment et le niveau de débit crête. Les débits mesurés sur le réseau de l'opérateur A sur la sonde 1 située à l'intérieur des locaux de l'ARCEP sont par exemple meilleurs que ceux mesurés à l'extérieur avec un signal plus fort.

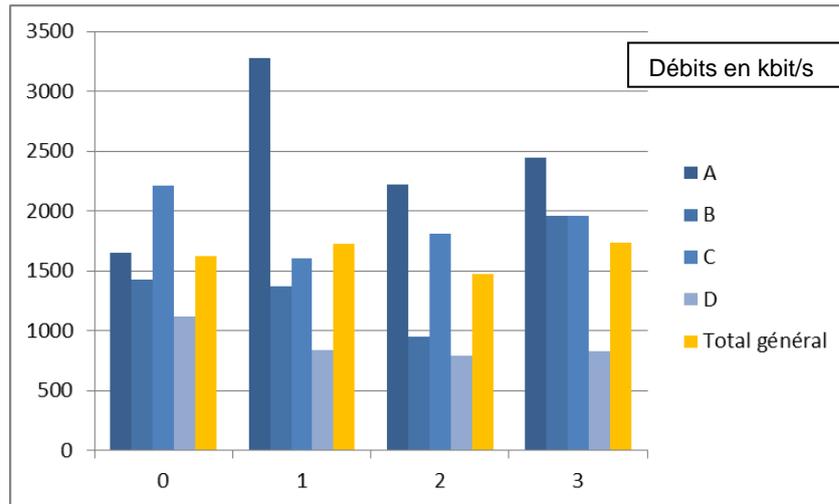
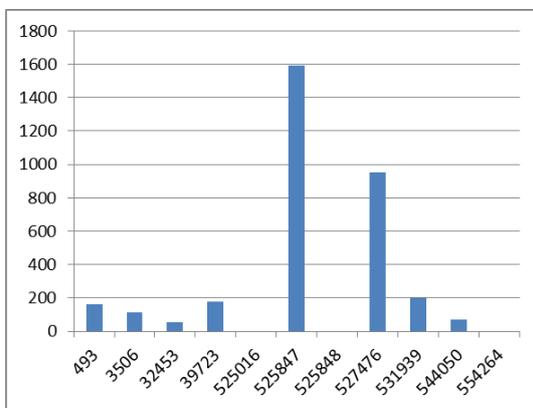


Figure 8. Débits crête moyens par sonde

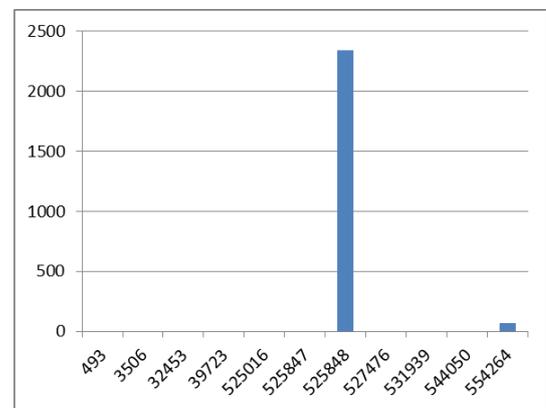
Les résultats sur les sondes 0 et 1, toutes les deux positionnées en intérieur premier jour, montrent qu'à quelques mètres de distance et dans des positions comparables à l'intérieur du bâtiment, les terminaux peuvent présenter sur un même réseau des performances moyennes très variables.

Les mesures ayant été effectuées en zone très dense, les différences observées pourraient être liées à la diversité des cellules sur lesquelles les sondes se sont connectées et au niveau de bruit induit par le nombre de cellules visibles. Les principales cellules utilisées par un opérateur et le nombre de mesures sur chacune d'entre elles sont recensées dans les graphiques ci-dessous.

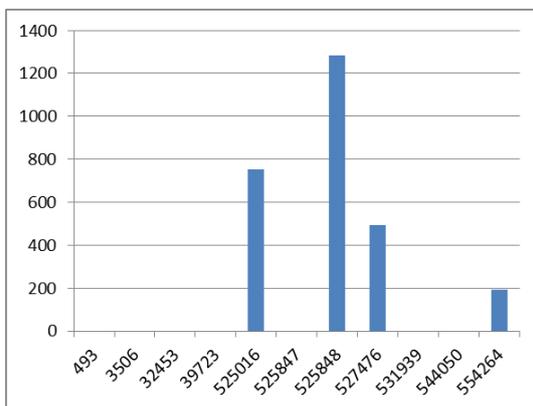
Répartition des mesures par cellule pour un opérateur



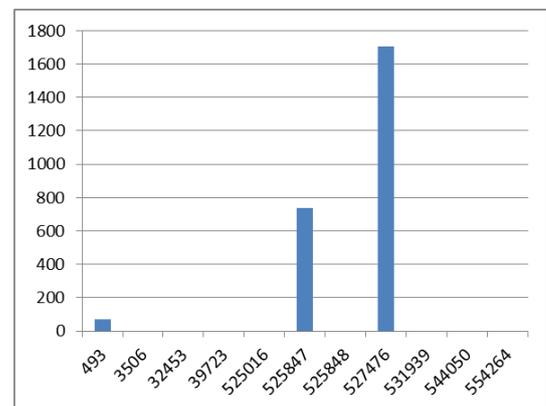
Sonde 0 (intérieur côté square)



Sonde 1 (côté jardin)



Sonde 2 (intérieur centre du bâtiment)



Sonde 3 (extérieur côté square)

D'une cellule à l'autre, pour un même opérateur, les débits crêtes moyens atteints varient sensiblement.

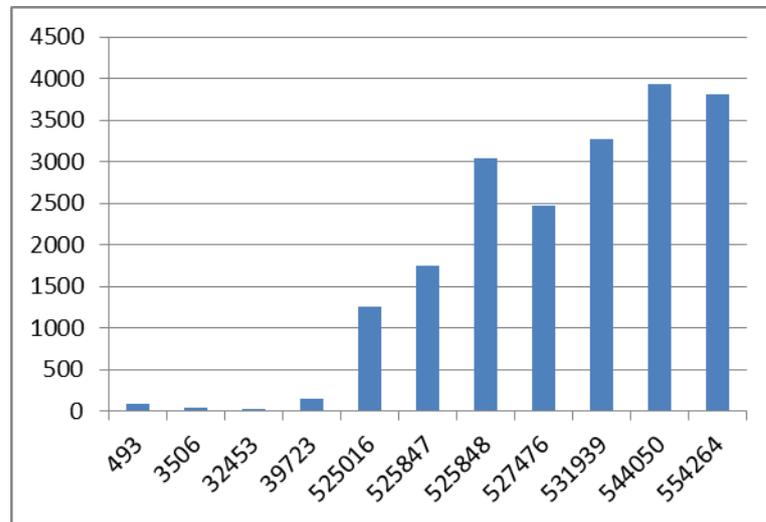


Figure 9. Débit crêtes moyens par cellule

Les graphes ci-dessus montrent que les sondes 0 et 3 partagent en grande partie les mêmes cellules (525847 et 527476), ce qui ne semble pas surprenant au vu de leur position dans le bâtiment. La sonde 1 dépend quant à elle d'une autre antenne (525848). La sonde 2 placée au milieu des locaux fait quant à elle appel aux signaux provenant de chaque côté du bâtiment.

Il est intéressant de noter que, **suivant la position dans le bâtiment et pour un même opérateur, le nombre de cellules auxquelles une sonde se connecte peut être varié** : la sonde 1 ne se connecte quasiment qu'à une seule cellule alors que la sonde 0 se connecte, quant à elle, à un plus grand nombre de cellules (deux majoritairement mais également occasionnellement à 6 autres cellules).

