

Note d'analyse de l'impact de l'extinction des technologies 2G et 3G sur la couverture des réseaux mobiles en métropole

Rapport du Comité

Comité d'experts techniques sur les réseaux mobiles

Mars 2026

AVANT-PROPOS

Le Comité d'experts technique sur les réseaux mobiles a été créé par l'Arcep en 2018. Composé d'experts techniques travaillant sur un horizon à long terme, le Comité peut fournir une recommandation/un aperçu technique indépendant permettant de partager des points de vue et de construire un consensus sectoriel sur toute question technique relative aux réseaux et technologies mobiles. Présidé par NOKIA, le secrétariat et la gestion du Comité sont assurés par l'Arcep.

Les publications du Comité d'experts techniques sur les réseaux mobiles

Intitulé de l'étude	Date de publication
Rapport du comité d'experts techniques sur les enjeux de coexistence dans les bandes 3,4 - 3,8 GHz	05/2019
Evaluation de la consommation énergétique d'un déploiement 4G vs 5G	01/2022
Evaluation de l'impact carbone de l'arrêt des réseaux 2G-3G et la migration de leurs services vers la 4G/5G	09/2023
Note d'analyse de l'impact de l'extinction des technologies 2G et 3G sur la couverture des réseaux mobiles en métropole	03/2026

Table des matières

1	Introduction et présentation de la problématique	5
1.1	Problématique.....	5
1.2	Approche méthodologique employée	6
2	Considérations sur la différence de couverture entre 2G et 3G	8
3	Considérations sur les leviers d’optimisation de la couverture en 4G.....	10
3.1	Comparaison des éléments techniques impactant la couverture voix en 2G/3G vs 4G.....	11
3.1.1	Puissance de transmission et sensibilité en réception :.....	11
3.1.2	Paquetisation de la voix sur la radio :.....	13
3.1.3	Impact du passage à la voix sur IP :.....	13
3.2	Eléments d’amélioration de la couverture pour la VoLTE.....	13
3.2.1	Eléments plus généraux relatifs à la transformation du réseau :	13
3.2.2	Eléments spécifiques à la technologie d’accès radio :	16
3.3	Synthèse des leviers	19

Comité d'experts techniques sur le mobile

Note d'analyse de l'impact de l'extinction des technologies 2G et 3G sur la couverture des réseaux mobiles en métropole

Résumé exécutif

En France, l'arrêt progressif des réseaux mobiles 2G et 3G répond aux impératifs de sécurité, de performance énergétique et de connectivité, dans un contexte de transformation numérique accélérée. Aujourd'hui la part du trafic en 2G/3G est estimée à moins de 1% selon les experts du Comité et la majorité du trafic voix passe par la 4G. Les services voix, data et IoT encore actuellement desservis par la 2G et la 3G le seront dans le futur par la 4G et la 5G, par l'intermédiaire de l'ensemble des fréquences à disposition des opérateurs. La présente analyse s'est attachée à identifier les impacts potentiels de l'extinction des technologies 2G et 3G sur la couverture des réseaux mobiles, pour les services voix, IoT et data / internet mobile.

Plusieurs éléments techniques ont été pris en compte, et notamment les mesures terrain effectuées par l'Arcep dans le cadre des enquêtes QoS. L'approche par bilan de liaison n'a pas été retenue car elle est trop théorique et dépend de paramètres pour lesquels il n'existe pas de consensus ou de valeur universelle. Cette approche n'est pas adaptée pour des comparaisons précises en limite de couverture, qui dépendent fortement du terrain, de l'ingénierie réseau et des terminaux.

L'étude conclut que :

- Pour les services IoT et data, l'interface radio 4G permet intrinsèquement des performances supérieures par rapport aux réseaux 2G/3G.
- Pour les services voix, bien que certains éléments techniques propres à la 4G seraient de nature à générer des écarts entre le niveau de couverture Voix sur LTE (VoLTE) et celui de la voix classique en 2G/3G, la technologie 4G et ses évolutions récentes, ainsi que des évolutions d'ingénierie réseau, permettent de mettre en œuvre plusieurs leviers (fonctions et mécanismes pour la plupart présents dès aujourd'hui sur les réseaux 4G) afin d'améliorer la couverture du service VoLTE et de contrebalancer les limitations identifiées par rapport à la 2G/3G.

Les analyses de la campagne de mesures terrain réalisées dans le cadre des enquêtes QoS de l'ARCEP 2025 montrent que, pour des terminaux compatibles VoLTE, moins de 0,1% des communications voix/SMS/data réussies sont réalisées en 2G et moins de 0,9% des communications voix/SMS/data réussies sont réalisées en 3G.

Au regard de ces éléments, il n'apparaît pas que l'arrêt des réseaux 2G puis 3G puisse se traduire par des variations substantielles du niveau de couverture du territoire par les réseaux mobiles. Ainsi, le comité d'experts techniques sur le mobile estime que les opérateurs ont les moyens de gérer l'extinction de la 2G puis de la 3G sans une régression de la couverture mobile pour les clients équipés de terminaux 4G/5G pour les services data et IoT, et compatibles VoLTE pour le service voix.

1 Introduction et présentation de la problématique

1.1 Problématique

L'arrêt progressif des réseaux mobiles 2G et 3G, déployés respectivement à partir des années 1990 et 2000, s'inscrit dans une stratégie mondiale visant à moderniser les infrastructures télécoms. En France, cette transition répond aux impératifs de sécurité, de performance énergétique et de connectivité, dans un contexte de transformation numérique accélérée.

Les principaux enjeux de cette transition sont décrits ci-dessous :

- **Renforcer la sécurité** : Les réseaux 2G et 3G ont été conçus dans un environnement technologique et sécuritaire très différent de celui d'aujourd'hui. Face à la sophistication croissante des cybermenaces, ces technologies ne garantissent plus un niveau de protection suffisant. Les réseaux 4G (LTE) et 5G, en revanche, intègrent des protocoles de sécurité bien plus avancés, conformes aux exigences modernes des utilisateurs et des entreprises.
- **Optimiser l'efficacité énergétique** : Malgré une baisse continue de leur utilisation (à titre d'illustration, la part du trafic data en 2G/3G est estimée à moins de 1% selon les opérateurs du Comité), les réseaux 2G et 3G consomment encore entre 21 % et 33 % de l'énergie totale des infrastructures mobiles, selon une étude du Comité d'experts mobile en 2023¹. Leur mise hors service permettra de réaffecter les ressources en fréquences qui leur sont consacrées vers des réseaux plus récents, offrant des performances accrues tout en réduisant leur empreinte énergétique.
- **Répondre aux besoins croissants en connectivité** : L'augmentation constante des usages numériques nécessite des infrastructures toujours plus performantes et une utilisation toujours plus efficace du spectre disponible. La migration vers des technologies modernes, comme la 4G et la 5G, est essentielle pour répondre à ces attentes, en matière de vitesse, de capacité et de fiabilité.
- **Répondre à l'obsolescence technologique 2G et 3G** : Après plus de 35 ans d'existence pour la 2G et 25 ans pour la 3G, le maintien des technologies 2G et 3G se heurte au risque d'obsolescence des équipements réseau et à la raréfaction des compétences des équipes techniques pour assurer le maintien en condition opérationnelle de ces systèmes. L'obsolescence de ces technologies touche à la fois les compétences techniques (il y aura progressivement de moins en moins d'experts pouvant intervenir en support en cas de dysfonctionnement) et la disponibilité d'équipements de remplacement en cas de panne matérielle (en particulier s'agissant des contrôleurs de stations de base, plateforme spécifique aux réseaux 2G et 3G).

Aujourd'hui la plupart du trafic data mobile est transporté en 4G/5G ; la part du trafic en 2G/3G est estimée à moins de 1% selon les experts du Comité et la majorité du trafic voix passe par la 4G². Les services voix, data et IoT encore actuellement desservis par la 2G et la 3G le seront dans le futur par la 4G et la 5G, par l'intermédiaire de l'ensemble des fréquences à disposition des opérateurs (y.c. potentiellement avec la fréquence 900MHz ainsi libérée et réutilisable). Les opérations de maintenance permettant une telle réutilisation des fréquences pourront être réalisées majoritairement via une mise à jour logicielle à distance et sans nécessité de changement matériel sur site.