A la lumière de cette expérience, l'influence de la seule localisation en *indoor* plus ou moins profond ne semble pas apparaître comme un facteur prépondérant vis à vis du niveau de débit disponible.

◆ **Expérience 2 : Influence du seul niveau de champ sur les débits**

Cette expérience a été conçue afin de pouvoir approfondir l'analyse de l'influence du niveau de champ sur le débit en s'affranchissant du biais introduit par la diversité des cellules et la variabilité de la charge sur l'accès radio. Pour cela, les sondes ont été installées dans les locaux de Directique au sein desquels l'utilisation des services de données était prohibée. La disposition était la suivante :

- au rez-de-chaussée, en zone de champ très fort, à proximité directe d'antennes des opérateurs C et D (sonde 2) ;
- au sous-sol, à un niveau de champ plus faible (sonde 3) ;
- au sous-sol avec enrobage des terminaux dans des couches d'aluminium afin d'atténuer le niveau de champ (sonde 1).

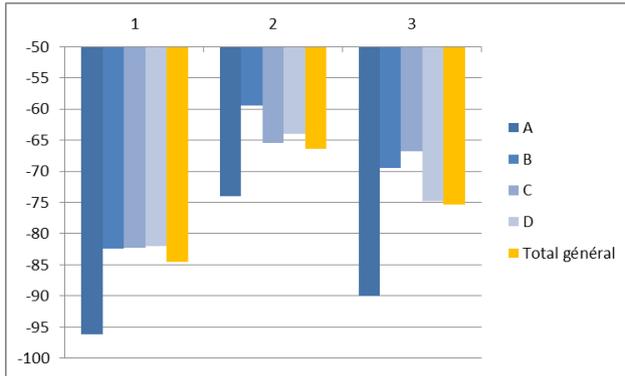
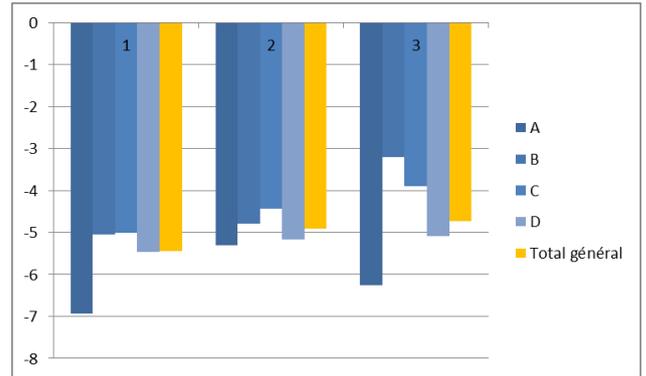


Figure 10. RSCP moyen par sonde


 Figure 11. E_c/I_0 moyen par sonde

Là encore il est difficile d'établir un lien direct entre les niveaux de champ moyens mesurés et les niveaux moyens de débit crête atteints. L'opérateur B, par exemple, devrait présenter des résultats moins bons sur la sonde 3 par rapport à la sonde 2, ce qui n'est pas le cas, de même pour l'opérateur D.

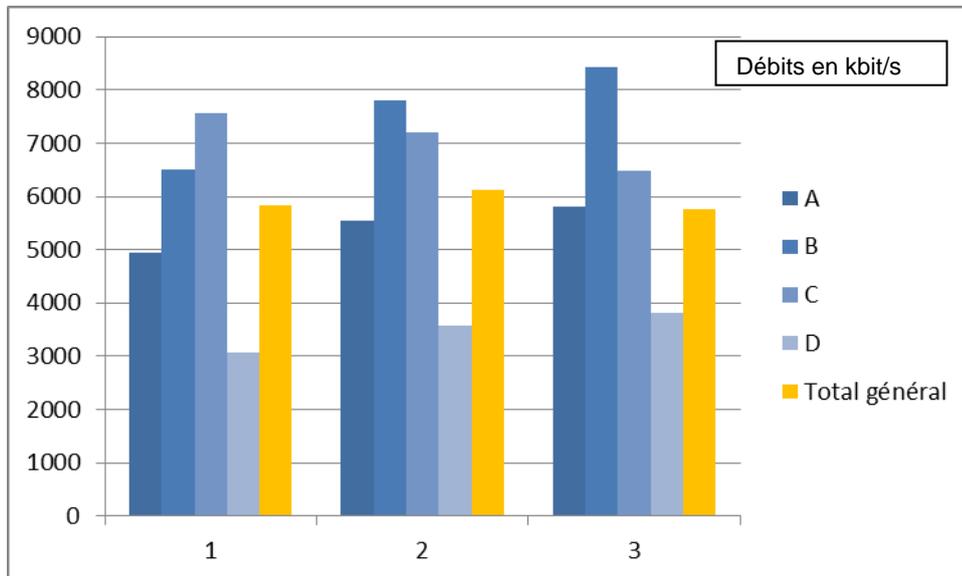
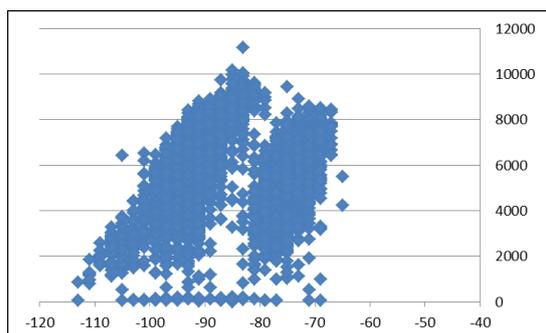


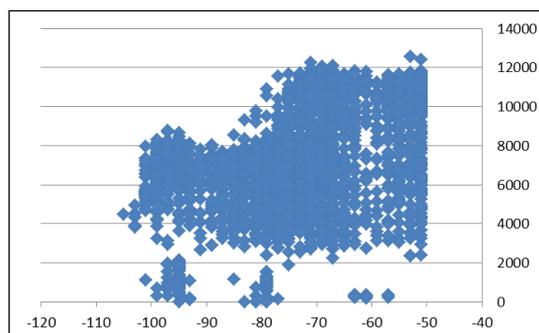
Figure 12. Débit crête moyen par sonde

L'absence de proportionnalité entre les niveaux de champ et les débits mesurés ne signifie pour autant pas que ces éléments ne sont pas corrélés. Il est en effet assez évident qu'en deçà d'un certain niveau de champ, si le signal n'est plus suffisant pour être détecté correctement par le terminal, la qualité de service sur les transferts de données sera très dégradée. Pour illustrer ce phénomène les nuages de point de chaque opérateur sont présentés ci-dessous.

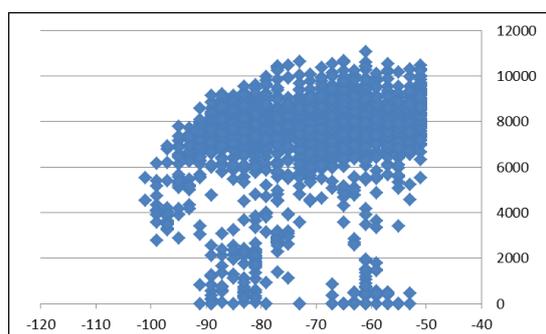
Nuages de points des débits crête en fonction du RSCP



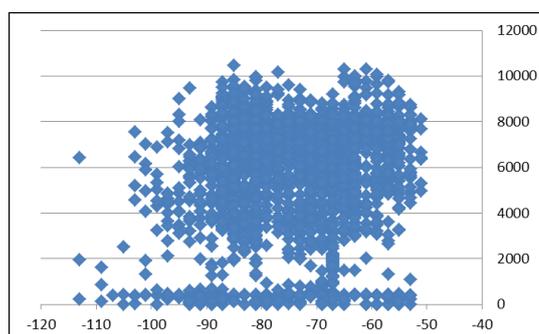
Opérateur A



Opérateur B



Opérateur C



Opérateur D

Selon les opérateurs, le seuil en deçà duquel les performances apparaissent manifestement dégradées se situe entre -80dBm et -90dBm. Plus le niveau de champ diminue au-delà de ce seuil, plus le débit maximum disponible diminue également.