¹ <https://www.arcep.fr/la-regulation/grands-dossiers-reseaux-mobiles/comite-experts-mobile/evaluation-impact-carbone-extinction-reseaux-mobiles-2g-3g.html>

² Le taux de la voix sur LTE (VoLTE) constaté à date en moyenne en France métropolitaine s'élève à plus de 70% (source : données Arcep).

Il est à noter que dans la présente étude, plusieurs éléments d'analyse sont spécifiques à la couverture des réseaux mobiles du territoire métropolitain. Toutefois, l'arrêt progressif des réseaux mobiles 2G et 3G est également prévu dans les territoires outre-mer, et certains opérateurs ont engagé l'extinction de ces deux technologies dans un calendrier identique à celui de la métropole (avec une particularité à La Réunion, où la technologie 2G d'Orange s'est arrêtée fin 2025). Les principes techniques de cette note restent pleinement valables en Outre-mer, même si certaines spécificités liées aux territoires et aux stratégies des opérateurs peuvent donc s'appliquer.

Problématiques posées :

- Dans un contexte d'une extinction planifiée de la 2G, quelles sont, le cas échéant, les différences de couverture de ces services entre cette technologie et la technologie 3G ? (Cf. Section 2)
- Comment évoluera la couverture de chacun des services voix, IoT et internet mobile suite à l'extinction des technologies 2G et 3G ? (Cf. Section 3).

Le comité d'experts techniques sur le mobile, installé par l'Arcep en octobre 2018, a initié des travaux techniques pour répondre aux problématiques ci-dessus. Le Comité rassemble des experts représentant les opérateurs de réseaux mobiles, des équipementiers réseau, ainsi que des participants issus du monde académique et de l'ANFR. Sa présidence est assurée par Nokia, et son secrétariat par les services de l'Arcep. La composition du comité est décrite en Annexe D. Destinée aux décideurs, aux associations professionnelles et plus généralement au grand public, la présente note constitue le livrable de ces travaux.

La note prend le parti de regarder la continuité de service avec plus spécifiquement la 4G, cette technologie étant déployée sur quasi 100% des sites, alors que la 5G n'est pas encore disponible nationalement.

Avant de se focaliser sur le cas national, un état des lieux comparatif au niveau européen et international est dressé en Annexe A. Il n'a pas permis de relever d'impact structurel sur la couverture des services mobiles à la suite de l'extinction des réseaux 2G/3G. Les quelques problèmes résiduels remontés sont liés majoritairement à des terminaux 2G/3G non compatibles voix sur 4G (VoLTE) ou quelques cas particuliers (ex. des utilisateurs se retrouvant en bordure de cellule). L'impact de l'arrêt des réseaux 2G/3G a été géré par un accompagnement des opérateurs (ex. remplacement de terminal, souscription d'abonnement 4G etc.) et des optimisations sur leurs réseaux.

1.2 Approche méthodologique employée

Pour répondre aux problématiques posées, une précision sur l'approche méthodologique suivie dans cette note s'impose au préalable.

Ce document a pris le parti de ne pas utiliser l'approche du bilan de liaison pour aborder les différences de couverture entre les différentes technologies 2G, 3G et 4G. Une telle méthode apparaît en effet comme trop théorique, car dépendante de paramètres pour lesquels il n'existe pas de consensus ou de valeur universelle.

Ces paramètres sont de deux types :

- Les paramètres liés aux performances des terminaux ou équipements de réseau, comme par exemple le facteur de bruit (ou NF, « Noise Figure ») du récepteur, le seuil minimum de réception (exprimé suivant des grandeurs physiques distinctes : E_c/N_0 en 2G, E_b/N_0 en 3G, SNR en 4G), les gains de traitement apportés par différents processus également spécifiques

à chaque technologie (gain de diversité spatiale ou temporelle, gain de « *soft-handover* »), etc. Suivant les hypothèses de performance retenues (largement dépendantes des implémentations et qualité d'équipements effectivement représentés sur le réseau), des écarts de plusieurs dB peuvent être observés ;

- Les paramètres d'installation et de configuration des sites radio, et plus précisément ceux relatifs à la chaîne antennaire tels que : la puissance de transmission, les pertes câble, le gain d'antenne, le mode de diversité en réception etc.

Pour un opérateur et une technologie donnée, différentes typologies de sites peuvent coexister sur le réseau, conduisant à des écarts significatifs de plusieurs dB sur les performances résultantes. Ces différences peuvent s'expliquer par certains facteurs tels que l'historique du réseau (une nouvelle référence d'antenne ou de module de réception n'est déployée que graduellement sur un réseau) ou le type de zone de déploiement (urbain, suburbain, rural, etc.)

Les écarts sur les valeurs et paramètres de fonctionnement réseau peuvent se compenser ou s'ajouter suivant les hypothèses retenues, ce qui conduit à des écarts significatifs sur le bilan global pouvant aller jusqu'à 5 voire 10dB (cf. voir tableau ci-dessous). Compte-tenu de cette variabilité et la difficulté de dériver des sites typiques représentatifs sur lesquels une telle analyse pourrait être faite, il n'apparaît donc pas pertinent de tirer une conclusion directe et globale à l'échelle nationale sur les différences de couverture entre technologies, au travers d'un exercice de bilan de liaison générique.

A titre d'illustration, le tableau ci-dessous donne les écarts de couverture théorique (en mètres) pour des différences de 5dB et 10dB dans un bilan de liaison de référence en bande 900MHz, et pour deux environnements différents (« rural ouvert » et « suburbain »). Le modèle de propagation utilisé est le modèle Hata (voir ETSI Technical Report 103 « Radio network planning aspects »³). Ce tableau montre que des variations de 5dB et 10dB sur un bilan de liaison théorique peut conduire à des écarts de plusieurs centaines de mètres sur l'estimation de la zone couverte, écarts qui deviennent comparables aux distances typiques entre deux sites d'un même opérateur.

Tableau 1 – Impact de l'écart « *Pathloss* » en termes d'écart de couverture théorique à la fréquence 900 MHz

Ecart Pathloss (dB)	Ecart en distance pour un Environnement rural ouvert (m)	Ecart en distance pour un environnement suburbain (m)
5	835	247
10	1993	589

Plutôt qu'une méthode basée sur la comparaison de bilan de liaison théorique, nous proposons une approche décrivant les différents outils et leviers apportés par la 4G, les fréquences et les terminaux, permettant d'apprécier leurs contributions sur la couverture des services voix et IoT.

Certains leviers sont non spécifiques à la technologie et s'appliquent donc à la 4G et à la 5G. Mais pour le service voix, la note se concentre sur les apports de la Voix sur LTE (VoLTE) qui est disponible nationalement tandis que la Voix sur 5G (VoNR) n'en est qu'à ses débuts.

³ https://www.etsi.org/deliver/etsi_etr/100_199/103/01_60/etr_103e01p.pdf

2 Considérations sur la différence de couverture entre 2G et 3G

Avant la transition complète vers la 4G (réseau 100% 4G et terminaux compatibles VoLTE) puis la 5G, une extinction progressive de la 2G puis de la 3G est prévue. Mais y a-t-il une différence de couverture entre les deux technologies 2G et 3G ?

Vision nationale (métropole)

D'un point de vue couverture nationale (métropole), la 2G est nettement en retrait par rapport à la 3G et ceci est visible dans le tableau suivant, qui montre le nombre de sites par technologie.

Tableau 2 - Vision du parc de sites en service par technologie, tous opérateurs confondus (source : ANFR « Observatoire du déploiement des réseaux mobile » janvier 2026⁴)

	2G 900MHz	3G 900 MHz	4G 700 MHz	4G 800 MHz	4G Toutes bandes
Nb sites (sans mutualisation)	56325	94205	92909	91343	131039
Nb sites (avec mutualisation)⁵	36014	50827	51786	52886	67728

Une des raisons est qu'il a été décidé au lancement du « new deal mobile » de 2018 que les sites du dispositif de couverture ciblée, mutualisés à 4 opérateurs ne seraient pas équipés de la technologie la plus ancienne, c'est-à-dire la 2G. La majeure partie des nouveaux sites des opérateurs n'est pas équipée non plus de la 2G depuis quelques années.

C'est la raison pour laquelle les opérateurs français ont choisi de commencer l'extinction des réseaux 2G/3G par l'arrêt de la 2G.