◆ **Expérience 3 : Profils horaires dans des villes de tailles différentes**

L'objectif de cette expérience était de comparer les résultats obtenus dans des zones représentatives de densité et d'activités variables en différenciant l'influence des conditions radio (qu'on a veillé à reproduire au mieux dans le choix des points de mesures au sein de chaque bâtiment), de l'influence de trafic global géré par le réseau haut vis-à-vis de chaque lieu.

Les sondes étaient disposées dans les lieux suivants :

- sonde 0 : dans un bureau de l'ARCEP ;
- sonde 1 : dans un bâtiment en banlieue toulousaine ;
- sonde 2 : dans les locaux de Directique situés Porte d'Orléans ;
- sonde 3 : dans une maison en Normandie.

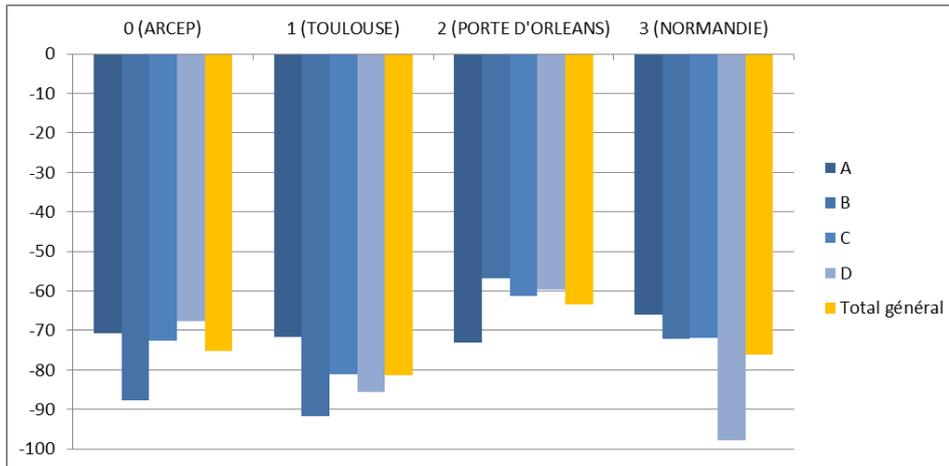


Figure 13. E_c/I_0 par sonde

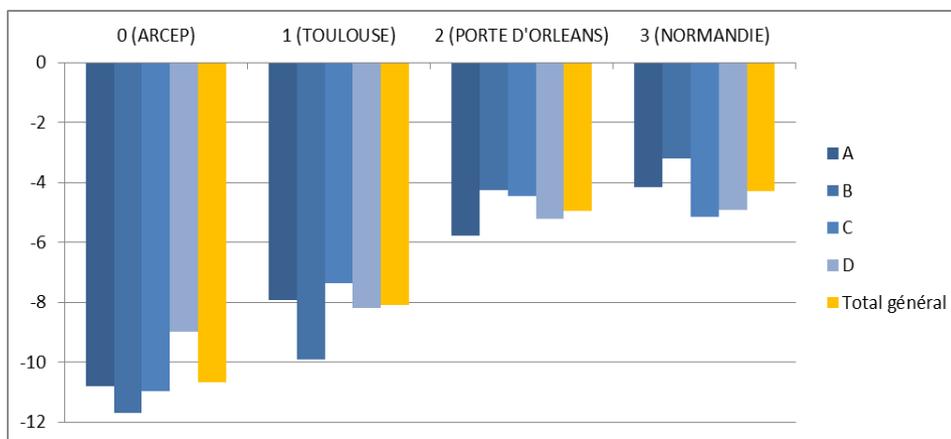


Figure 14. RSCP par sonde

Les débits présentés dans cette expérience sont, comme pour l'expérience 0, des débits applicatifs, afin de traduire l'ensemble des facteurs pouvant affecter la qualité perçue par l'utilisateur.

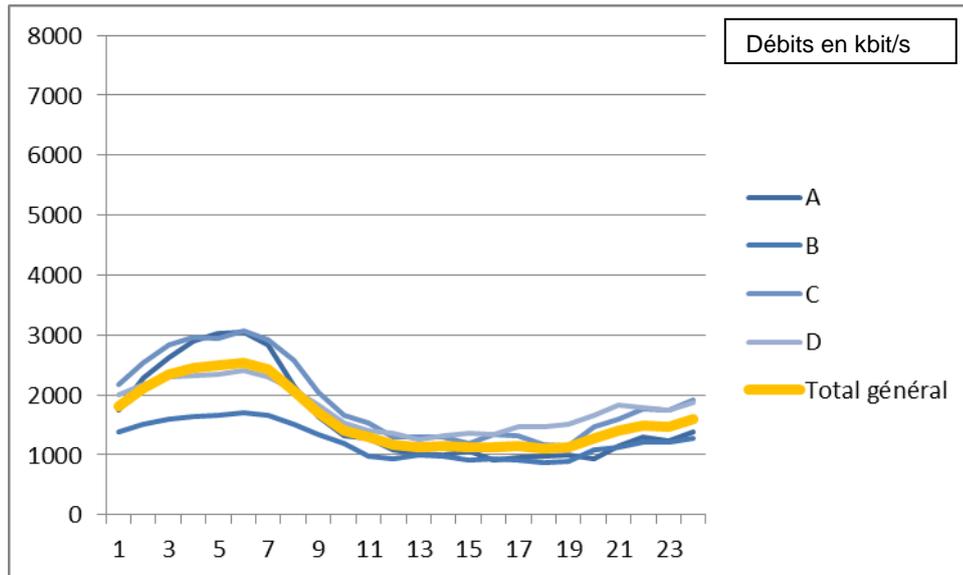


Figure 15. Profil de débit sonde 0 (ARCEP)

Sur la sonde 0, installée dans un bureau de l'ARCEP, les profils de débit mettent en évidence l'influence de l'activité de bureau avec un débit qui commence à remonter en soirée. La nuit, les débits disponibles sont deux fois plus élevés que le jour. Les performances obtenues sur l'ensemble des réseaux sont moins élevées que dans les autres lieux mais relativement homogènes entre les opérateurs. En journée l'écart maximum de performances entre deux opérateurs est de l'ordre de 500 kbit/s.