Vision locale

D'une manière générale, le réseau 2G n'est plus destiné qu'aux clients équipés de terminaux seulement 2G (téléphones et terminaux IoT). Les terminaux 3G et VoLTE n'utilisent plus la 2G que de façon marginale car les réglages de mobilité mis en place dans le réseau font que la 2G n'est utilisée qu'en dernier recours :

- Les procédures de mobilité⁶ en cours d'appel ou de session data depuis la 3G vers la 2G sont globalement désactivées sur les réseaux

⁴ Voir

https://www.anfr.fr/fileadmin/mediatheque/documents/Observatoire/0126/Observatoire_mobile_Metropole_1er_janv_2026_transmis_SCR1.pdf

⁵ Certains des sites déployés sont mutualisés entre opérateurs. La ligne « avec mutualisation » donne le nombre de points ou sites géographiques où la technologie est déployée et en service dans la fréquence donnée, tous opérateurs confondus.

⁶ Par procédure de mobilité on entend le passage d'un terminal d'un site radio à une autre ou d'une technologie radio à une autre.

- Pour les terminaux inactifs (c'est à dire, qui ne sont ni en cours d'appel voix, ni en cours de session data), la 2G est toujours positionnée en dernière priorité.

De fait, la part effective de trafic voix, SMS ou data supportée aujourd'hui en 2G est aujourd'hui très faible et majoritairement issue de terminaux uniquement compatibles avec la 2G. Ceci est visible dans les analyses de la campagne de mesures terrains réalisées dans le cadre des enquêtes QoS de l'ARCEP 2025 qui montrent que, pour des terminaux compatibles VoLTE, moins de 0,1% des communications réussies voix/SMS/data sont réalisées en 2G (cf. Annexe B).

Si on se concentre sur les situations avec des fortes contraintes radio (ex. bordure de cellule), la part de la 2G reste très faible (moins de 15%⁷ parmi les mesures voix/SMS et moins de 8% pour la data, Cf. Annexe B) confirmant la sollicitation marginale de la 2G comme expliqué.

De plus ces mesures (avec un terminal VoLTE) permettent de montrer que dans les cas où le terminal VoLTE affiche un logo 2G (ce qui correspond à une tentative de connexion en dernier recours en 2G) le service est le plus souvent en échec, c'est-à-dire que le mobile se trouve en réalité dans des conditions radio trop défavorables et n'est pas en mesure d'envoyer et recevoir des données au réseau (plus de 98% des cas toutes zones, cf. Annexe B) ou de faire des appels voix/SMS en 2G (plus de 70% des cas toutes zones, cf. Annexe B). En effet, le mobile arrive à s'enregistrer au réseau dans ces conditions radio extrêmement dégradées car les messages de signalisation sont émis avec un codage canal plus robuste que les canaux de trafic data/voix, et le mobile peut donc afficher un logo mais sans réel service ensuite. Le paramétrage côté réseau est très sensible et peut donc expliquer ces occurrences qui sont inhérentes à toutes technologies radio cellulaires et dépendent par ailleurs de la sensibilité de chaque terminal.

On peut noter le cas particulier de certaines zones situées à la frontière⁸ où les canaux 2G de la bande 900MHz ont été partagés entre opérateurs de part et d'autre de la frontière. En raison de cette forte contrainte de disponibilité fréquentielle, la 3G dans la bande 900MHz n'a pas toujours été déployée sur ces zones, mais parfois en bande 2100MHz. Ainsi, sur ces zones situées à la frontière (autour de certains sites dont l'un des secteurs est orienté vers les pays voisins) la couverture 3G pourra être en retrait de la couverture 2G de manière localisée pour les terminaux 2G/3G. On rappelle que la bande 2100MHz a une portée plus réduite que la bande 900MHz et qu'une ingénierie spécifique est mise en place par les opérateurs pour compenser en partie cet effet.

En outre, les mesures de la campagne ARCEP montrent que, pour un terminal VoLTE, moins de 0,9% des communications voix/SMS/data réalisées avec succès le sont en 3G (voir Annexe B).

En conclusion :

Globalement, sur le territoire métropolitain, la couverture et les services en 2G sont très en retrait par rapport aux technologies 3G et 4G. L'usage de la 2G pour les services voix et data est devenu très marginal, essentiellement attribuable aux terminaux « 2G-only ». Ainsi à part des cas spécifiques (notamment certaines zones situées à la frontière) où une ingénierie spécifique est mise en place par les opérateurs pour y remédier, il n'apparaît pas que l'arrêt des réseaux 2G puisse se traduire par des variations substantielles du niveau global de couverture du territoire par les réseaux mobiles.

⁷ Ces pourcentages correspondent au rapport des mesures (voix, sms, data) en succès 2G/3G sur l'ensemble des mesures en succès (Cf. Annexe B).

⁸ Plus notablement sur les frontières nord-est (zones situées à moins d'une dizaine de km de la frontière).

3 Considérations sur les leviers d'optimisation de la couverture en 4G

Il est d'abord à noter que parfois les clients mobiles se connectent encore de façon épisodique en 3G malgré la présence de la 4G, en particulier pour le service voix. Cela s'explique en partie par le paramétrage actuel qui profite de la disponibilité de la couverture 3G sur le territoire. Pour préparer l'arrêt de la 3G d'ici fin 2028/2029, le paramétrage sera revu pour garantir la continuité de service sur la 4G : tilt des antennes⁹, puissance (répartition entre puissance sur les canaux de signalisation pour la couverture et les canaux de data pour la capacité), niveau des seuils de re-sélection et « *handover* » (c'est à dire, mobilité inter-cellules en cours de session).

En termes de couverture :

- Les interfaces radio des systèmes 2G, 3G et 4G reposent sur des principes technologiques très différents. Pour cette raison, il n'est pas possible d'estimer la couverture comparée de ces différents systèmes au travers d'un simple comparaison des valeurs de puissances d'émission ou des seuils de sensibilité mis en œuvre dans chaque système.
- Par ailleurs, d'autres paramètres de fonctionnement spécifiques à chaque technologie vont avoir un impact significatif sur la couverture, en particulier le rapport signal sur interférence, qui est déterminant dans la sensibilité du récepteur.
- Il est à noter que le sens montant, du mobile vers la station de base, est le sens limitant pour la simple raison que la puissance transmise par le mobile est bien inférieure à celle émise par la station de base. Ainsi, la suite de cette note mentionne un certain nombre d'améliorations spécifiques au sens montant, mais qui visent à renforcer la couverture globale du service.

Pour répondre à la problématique posée (c-à-d couverture en 4G vs 2G/3G), il faut distinguer chaque type de service :

- En data, de faibles débits sont accessibles à une distance plus lointaine de l'antenne dans les deux directions du fait que les débits 4G sont bien plus importants qu'en 2G/3G et que ce soit en descendant ou en montant pour des conditions radio équivalentes.
En IoT, les technologies LTE-M et NB-IOT sur la 4G permettent théoriquement d'étendre de 20dB la couverture du service en comparaison de la 4G classique (20dB correspond typiquement à l'atténuation du signal radio par un mur extérieur de construction). De fait il n'est pas nécessaire de faire un bilan de liaison (dont la pertinence n'est pas avérée pour ce type d'analyse comme cela est détaillé en section 1.2) pour en conclure que l'ordre de grandeur du gain en couverture de cette technologie donne une couverture plus grande pour l'IOT en 4G (via LTE-M et NB-IOT) par rapport à l'IOT en 2G et 3G.
- Pour les utilisateurs qui bénéficiaient d'une offre IOT avec le service voix en 2G/3G, il existe des terminaux 4G spécifiques appelés « catégorie 1 ou 1 bis » (terminaux fonctionnant sur la 4G classique) pour une utilisation simultanée de l'IoT et de la voix. Ces terminaux « catégories 1 et 1bis » ont été définis dans la norme 3GPP pour se rapprocher le plus possible des gains apportés par la technologie LTE-M (en termes de consommation énergétique ou coût de fabrication) et avoir le service voix, voir tableau ci-dessous :

⁹ Le tilt d'une antenne fait référence à l'angle que fait dans le plan vertical la direction du maximum de rayonnement de l'antenne par rapport à l'horizontale.

Tableau 3 – comparaison des principales caractéristiques des catégories IoT

	NB1	Cat M1	Cat 1bis	Cat 1
Technologie	NB-IoT	LTE-M	LTE	LTE
Largeur de bande (max)	200KHz	1,4MHz	20MHz	20MHz
Mode de réception	Single RX	Single RX	Single RX	Dual RX
Modulation (sens descendant) DL (max)	QPSK	16QAM	64QAM	64QAM
Modulation (sens montant) UL (max)	QPSK	16QAM	16QAM	16QAM
Débit pic (sens descendant) DL (max)	~80Kb/s	1Mb/s	10Mb/s	10Mb/s
Débit pic (sens montant) UL (max)	~80Kb/s	1Mb/s	5Mb/s	5Mb/s

- Pour le service voix, la couverture est fixée par des seuils définis par les opérateurs visant à sécuriser les appels voix avec une qualité de service adaptée. Ces seuils résultent de choix d'ingénierie de chaque opérateur et dépendent des technologies utilisées.