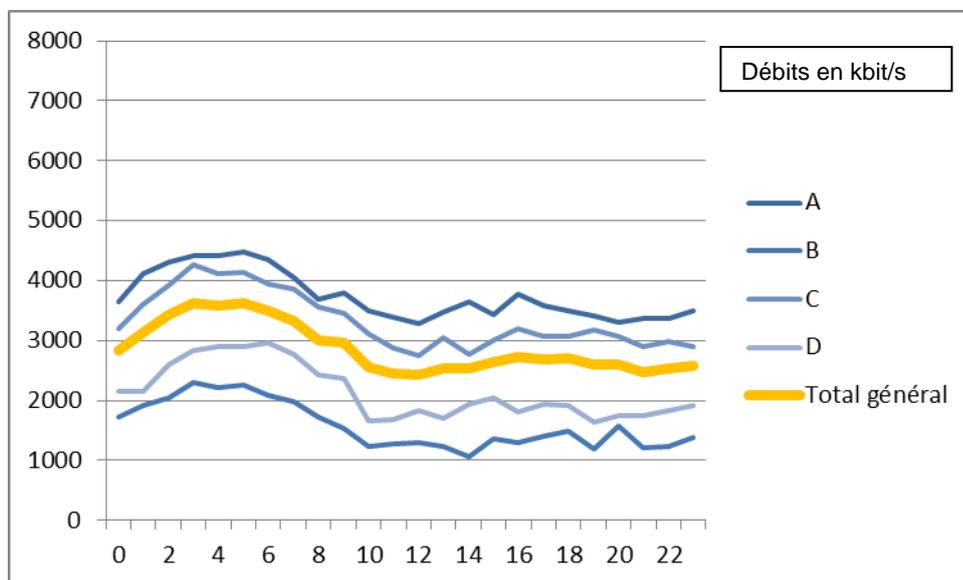


Figure 16. Profil de débit sonde 1 (Toulouse)

Sur la sonde 1, positionnée dans un bâtiment en banlieue toulousaine, on observe une période chargée (10h-23h) et une montée progressive des débits la nuit pour un atteindre un pic autour de 3h-6h du matin, pendant les heures de sommeil. Si les profils sont tout à fait similaires d'un opérateur à l'autre, les performances sont en revanche moins homogènes que sur la sonde 0. Les performances sur l'opérateur A sont ainsi deux fois plus élevées que celle de l'opérateur B.

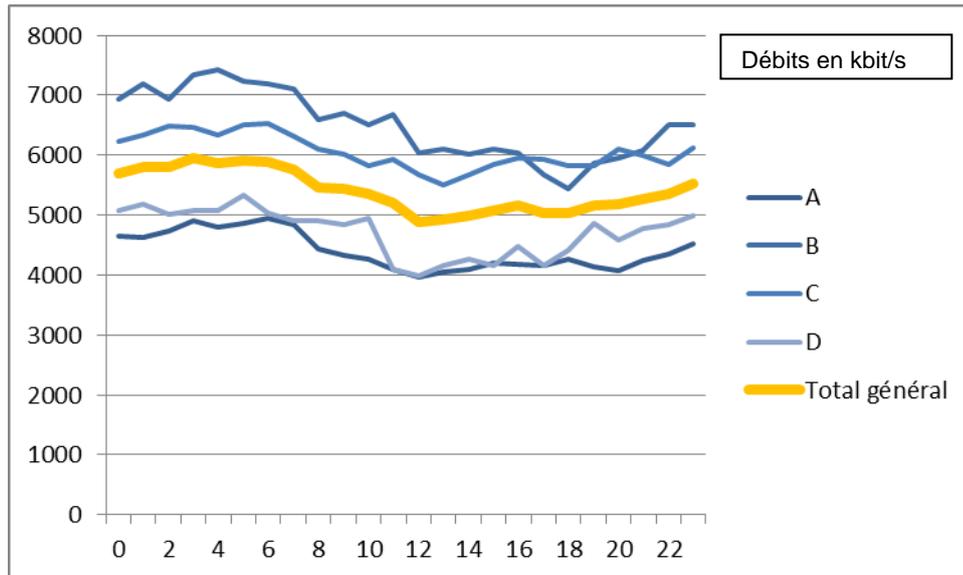


Figure 17. Profil de débit sonde 2 (Porte d'Orléans)

Sur la sonde 2, située dans les locaux de Directique, les mesures révèlent des performances élevées et un profil de débit relativement plat au cours de la journée. Cette stabilité relative s'explique par la restriction de l'usage des services de données imposée dans les locaux de Directique durant la journée.

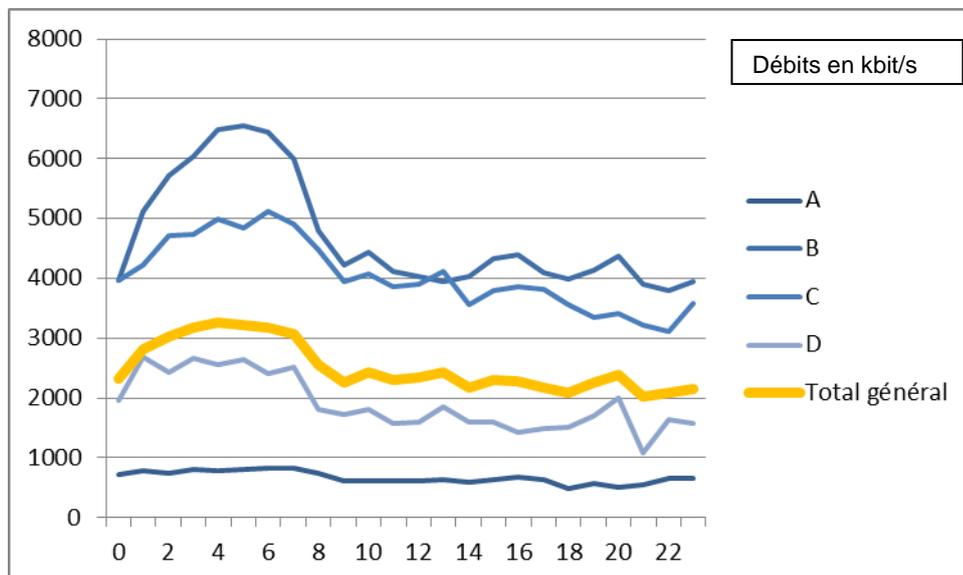


Figure 18. Profil de débit sonde 3 (Normandie)

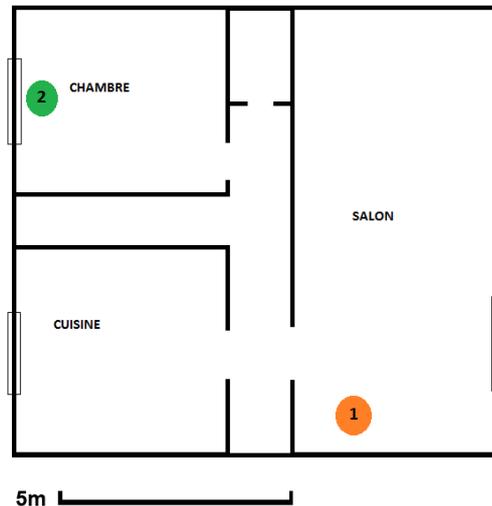
Sur la sonde installée dans une maison située dans la campagne normande, on observe une baisse des débits en fin de journée, notamment entre 20 et 22h pour les trois opérateurs qui ont les débits les plus élevés. La zone mesurée ne faisant pas partie d'un quartier accueillant des entreprises, on n'observe pas d'augmentation des débits en début de soirée. On observe toutefois une augmentation des débits plus ou moins marquée durant la nuit pour les opérateurs B, C et D.

La densité des habitations étant faible, il n'y a pas d'antenne de l'opérateur A à proximité, la performance sur ce réseau est par conséquent très limitée et l'influence de la plage horaire est assez faible sur cet opérateur, ce qui atténue l'effet de la plage horaire sur la moyenne générale.

Cette expérience montre que, moins la zone est dense, plus les différences entre opérateurs sont importantes en termes de niveaux de débits. Ceci peut s'expliquer par les

différences de topologie de réseau (nombre de cellules visibles, puissance des signaux reçus) entre ces zones. Moins le réseau est dense, plus il est probable d'être à des distances variables des cellules selon les réseaux.