En conclusion, il n'apparaît pas de problématique de couverture 2G/3G vs 4G/5G sur la data et l'IOT, et par conséquent le reste de la note se focalise sur le service voix.

L'approche retenue est détaillée dans les sections suivantes :

- En premier lieu, la note liste les éléments techniques qui peuvent être de nature à générer des écarts entre le niveau de couverture VoLTE et la voix classique en 2G et 3G (Cf. **Section 3.1**) ;
- Dans un second temps, les leviers (c'est-à-dire les fonctions et les mécanismes) apportés par la norme, l'évolution de l'ingénierie du réseau et le paramétrage, permettant d'améliorer la qualité du service VoLTE ainsi que sa couverture, sont détaillés. (Cf. **Section 3.2**) ;
- Enfin, la note fournit une estimation du gain apporté par chaque levier et une appréciation de la maturité de son implémentation à horizon de l'arrêt de la 3G (Cf. **Section 3.3**).

3.1 Comparaison des éléments techniques impactant la couverture voix en 2G/3G vs 4G

Deux propriétés de la 2G/3G sont mis en avant ci-après : la puissance d'émission de chaque technologie et le mode circuit (en 2G/3G) versus le mode paquet (en 4G).

3.1.1 Puissance de transmission et sensibilité en réception :

Pour la voie montante, la puissance de transmission est plus faible pour un terminal émettant en 4G (23dBm) qu'en 2G (33dBm pour les terminaux de classe 4 et 29dBm pour les terminaux de classe 5).

En revanche, la puissance de transmission en 3G du terminal est presque identique à la 4G : 24dBm pour la classe 2.

Pour la voie descendante, la puissance de transmission radio rayonnée associée au service voix (toutes choses égales par ailleurs) est plus faible en 4G en comparaison de la 2G et 3G - voir ci-dessous un exemple de calcul pour une station de base fictive, compatible 2G, 3G et 4G, et utilisant les paramètres ci-dessous. La différence vient de la nature de la technologie d'accès radio :

- La 2G est une technologie de type TDMA : chaque instant d'émission bénéficie de toute la puissance de transmission du module radio sur 200kHz.
- La 3G, technologie de type CDMA, est sur ce point très proche de la 2G, dans la mesure où la « bande de fréquence utile » est quasiment identique à la largeur du canal (« quasiment », car en 3G on considère que la puissance rayonnée est en fait répartie sur environ 80% de la largeur du canal, soit 3,84MHz de bande pour la 3G). Par ailleurs, la 3G en tant que système à base d'étalement de spectre (CDMA) est très sensible à la charge impactant de ce fait la couverture des services.
- La 4G est une technologie de type OFDM : la puissance rayonnée associée à un service bas débit tel que la voix est proportionnelle à son encombrement spectral par rapport à la totalité de la bande. Ainsi, pour un canal de 10MHz utilisé pour la voie descendante, un appel voix utilise seulement 3 PRB (*Physical Resource Block*), soit 540 KHz de spectre.

Tableau 4 - Puissance rayonnée pour la voix en sens descendant par technologie

	2G	3G	4G	Commentaires
A - Puissance RF avant antenne (W)	40	40	2x40	Hypothèse de diversité de transmission en 4G
B - Bande totale (MHz)	0,2	5	10	Soit 50 PRB en 4G
C - Bande utile (MHz)	0,2	3,84	0,54	Hypothèse de 3 PRB DL en 4G
D - Gain d'antenne (dBi)	15	15	15	Hypothèse de bandes similaires en 2G, 3G et 4G
Puissance rayonnée pour la voix en DL (dBm)	61,0	59,9	51,8	$= 30 + 10.\log(A) + 10.\log(C/B) + D^{10}$

Attention, ces différentes valeurs de puissances rayonnées ne peuvent pas se traduire directement en amélioration ou dégradation de la couverture de service en fonction des technologies. En effet, le niveau de signal en réception nécessaire à un bon décodage des trames de voix est très différent d'une technologie à l'autre : la 2G en particulier nécessite un seuil plus exigeant.

En outre le niveau de bruit du récepteur, qui vient réduire le rapport signal sur bruit dépend de la bande passante utilisée par la technologie.

La portée d'une communication en 2G, 3G ou 4G est donc difficile à comparer simplement. La plus faible puissance mise en œuvre en 4G est compensée par une sensibilité améliorée des récepteurs et une meilleure performance de la technologie 4G OFDM en comparaison des technologies radio des générations précédentes.

¹⁰ La « puissance rayonnée pour la voix en DL » est le produit du gain d'antenne (en linéaire) et de la puissance sur la totalité de la bande avant antenne (en W), ramenée à l'occupation fréquentielle d'un canal voix (d'où le rapport C/B). La formule est exprimée sous la forme d'une somme, en raison de la conversion d'unité de W en dBm.

3.1.2 Paquetisation de la voix sur la radio :

En 3G le débit de la couche physique pour le transport de la voix est fixe à 30kbps (car utilisant un code d'étalement CDMA SF128), l'interface radio fonctionne donc en mode circuit, c'est-à-dire avec un débit et une latence fixe. Le codage de la voix avec l'AMR est adaptatif, ce qui signifie que la voix est codée en fonction de la robustesse du lien radio : il peut varier de 12.65kbps (avec dans ce cas une redondance supérieure à 2 – il existe des débits plus élevés mais ils n'ont pas été généralisés) à un débit de 6.6 kbps (avec dans ce cas une redondance de 5 et une qualité de voix dégradée).

En 4G, il est possible d'utiliser un codec AMR-WB 23.85kbps (fixe) offrant une qualité de voix bien supérieure à celle de la 3G. L'interface radio 4G fonctionnant en mode paquet, le taux de redondance (i.e. augmentation du débit utile par l'utilisation de codes correcteurs d'erreur de transmission) est lié aux mécanismes d'adaptation de lien. Dans les conditions radio les plus dégradées, le débit physique est obtenu avec un codage MCS5 avec 4 émissions successives du même message (mécanisme de « *TTI bundling* » expliqué plus loin) et une utilisation d'au moins 3 PRB sur 4 segments successifs toutes les 20ms, ce qui donne un débit sur la couche physique de 179kbps.

Le passage d'une interface radio en mode circuit (3G) à un mode paquet (4G) a une incidence importante sur le taux de perte admissible sur la radio, et la qualité du service voix perçue par l'utilisateur :

- En 3G, le taux de perte de trame doit être faible (FER – ou « *Frame Erasure Rate* » – est d'environ 1%) car les trames non reçues sont perdues, ce qui a un effet direct sur la qualité perçue.
- En revanche, en 4G, les trames sont décomposées en blocs avec un mécanisme de retransmission (jusqu'à 5 retransmissions avec le mécanisme « HARQ » expliqué plus loin), le seuil de réception peut donc être largement relâché (avec un BLER – « *Block Error Rate* » – d'environ 10%), ce qui induit une meilleure sensibilité de réception.

La 4G nécessite donc des débits généralement supérieurs à la 3G pour le support de la voix, mais permet d'obtenir une bien meilleure sensibilité en limite de couverture ou lorsque les conditions de propagation radio sont dégradées.

3.1.3 Impact du passage à la voix sur IP :

Par ailleurs, les protocoles voix sur IP (VoIP) mis en œuvre en 4G demandent plus de débit que les services voix 2G ou 3G (i.e. voix en mode circuit) en raison de la taille des entêtes de la pile protocolaire RTP/UDP/IP ajoutés aux données de la trame voix. Ces entêtes ont un volume important de 40 octets (pour une session VoLTE en IPv4) ou 60 octets (en IPv6) au regard de la taille des trames voix transportées (32 octets, pour un codec voix classique (AMR) en mode WB à 12,65kb/s).

L'augmentation du débit requis pour le transport de la voix en VoIP est un facteur limitant pour la disponibilité du service en bordure de couverture ou dans les zones moins bien couvertes (notamment en indoor), mais plusieurs fonctionnalités vont permettre de largement compenser ce défaut (cf. paragraphes suivants).