◆ **Expérience 4 : Influence du E_c/I_0 au sein d'un même appartement**



Afin de mesurer la variation des débits mesurés dans un même appartement en étant dans une zone moins dense qu'à l'ARCEP, 2 sondes ont été installées à l'intérieur d'un appartement situé au 2^{ème} étage d'un immeuble haussmannien dans le 14^e arrondissement de Paris. A la différence de l'expérience 1, le nombre de cellules disponibles sur chacun des opérateurs est beaucoup plus restreint.

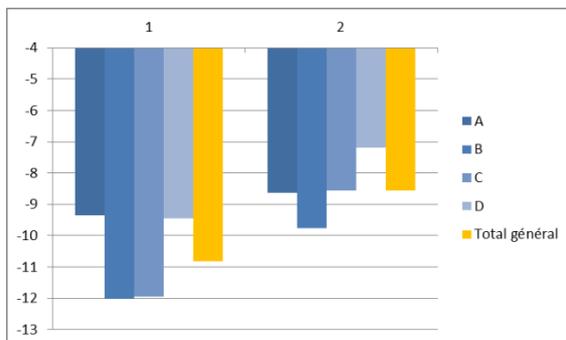


Figure 19. E_c/I_0 par sonde

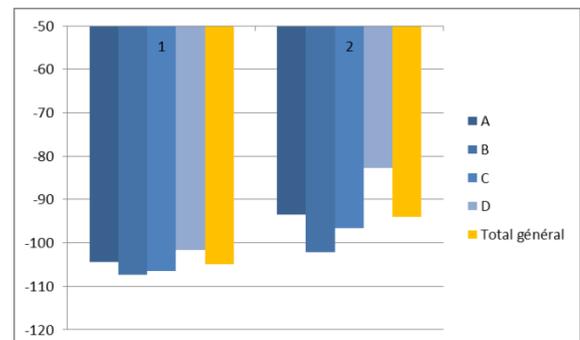


Figure 20. RSCP par sonde

L'objectif de cette expérience était de placer des sondes dans des conditions d' E_c/I_0 variées à l'intérieur d'un même appartement. La figure ci-dessus met en évidence les valeurs moyennes des conditions radio pour chaque sonde. On observe que la sonde située au milieu de l'appartement (1) bénéficie à la fois d'un niveau de champ inférieur et d'une qualité de signal plus faible que la sonde située en premier jour (2)

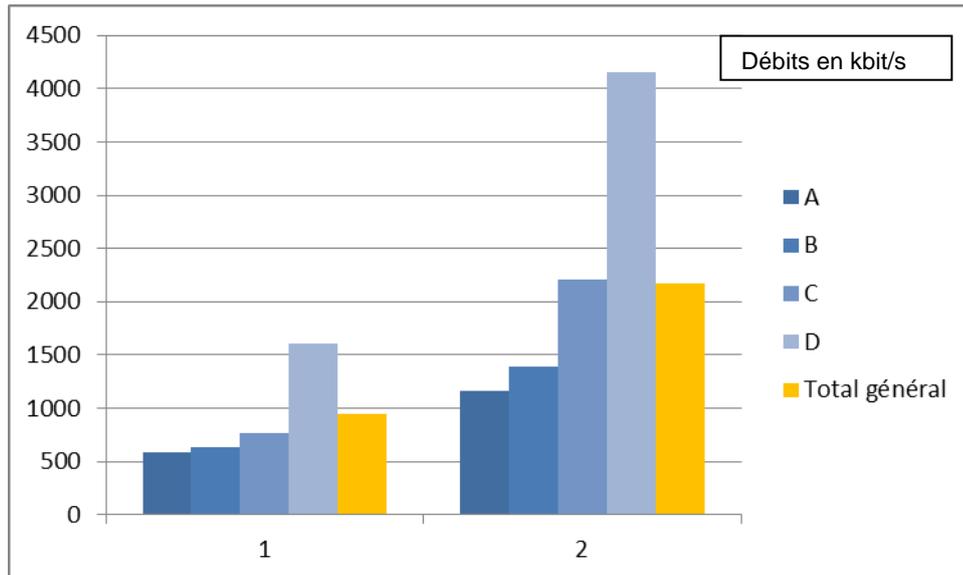


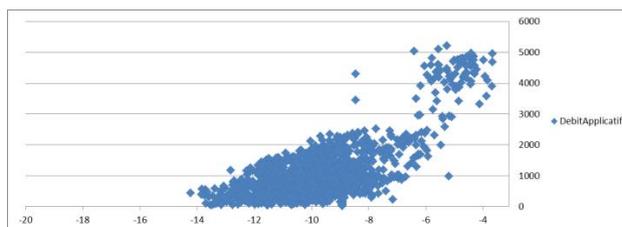
Figure 21. Débits applicatifs moyens par sonde

Les performances réalisées sur la sonde 2 sont bien meilleures que sur la sonde 1. L'analyse de ces graphes nécessiterait de pouvoir installer davantage de sondes dans des conditions extrêmes d' E_C/I_0 pour pouvoir tirer une conclusion définitive sur la corrélation entre E_C/I_0 et performance sur la base de ces valeurs moyennes mais **ces résultats semblent indiquer que le débit mesuré augmente avec la valeur du E_C/I_0 .**

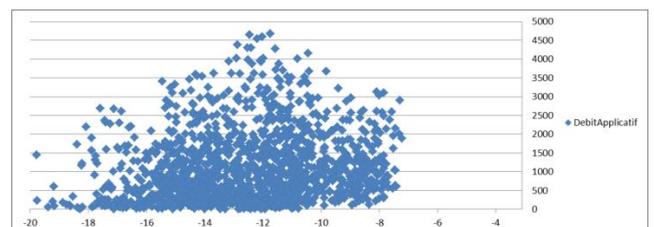
Comme dans l'expérience 1, on constate que des sondes placées à quelques mètres l'une de l'autre, peuvent, pour un même opérateur, bénéficier de performances différentes.

En observant les résultats de plus près, à l'échelle du nuage de points, la corrélation suspectée se retrouve confirmée :

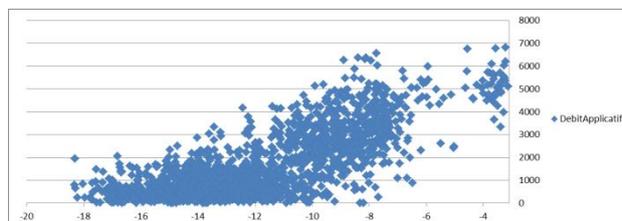
Nuages de points des débits applicatifs en fonction du rapport E_C/I_0



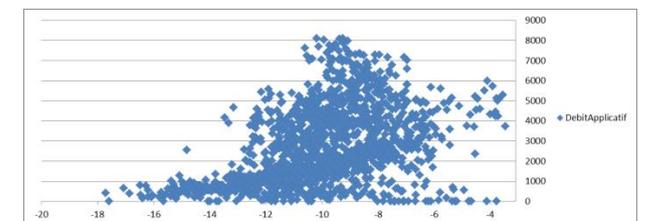
Opérateur A



Opérateur B



Opérateur C



Opérateur D

Lorsque le rapport E_C/I_0 est trop faible, les performances sont dégradées. Les débits semblent augmenter avec le niveau du E_C/I_0 .

2.2 Enseignements transversaux sur la sensibilité de la QoS

◆ Influence de la localisation

La localisation géographique des mesures influe à la fois sur le niveau de performances et sur le profil de performance au cours de la journée. L'expérience 3 a ainsi mis en évidence les phénomènes suivants :

- en zone dense (sonde 0 et 2), les performances sont relativement homogènes entre les opérateurs alors qu'en zone moins dense (sonde 3) le niveau moyen de débit est très variable d'un opérateur à l'autre. Ceci pourrait s'expliquer par les différences de topologie de réseau (nombre de cellules visibles, puissance des signaux reçus) entre ces zones.
- Les profils de débit dépendent du type d'activité de la zone (bureaux, habitations, campagne). Sur une zone à forte concentration en bureaux, les performances sont limitées durant la journée et remontent à partir de 18h, lorsque les employés quittent leur lieu de travail. En zone résidentielle et en zone rurale (sonde 1), le pic de performance démarre plus tardivement, lorsque les habitants se couchent.

Les expériences 1, 2 et 4 ont montré qu'il est en revanche plus difficile d'établir une relation directe entre la localisation à l'intérieur d'un bâtiment et le niveau de performance mesuré compte tenu du nombre de paramètres susceptibles de varier lorsqu'on se déplace de quelques mètres (niveau de champ, niveau de bruit, cellules utilisées)

◆ Influence des conditions radio (RSCP, E_c/I_0)

L'expérience 2 a montré que le niveau du RSCP n'exerçait une influence significative sur les performances qu'en deçà d'un seuil situé entre -80 et -90 dBm selon les opérateurs. Du point de vue théorique, l'existence de ce seuil est assez aisée à comprendre : lorsque quelqu'un parle très fort, il ne fournit pas davantage d'informations que lorsqu'il parle normalement. En revanche, plus sa voix est faible, plus son interlocuteur risque de perdre une partie du message.

Il est à noter qu'en un lieu donné, les conditions de niveau de champ n'évoluent que très peu.

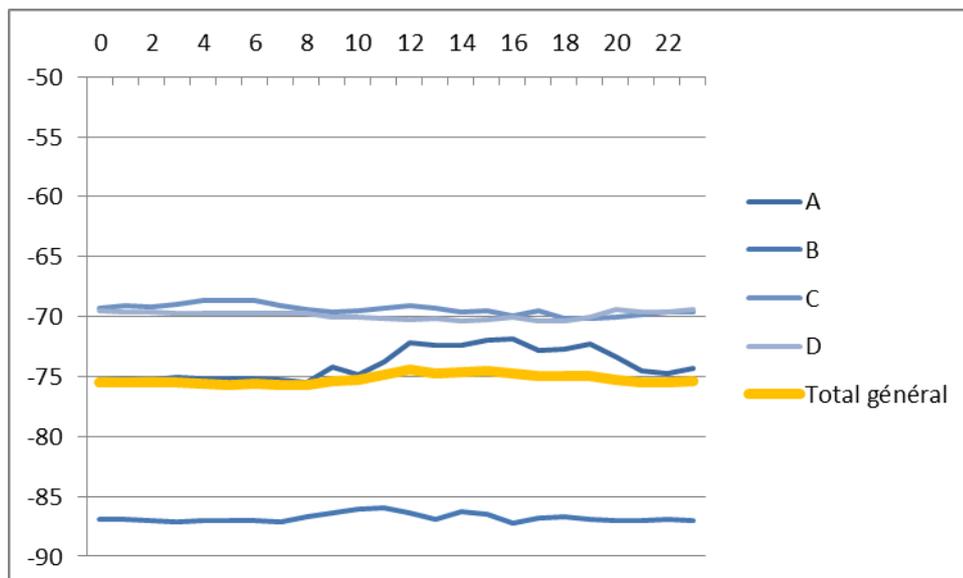


Figure 22. Profil horaire de RSCP sur l'expérience 0

Les quelques variations de niveau de champ RSCP peuvent être expliquées par l'utilisation de cellules différentes lors des mesures, ces changements de cellules étant eux même la conséquence probable d'une charge ponctuelle importante sur la cellule la mieux reçue au moment de certaines mesures.

L'analyse des performances mesurées tout au long de l'étude en fonction du niveau du rapport E_C/I_0 reflète clairement l'importance de ce facteur vis-à-vis de la qualité perçue par l'utilisateur de services de données. Cette corrélation n'apparaît néanmoins pas linéaire.

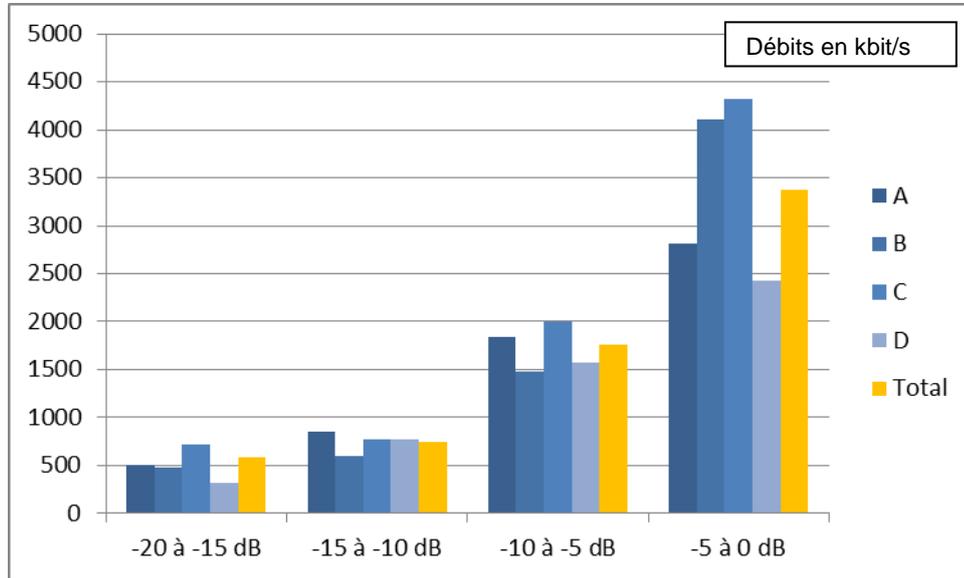


Figure 23. Débit en fonction du rapport E_C/I_0 sur l'ensemble des expériences

En observant l'évolution des niveaux d' E_C/I_0 moyens au cours de la journée sur l'ensemble de l'étude, on retrouve également l'étroite corrélation avec les profils de performances préalablement mis en évidence :

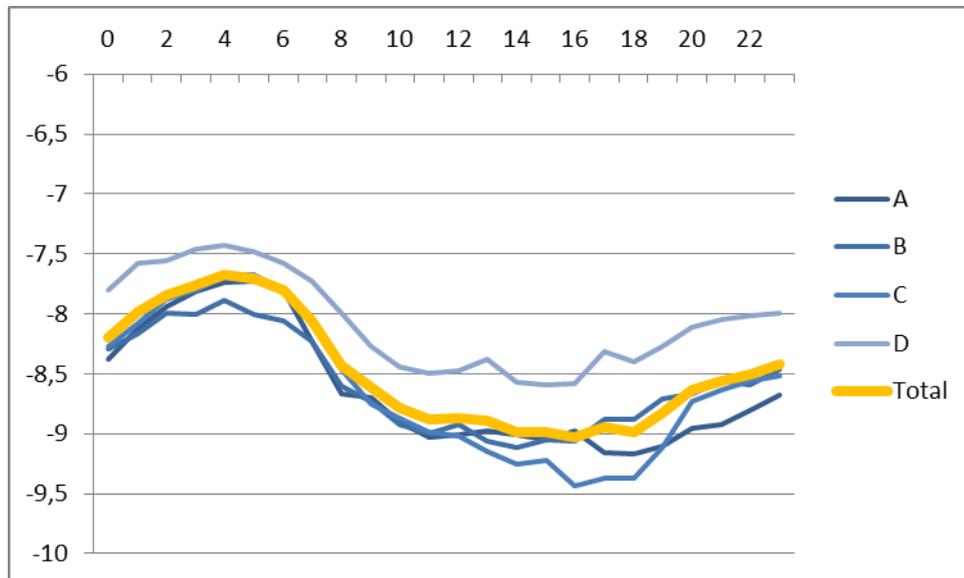


Figure 24. Profil horaire du rapport E_C/I_0

Ce résultat remarquable s'explique par la définition mathématique du rapport E_C/I_0 qui prévoit que plus une cellule est chargée, plus l' E_C/I_0 est faible.