3.2 Éléments d'amélioration de la couverture pour la VoLTE

3.2.1 Éléments plus généraux relatifs à la transformation du réseau :

Cette sous-section présente un certain nombre d'éléments généraux (non spécifique à la VoLTE) relatifs à la transformation du réseau et qui concourent *in fine* à améliorer la couverture en VoLTE. Ces

éléments d'amélioration sont relatifs à la partie site radio, à la partie réseau et à la partie technologique :

3.2.1.1 Eléments relatifs à la partie site radio :

- **Ingénierie du site radio et seuils de couverture :**

L'ingénierie moderne des réseaux comporte de plus en plus d'éléments radio près de l'antenne améliorant ainsi la couverture, et ce au fur et à mesure des opérations réalisées sur les réseaux, nouveaux déploiements et rénovation.

La couverture de chaque technologie est définie par des seuils qui sont fixés par les opérateurs et mesurés par les mobiles à partir des voies balises¹¹ de chaque technologie, donc, même si le lien limitant est le lien montant, la mesure est effectuée sur le lien descendant à partir de la puissance du CPICH¹² en 3G et la puissance des RS¹³ en 4G mesurées par le mobile là où il se trouve. Ces seuils définissent la couverture en ce sens qu'ils définissent au niveau du réseau le comportement que doit adopter le mobile (par exemple les mécanismes de changement de cellule ou le changement de technologie de la 4G vers la 3G via le SR VCC¹⁴). Pour fixer ces seuils, les opérateurs utilisent des marges qui dépendent de leur réseau (ces seuils sont globaux et ne sont pas ajustés site à site) et ils dépendent des possibilités offertes par chaque technologie.

Ainsi, les voies balises sont émises de manière très différente entre 3G et 4G. En 3G l'opérateur peut compenser dans la puissance émise du CPICH les pertes feeders (pertes dans les « câbles » qui séparent l'amplificateurs de puissance et l'antenne) sachant que sur le lien montant il peut utiliser un équipement TMA (Tower Mounted Amplifier) qui permet de ramener la sensibilité du système au connecteur de l'antenne.

L'évolution de l'architecture de la station de base a permis de séparer les fonctions de transmission radio (RRU – ou Remote Radio Unit) et de traitement en bande base (BBU – ou BaseBand Unit) jadis intégrés au sein d'un même équipement (station de base intégrée). Ainsi, en 4G en positionnant les amplificateurs de puissance (RRU) proches du connecteur d'antenne, l'opérateur s'affranchit des pertes de raccordement de ces équipements (également appelées « pertes feeder ») et augmente ainsi la couverture vue par le mobile (du fait des seuils de mobilité). (Cf. voir Figure ci-dessous)

¹¹ Contrairement à la voie trafic qui transmet les données utilisateur, la voie balise fait référence à un signal de contrôle émis en permanence par la station de base et transmettant des messages de synchronisation. Le terminal écoute également les voies balises pour un éventuel changement de cellule.

¹² CPICH (Commun Pilot Channel) fait référence à un type de signal de contrôle émis par la station de base en 3G sur sa voie balise permettant la synchronisation initiale du terminal et l'estimation de l'état du canal avant la transmission.

¹³ RS (Reference Signal) fait référence à un ensemble de signaux de contrôle prédéfinis au sein de la grille fréquence-temps émis par la station de base 4G pour supporter le terminal utilisateur dans la démodulation des autres canaux.

¹⁴ SRVCC (Single Radio Voice Call Continuity) est un mécanisme permettant à un terminal mobile de passer de la voix en 4G (Volte) à cause de baisse/absence de signal LTE, à la voix 2G/3G sans interruption de l'appel.

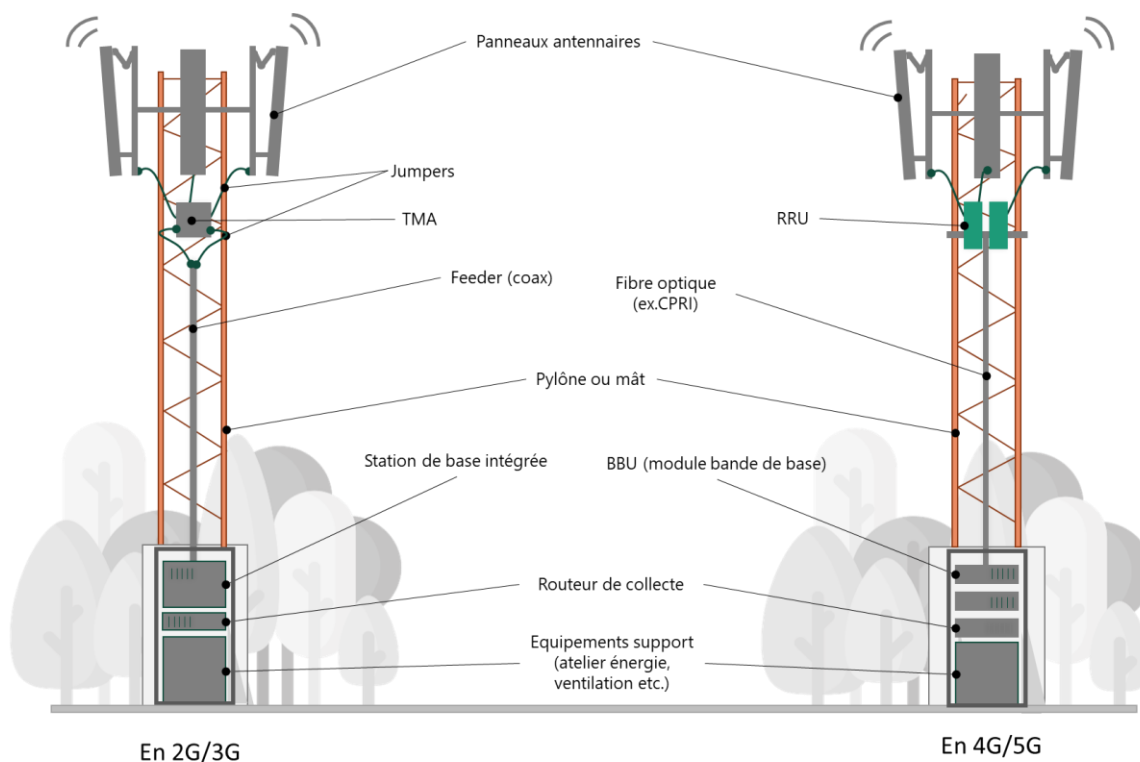


Figure I – Illustration de l'évolution de l'architecture du site en passant de 2G/3G à 4G/5G

NOTE – La figure représente le cas d'un site 4G/5G avec la 5G déployée avec des antennes passives (non AAS). La figure illustre une vue logique non représentative de la taille réelle des équipements.

- **La diversité de réception au niveau de la station de base (4 Rx Div) :**

Passer de 2 à 4 connecteurs d'antenne en réception sur les bandes basses, comme illustré dans la figure ci-dessous, permet un gain théorique maximal de 3dB mesuré en LTE, permettant d'améliorer le signal dans le sens montant et ainsi la couverture de la cellule. Cette opération peut être réalisée au fil des mises à niveau des réseaux.

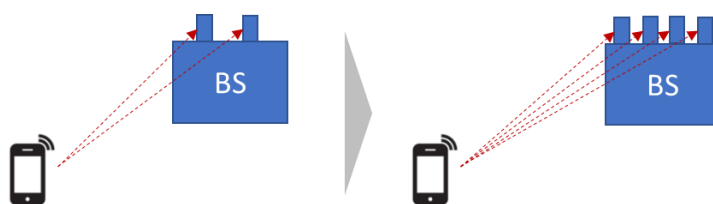


Figure II - Illustration de la Diversité de réception en sens montant (4Rx DIV)

Ces équipements constituent le standard actuel. Le renouvellement des équipements en fin de vie va donc naturellement permettre d'améliorer la couverture 4G d'ici la date d'extinction de la 3G.

3.2.1.2 Eléments relatifs à l'infrastructure réseau :

- **La densification et renforcement de la couverture du réseau :**

Les programmes de densification permettent d'assurer une meilleure continuité du service voix en VoLTE. Ceci est renforcé par les obligations réglementaires de déploiement en THD mobile issues des attributions de fréquences¹⁵.

- **Fréquence 700 MHz ou 800MHz vs 900MHz :**

Le fait que les fréquences 700 MHz et 800MHz soient plus basses que la fréquence 900 MHz permet un gain de couverture en faveur des 700 MHz/800MHz. Le tableau ci-dessous donne une estimation du gain apporté en fonction du type de zone pour ces deux fréquences, selon le modèle de propagation Hata (cf. ETSI TR 03.30).

Tableau 5 – Estimation des gains en couverture 700MHz/800MHz vs 900MHz par zone

Zone	Gain en couverture 700MHz vs 900MHz	Gain en couverture 800MHz vs 900MHz
Urbaine	+2,9 dB	+1,4 dB
Suburbaine	+2,2 dB	+1 dB
Rurale	+1,8 dB	+0,9 dB

3.2.2 Éléments spécifiques à la technologie d'accès radio :

Cette sous-section présente un certain nombre de fonctions et mécanismes, proposés dans la norme 3GPP, permettant d'améliorer la couverture et plus généralement la qualité du service VoLTE.

3.2.2.1 RoHC (« Robust Header Compression »)

RoHC est un mécanisme qui permet de réduire considérablement les entêtes des protocoles VoIP utilisés pour le transport des trames voix de la VoLTE. RoHC permet ainsi de ramener le volume moyen de ces entêtes de 40 à 3 ou 4 octets. A titre d'exemple, un flux voix avec le codec NB-AMR 12,2 kbps nécessite 24kbps au niveau de la couche PDCP sans la fonction RoHC et seulement 14,4 kbps avec RoHC.

Il est à noter que dans le document GSMA IR.92¹⁶ (IMS Profile for Voice and SMS), le support fonctionnel de RoHC est obligatoire à la fois côté terminal mais également côté réseau.

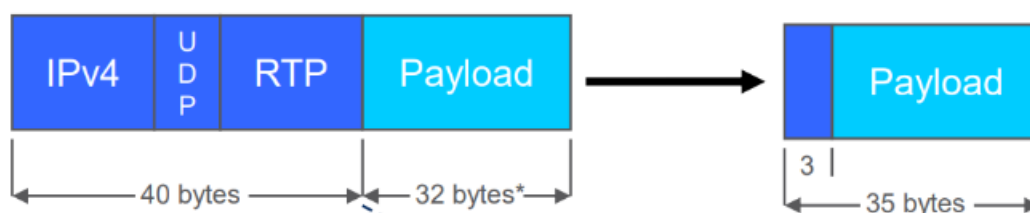


Figure III – Exemple d'illustration de l'impact du RoHC pour le codec NB-AMR 12,2 Kbps

¹⁵ <https://www.arcep.fr/la-regulation/grands-dossiers-reseaux-mobiles/la-couverture-mobile-en-metropole/les-obligations-de-deploiements-des-operateurs.html>

¹⁶ <https://www.gsma.com/newsroom/all-documents/ir-92-ims-profile-for-voice-and-sms-v-13-0/>

3.2.2.2 Paquetisation de trames de voix

Les codec voix mobiles émettent une trame voix toutes les 20ms. Pour diminuer le sur-débit lié aux entêtes de la pile protocolaire RTP/UDP/IP, il est possible de grouper à l'émission deux trames de voix toutes les 40 ms.

3.2.2.3 Répétitions HARQ

Le mécanisme HARQ (« *Hybrid Automatic Repeat Request* ») est un mécanisme intégré à la couche MAC de l'interface radio, permettant une répétition rapide des paquets. Ce mécanisme n'est pas spécifique à la VoLTE, et peut être mis en œuvre en 4G pour tous les services data supportés par le réseau. En limite de couverture, ou mauvaise qualité de réception, les trames voix peuvent être perdues lors de la transmission sur l'interface radio (i.e. non reçues, ou reçues avec un taux d'erreur allant au-delà des capacités des codes correcteurs). Le mécanisme HARQ permet de répéter très rapidement ces paquets perdus, sans impact sur la latence ou la qualité du service voix de bout en bout.

3.2.2.4 TTI Bundling

Le mécanisme de « *TTI Bundling* » permet d'améliorer la qualité de transmission montante (du terminal vers la station de base). Ce sens de transmission étant le plus limitant, ce mécanisme permet donc d'améliorer la couverture du service VoLTE.

Le principe du « *TTI Bundling* », comme illustré ci-dessous, est d'améliorer l'énergie transmise par bit d'information en répartissant sur plusieurs occurrences, une trame habituellement transmise sur un seul instant de transmission.

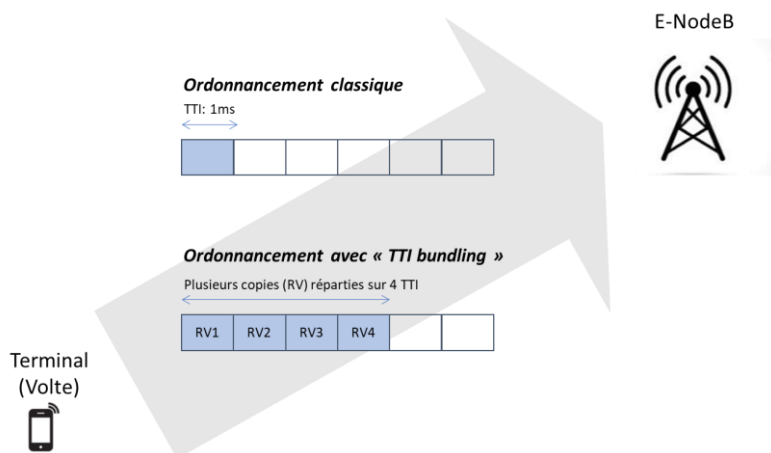


Figure IV – Illustration du mécanisme « *TTI Bundling* » dans le sens montant

3.2.2.5 Adaptation dynamique de codec

Ce mécanisme s'applique, par exemple, lorsque la station de base détecte des conditions radio dégradées (par exemple, sous la forme d'une diminution du SINR, ou de l'augmentation du nombre de paquets perdus). Il peut également être mis en œuvre lorsque le terminal transmet à pleine puissance, ce qui signifie qu'il est en limite de couverture radio.

Dans ces conditions, la station de base a la possibilité d'adapter le codec voix utilisé par le terminal pour la voie montante, de manière à réduire le débit utile et améliorer la qualité de la transmission.

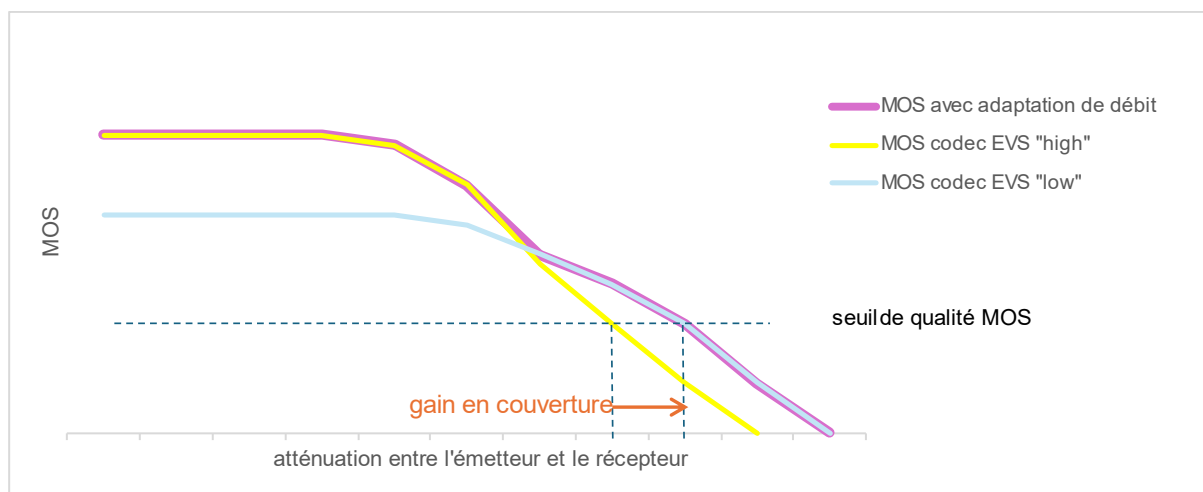


Figure V – Illustration de l'adaptation du codec voix en fonction des conditions radio

NOTE – Des mécanismes d'adaptation comparables existent en 4G dans la famille EVS.

Un même codec avec un débit plus important permet d'améliorer la qualité audio mais dégrade la couverture (c'est à dire la distance/atténuation maximale entre l'émetteur et le récepteur). L'adaptation dynamique du débit du codec permet un gain de couverture en optimisant la qualité vocale.