L'exemple ci-dessous permet d'illustrer cette corrélation :

Calcul du rapport E_C/I_0 sur une antenne isolée émettant un canal pilote d'une puissance de 2W et d'autres canaux de contrôle d'une puissance de 2W à vide (1) et en charge avec un trafic à 6W (2)

(1) A vide

$$E_c = 2 \text{ W}$$

$$I_0 = 0 + 2 + 2 = 4 \text{ W}$$

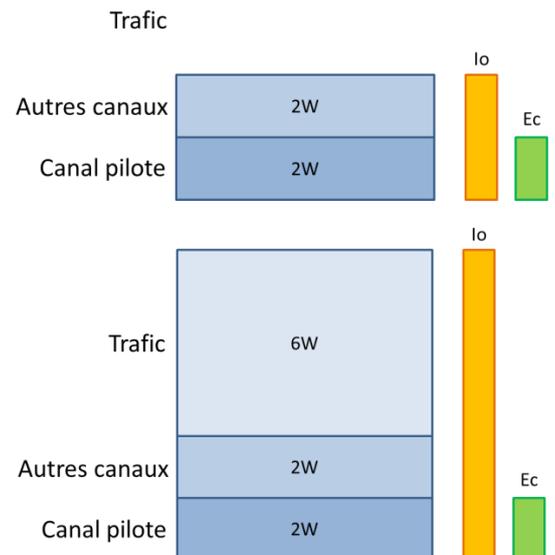
$$E_c/I_0 = (2/4) = 0.5 = -3 \text{ dB}$$

(2) En charge

$$E_c = 2 \text{ W}$$

$$I_0 = 2 + 2 + 6 = 10 \text{ W}$$

$$E_c/I_0 = (2/10) = 0.2 = -7 \text{ dB}$$



◆ Influence du moment de la mesure (heure, jour, période)

Les résultats de l'expérience 0 ont permis de mettre en évidence la corrélation entre le moment auquel la mesure est réalisée et la qualité de service disponible. Quelle que soit la localisation géographique, on observe des pics de débits la nuit, lorsque le réseau ne sert qu'un nombre restreint d'utilisateurs. Dans une moindre mesure, on note que les performances semblent plus élevées les jours de weekend et qu'en période de vacances la performance disponible est supérieure.

2.3 Analyse de la dispersion des débits mesurés

Quels que soient l'opérateur et l'expérience concernés, l'étude a montré que la mesure de la qualité perçue par l'utilisateur pour le téléchargement d'un fichier quelconque fait apparaître une grande dispersion des résultats, même sur des périodes longues.

A titre d'exemple, sur la sonde 2 positionnée rue Leneveux dans l'expérience 4, le nuage de points des résultats obtenus sur l'opérateur A a la forme suivante :

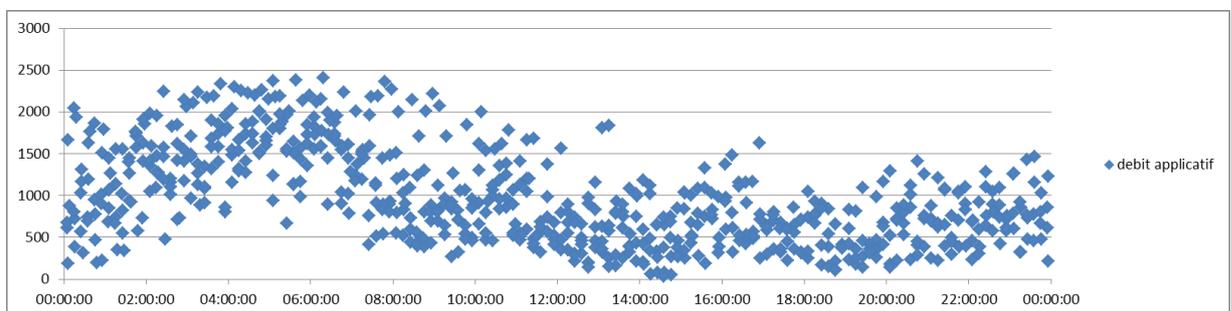


Figure 25. Débits applicatifs opérateur A, sonde 2, rue Leneveux

Pour expliquer cette dispersion, il convient de considérer l'ensemble des paramètres pouvant influencer sur le résultat d'une mesure.

Le délai de téléchargement d'un fichier observé par l'utilisateur correspond en effet à la somme

- du délai de latence applicative (délai entre le clic sur l'application et la récupération des premières données au niveau applicatif) (i)

- du délai de montée en charge du débit (délai entre l'instant de récupération des premières données et l'atteinte du débit crête) (ii)
- du délai de transfert à pleine charge (dépendant du débit max et du volume du fichier) (iii).

(i) L'analyse approfondie des résultats montre que la latence applicative est relativement homogène et généralement comprise entre 1.5 et 2 secondes.

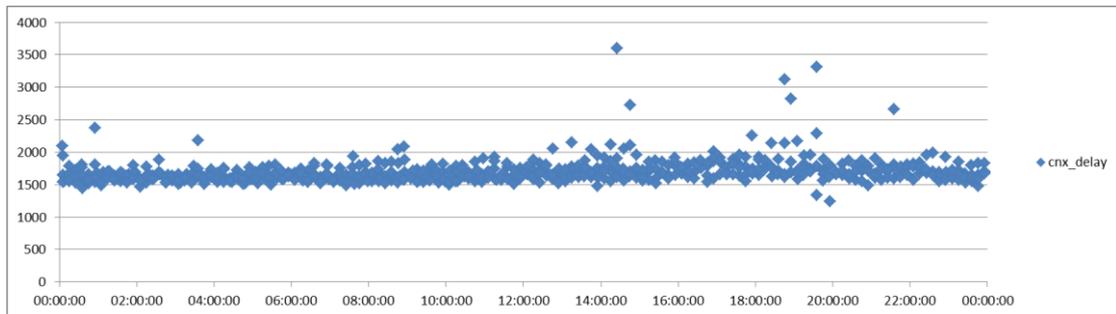


Figure 26. Latence applicative opérateur A, sonde 2, rue Leneveux

(ii) Les délais de montée en charge du débit sont revanche très variables et participent à la dispersion des mesures de débit applicatif

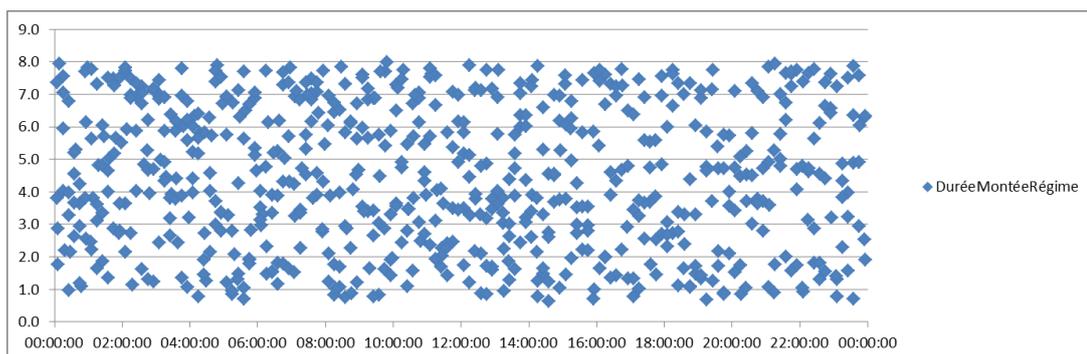


Figure 27. Délai de montée de régime opérateur A, sonde 2, rue Leneveux

(iii) On constate également que les débits crête atteints au cours des 10 secondes du transfert de fichier peuvent également être très dispersés :

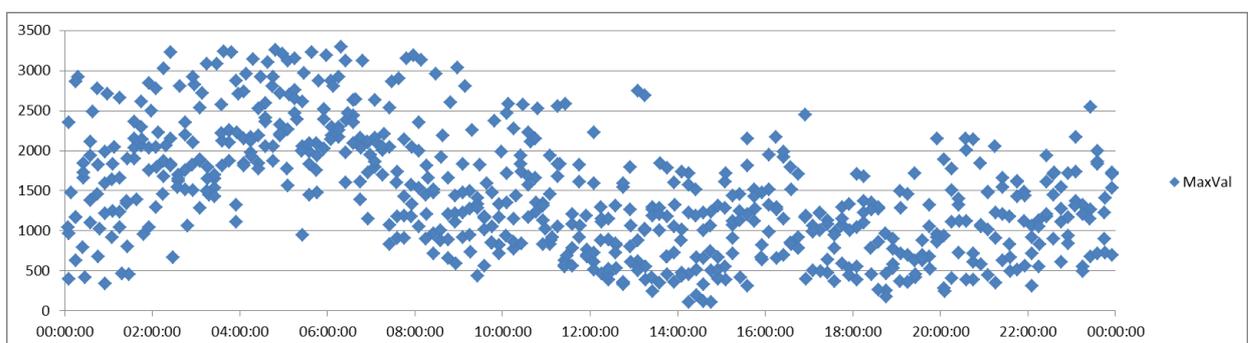


Figure 28. Débit crête opérateur A, sonde 2, rue Leneveux

Plusieurs hypothèses peuvent expliquer cette dernière observation :

- Une partie de la dispersion est d'origine arithmétique. Les débits maximum calculés correspondent en effet au maximum des débits moyens calculés par intervalle d'une

seconde. Cette dispersion pourrait être corrigée en diminuant la durée de l'intervalle considéré. La valeur de l'intervalle pourrait être réduite à 1/10 s par exemple ; sur cette durée, à 5Mbit/s, on télécharge environ 30 trames de 1400 octets.

- Le débit maximum disponible sur la cellule n'est pas systématiquement atteint au cours des 10 secondes de mesure. En d'autres termes, le délai de montée en charge du débit est parfois supérieur au délai de transfert des données. La figure ci-dessous montre en effet que le débit maximum (mesuré pour un opérateur et une sonde) est atteint dans 22% des cas pour la dernière seconde de mesure. On peut donc s'attendre à ce qu'il continue à croître par la suite.

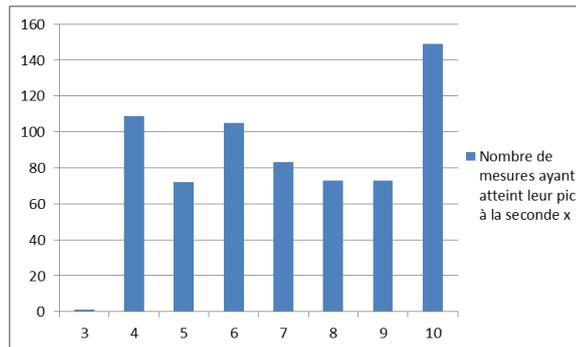


Figure 29. Répartition des débits max par seconde

- Lorsqu'une connexion de données entre le terminal et le réseau est initialisée, la configuration du *bearer* (ensemble de paramètres spécifiant la transmission de données) peut allouer des débits maximum variables adaptés aux conditions radio et aux conditions de charge sur la cellule. Au cours d'une mesure, en cas de *handover* entre cellules ou entre technologies, il est par ailleurs possible de se voir allouer plusieurs débits maximum différents.

Par ailleurs et par souci de complétude, il convient de noter que d'autres facteurs, qui n'ont pas été observés au cours de cette étude, peuvent participer à la dispersion des résultats perçus par un utilisateur en conditions réelles :

- Sur les *smartphones*, un certain nombre d'applications tournent en tâche de fond et effectuent des échanges de données sur le réseau (flux météo, messagerie, mises à jour...) sans que l'utilisateur ne s'en aperçoive. Les traces radio détaillées permettent de détecter ces collisions et de les neutraliser a posteriori. On peut aussi les neutraliser a priori en bloquant toutes les tâches de fond perturbatrices.
- Sur certains réseaux, il existe des offres prioritaires. Un utilisateur effectuant une mesure en concurrence avec une offre de faible priorité ou avec une offre de haute priorité n'obtiendra pas les mêmes performances.

2.4 Gestion des contraintes liées au déploiement de sondes fixes

Les expériences menées dans cette étude ont permis de montrer que le déploiement d'un dispositif de sondes fixes conçu pour représenter de la manière la plus proche possible la qualité perçue par les utilisateurs demande de prendre en compte un certain nombre de contraintes opérationnelles afin d'assurer le bon fonctionnement des mesures.

◆ **Gestion du *fair use* des abonnements**

Toutes les offres proposées par les opérateurs comportent une clause définissant un volume maximal de données pouvant être échangées chaque mois (clause d'usage raisonnable ou de *fair use*).

Compte tenu de la fréquence et du volume des tests, le plafond autorisé peut être atteint au bout de quelques jours de mesure si les débits sont élevés. Toutes les mesures effectuées au-delà de ce seuil sont inutilisables car les transferts de données sont soit fortement bridés soit bloqués une fois le seuil atteint. Un grand soin doit par conséquent être alloué au suivi du volume de données consommé sur chaque SIM.

Le remplacement des cartes SIM nécessitant l'intervention d'un technicien, les sondes doivent pouvoir être accessibles aisément ou doivent être équipées d'offres rechargeables en ligne. Dans le cas de cet étude, lors du redémarrage d'un terminal, le port permettant de récupérer la trace radio a dû être réinitialisé, et l'application **Mobispeed** et le logiciel d'enregistrement des traces relancés

◆ **Suivi du bon déroulement des mesures**

L'utilisation intensive de terminaux grand public pour réaliser les mesures peut entraîner des problèmes de stabilité nécessitant leur redémarrage. Un dispositif de suivi des données remontées par chaque téléphone a été mis en place à cet effet pour surveiller plusieurs fois par jour la bonne réalisation des mesures.

◆ **Protection physique de la sonde**

L'installation de sondes en extérieur implique de prévoir des protections contre les intempéries. Une boîte hermétiquement fermée et imperméable est à ce titre indispensable pour assurer l'intégrité du matériel.

◆ **Accès aux données**

Si la sonde ne peut être raccordée à un réseau local, la récupération des traces radio ne peut être effectuée à distance et nécessite l'intervention d'un technicien pour enregistrer les résultats sur un support de stockage.