3.2.2.6 "Frequency Selective scheduling" & "UL Frequency Hopping"

Sur le lien descendant, le « *Frequency Selective Scheduling* » permet à la station de base d'affecter à un mobile les ressources fréquentielles (ou PRB – « *Physical Resource Block* ») en fonction de leur qualité de réception, cette technique est particulièrement adaptée au service voix du fait de la faible quantité de ressources allouées par utilisateur.

Sur le lien montant on utilise des techniques de saut de fréquences (« *Frequency Hopping* »). A chaque instant de transmission (ou TTI) la ressource allouée à un utilisateur passe de façon symétrique du bas au haut de la bande de fréquences pour éviter de concentrer tous les appels voix sur les mêmes ressources¹⁷. Ainsi, les PRB alloués sont répartis sur toute la bande via une décomposition en sous bandes comme illustré dans le graphique ci-dessous :

¹⁷ D'autres variantes de techniques de saut de fréquences sont également prévues par la norme (ex. se référer à ETSI TS 36.211).

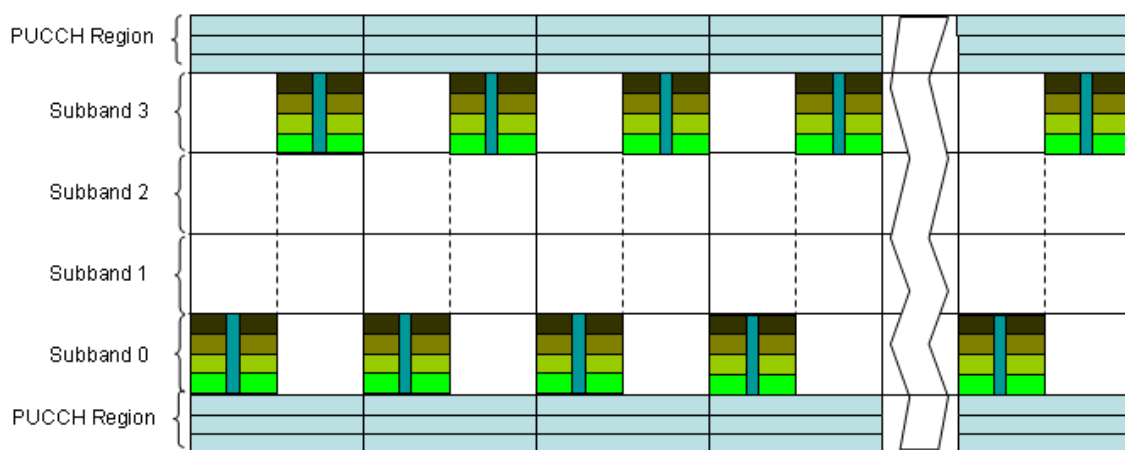


Figure VI – Illustration de la technique de saut de fréquence pour le lien montant (Graphique repris de : [4G | ShareTechnote](#))

3.2.2.7 Codec voix EVS-CAM :

Le mode EVS-CAM (« *Channel Aware Mode* ») est un mode particulier de la famille de codecs EVS (« *Enhanced Voice Service* »), permettant une meilleure robustesse en environnement dégradé (par exemple en limite de couverture ou mauvaises conditions radio). Ce mode est basé sur une technique d’entrelacement des trames voix qui permet une régénération partielle des trames voix en cas de perte d’un paquet sur l’interface radio.

Il est à noter que ce mode n’est à ce jour pas supporté largement par les terminaux du marché.

3.3 Synthèse des leviers

L’ensemble des leviers permettent d’améliorer la couverture et plus généralement la qualité du service VoLTE. Il est à noter que les appréciations du gain de chaque levier restent estimatives (l’estimation est présentée sous forme de fourchette de gain entre la valeur la plus optimiste et la plus conservatrice). Il est à noter que les gains apportés par ces différents leviers ne sont pas tous cumulables (par exemple, « l’adaptation de codec en UL » et le « codec EVS-CAM » sont mutuellement exclusifs).

NOTE – Les gains indiqués dans cette synthèse ne peuvent pas tous être agrégés pour en dériver un bilan.

Tableau 6 – Synthèse des leviers, de leur gain et la maturité de leur implémentation

Levier ¹⁸	Gain du levier (estimation)	Maturité du levier et appréciation de son implémentation (terminal et réseau) à horizon des dates de fermeture 3G telles que annoncées (6)
Leviers plus généraux relatifs à la transformation du réseau		
Ingénierie du site et seuils de couverture (3)	2 dB	Déjà à disposition des opérateurs

¹⁸ D’autres leviers non cités ici contribuent par ailleurs à compléter la couverture voix des réseaux mobiles à l’aune de l’extinction des technologies 2G/3G dont notamment la technologie Voix sur Wi-Fi (VoWiFi), déjà disponible, permettant d’améliorer la couverture en indoor pour les terminaux compatibles Voix sur IMS (VoIMS) et qui est aujourd’hui massivement supportée par les terminaux et les réseaux des opérateurs mobiles.

Diversité 4Rx DIV (3) (4)	3 dB	Déjà à disposition des opérateurs
Densification du réseau (4)		Disponible à moyen terme (5)
Fréquence 700MHz vs 900MHz	2,2 à 2,9 dB	Déjà à disposition des opérateurs
Leviers plus spécifiques à la technologie (« RAN software feature »)		
RoHC (3)	2,5 dB	Déjà activé
Boucle HARQ (3)		Déjà activé
TTI Bundling (3)	1,1 dB à 4 dB	Déjà activé
Paquetisation de trames voix	<0,5 dB	Déjà activé
Adaptation de codec en UL (1) (3)	1 à 2dB	Disponible à moyen terme
Codec EVS-CAM (2)		Disponible à long terme
UL Frequency Selective scheduling	1 à 2dB	Disponible à moyen terme
(1) La 3G comporte également des mécanismes d'adaptation de codec, en particulier au travers de modes WB-AMR. Cependant, les modes proposés sont moins nombreux que pour la famille de codecs EVS. En 2G, l'adaptation de codec WB-AMR a rarement été mise en œuvre sur les réseaux en raison du faible support par les terminaux. (2) Les codec EVS (y.c. EVS-CAM) n'ont pas été développés en 2G et en 3G par les fournisseurs de mobile et de réseau. Contrairement aux autres leviers, c'est un levier qui est en cours d'évaluation, mais susceptible de dégrader le MOS si généralisé par rapport au Codec EVS fixe. La qualité vocale restera malgré tout meilleure que celle constatée en 2G/3G. (3) Ces leviers sont spécifiques à la 4G. (4) Ce levier est uniquement spécifique à chaque réseau opérateur. (5) Les opérateurs déploient de nouveaux sites de façon continue. (6) Moyen terme correspond au plus tard à l'échéance de fermeture des réseaux 3G.		

Conclusion de l'étude

La présente analyse s'est attachée à identifier les impacts potentiels de l'extinction des technologies 2G et 3G sur la couverture des réseaux mobiles, pour les services voix, IoT et data / internet mobile.

Plusieurs éléments techniques ont été pris en compte, et notamment les mesures terrain effectuées par l'Arcep dans le cadre des enquêtes QoS. L'approche par bilan de liaison n'a pas été retenue car elle est trop théorique et dépend de paramètres pour lesquels il n'existe pas de consensus ou de valeur universelle. Cette approche n'est pas adaptée pour des comparaisons précises en limite de couverture, qui dépendent fortement du terrain, de l'ingénierie réseau et des terminaux.

En synthèse :

- Pour les services IoT et data, l'interface radio 4G permet intrinsèquement des performances supérieures par rapport aux réseaux 2G/3G.
- Pour les services voix, bien que certains éléments techniques propres à la 4G seraient de nature à générer des écarts entre le niveau de couverture VoLTE et celui de la voix classique en 2G/3G, la technologie 4G et ses évolutions récentes ainsi que des évolutions d'ingénierie réseau permettent de mettre en œuvre plusieurs leviers (fonctions et mécanismes pour la plupart présents dès aujourd'hui sur les réseaux 4G) afin d'améliorer la couverture du service VoLTE et de contrebalancer les limitations identifiées par rapport à la 2G/3G.

Les analyses de la campagne de mesures terrain réalisées dans le cadre des enquêtes QoS de l'ARCEP 2025 montrent que, pour des terminaux compatibles VoLTE, moins de 0,1% des communications voix/SMS/data réussies sont réalisées en 2G et moins de 0,9% des communications voix/SMS/data réussies sont réalisées en 3G. Au regard de ces éléments, il n'apparaît pas que l'arrêt des réseaux 2G puis 3G puisse se traduire par des variations substantielles du niveau de couverture du territoire par les réseaux mobiles.

Ainsi, le comité d'experts techniques sur le mobile estime que les opérateurs ont les moyens de gérer l'extinction de la 2G puis de la 3G sans une régression de la couverture mobile pour les clients équipés de terminaux 4G/5G pour les services data et IoT, et compatibles VoLTE pour le service voix.

Annexe A

Benchmark sur les expériences des pays étrangers

Un état des lieux comparatif (benchmark) au niveau européen et international a permis de dégager des enseignements sur des situations similaires qui auraient été rencontrées dans une sélection de pays de l'Union européenne et à l'International (Japon, Australie) où l'extinction des technologies 2G/3G a été initiée. Une synthèse des principaux enseignements sur la base d'un questionnaire spécifique auprès de régulateurs des pays concernés est présentée ci-dessous :

A. En Europe :

- Sur la dizaine de pays européens sondés, 9 pays n'ont pas relevé d'impact sur la couverture des services voix à la suite de l'extinction des réseaux 2G/3G et leur « refarming » de leur spectre en 4G/5G.
- Dans le seul pays impacté, l'impact de l'arrêt de la 3G sur les services voix a été adressé par des changements de terminaux dans les régions rurales concernées et la souscription d'abonnements en 4G pour bénéficier de la VoLTE.

B. A l'international :

a. Au Japon :

- En 2012, le pays a été le premier à achever l'extinction de ses réseaux 2G (les réseaux non-PHS¹⁹ 2G aient été fermés en 2012, il conviendra de noter que les réseaux 2G PHS ont été complètement fermés en 2020). La fermeture des services 3G est également avancée avec l'objectif de libérer du spectre pour soutenir le déploiement rapide des services 4G/5G. On notera que KDDI a terminé l'extinction de son réseau 3G en mars 2022, SoftBank en avril 2024 et DOCOMO a confirmé prévoir la fermeture de ses services 3G pour fin mars 2026.
- Dans le cas du Japon, l'évolution vers la 4G/LTE depuis la 3G a été principalement motivée par le besoin d'améliorer les performances de communication et l'efficacité du réseau en réponse à la demande croissante pour des services numériques nécessitant une plus grande bande passante sur les terminaux mobiles.
- Dans ce contexte, bien que certains cas limités aient été observés, aucune analyse selon le ministère en charge des télécommunications (MIC) ne montre une réduction notable de la zone de couverture des services vocaux. A noter qu'aucune enquête nationale officielle sur ce sujet n'a été identifiée à ce jour. Cependant, pour certains cas spécifiques, notamment en lien avec l'arrêt progressif des services 3G par les principaux opérateurs mobiles (KDDI en 2022, SoftBank en 2024), certaines zones sont devenues inaccessibles pour les appareils non compatibles VoLTE ou exclusivement 3G, rendant les communications vocales impossibles.

¹⁹ Les réseaux PHS (« *Personal Handyphone System* ») font référence au système de communication numérique lancé au Japon en 1995 ; il est présenté comme une alternative bas coût aux systèmes cellulaires (GSM ...) mais avec une couverture plus limitée. Fin 2002, il a été recensé selon l'UIT près de 5.6 millions d'abonnés PHS au Japon. (Référence : <https://www.itu.int/itu-news/issue/2003/06/thirdgeneration.html>)

- Concernant les cas spécifiques susmentionnés, les opérateurs mobiles, en vertu de leur obligation d'informer les utilisateurs à l'avance de toute modification ou cessation de service majeure, ont annoncé depuis plus d'un an que les terminaux 4G/LTE non compatibles VoLTE ne pourraient plus passer d'appels vocaux ni envoyer de SMS. Certains opérateurs ont mis en place des mesures incitatives telles que des remises lors de l'achat d'un nouveau terminal ou lors d'un changement de forfait afin de faciliter la migration vers des appareils compatibles 4G/LTE.
- Le MIC a orienté les opérateurs mobiles afin que les campagnes de promotion pour l'achat de terminaux ou les informations sur les changements de forfait dans le cadre de l'arrêt de la 3G soient menées de manière appropriée. Ces orientations visent à garantir la protection des consommateurs, la transparence des forfaits tarifaires et à promouvoir la concurrence sur le marché.

b. En Australie :

- Les réseaux 2G ont été fermés en décembre 2016 pour Telstra (premier opérateur australien à avoir cessé d'offrir des services GSM), en août 2017 pour Optus (qui avait commencé à fermer son infrastructure 2G en avril 2017), et juin 2018 pour Vodafone (dernier opérateur mobile à avoir confirmé la conclusion de la fermeture de la 2G). Pour la 3G, Vodafone a été le premier opérateur mobile du pays à fermer son réseau 3G, en décembre 2023. Telstra et Optus ont tous deux accepté de reporter la fermeture de leurs réseaux 3G au 28 octobre 2024, à la demande des autorités locales.
- Lorsque la VoLTE a été introduite pour la première fois, les empreintes de couverture pouvaient être plus petites que la voix 3G à commutation de circuits. Les améliorations ultérieures du 3GPP (par exemple, les retransmissions autonomes à travers les intervalles et la segmentation des paquets vocaux) signifient que, sous une puissance radio et une configuration de site équivalentes, la VoLTE peut atteindre théoriquement une couverture au moins comparable à la voix 3G.
- Dans la pratique, à la suite de l'arrêt de la 3G en Australie (achevé fin 2024), les utilisateurs ont fait part de leurs inquiétudes concernant une couverture réduite ou une qualité de service dégradée, notamment une couverture vocale dégradée ou une fiabilité des appels sur la 4G par rapport à l'expérience 3G antérieure.
- Les opérateurs de réseaux mobiles australiens ont attribué les premiers problèmes à des facteurs tels que la compatibilité des appareils, et la dépendance des utilisateurs à l'égard d'une couverture 3G « fortuite » aux limites du service. Ces problèmes continuent d'être surveillés.
- Concernant l'équivalence de couverture, les deux plus grands opérateurs mobiles d'Australie (Telstra et Optus) se sont tous deux engagés et ont maintenu qu'ils fournissaient une couverture équivalente via leurs réseaux 4G. En cela, ils traitent au cas par cas les problèmes soulevés par leurs clients concernant les changements d'expérience après l'arrêt.

Annexe B

Comparaison des résultats des tests réussis 2G issus des mesures terrains réalisées dans le cadre des enquêtes QoS et de vérification de la fiabilité des cartes de couverture 2025

Une analyse des mesures Voix (en appel standard), SMS et data des campagnes 2025 de qualité de services et des mesures de couverture Voix pilotée par l'ARCEP a été menée afin d'évaluer la part des communications 2G parmi l'ensemble des mesures de terrain réalisées sur les réseaux des opérateurs métropolitains.

A. Campagne de qualité de services (juin et août 2025)

Les données 2G collectées dans le cadre de cette campagne se répartissent en trois catégories : les mesures issues de tests d'appel voix (communications réussies), la réception de SMS en moins de 10 secondes et les mesures de navigation web (chargement de pages Internet). Les terminaux utilisés lors de cette campagne sont des mobiles de dernière génération pour lesquels sont activées l'ensemble des technologies 2G, 3G, 4G (VoLTE) et 5G (VoNR). Les mesures sont effectuées en usage piéton en extérieur et en véhicules automobiles dans des agglomérations et communes de tailles diverses, ainsi qu'en indoor.

Les mesures présentées ci-après agrègent les résultats de l'ensemble des opérateurs. Ces points de mesure ne concernent que les échantillons pour lesquels la technologie d'accès mobile a été correctement identifiée.

• Mesures de qualité de services Voix

Le protocole consiste à effectuer un appel vocal et à le maintenir durant 2 minutes entre deux mobiles colocalisés. L'espacement entre deux mesures est d'au moins 30 secondes. Au total environ 100 000 points de mesures Voix ont été enregistrées en métropole.

La volumétrie des mesures Voix ayant abouties en 2G est la suivante :

Appel Voix	Mesures <u>en extérieur</u> (ou en véhicule)				Mesures <u>en intérieur</u>	Toutes zones
	Zones rurales	Zones intermédiaires	Zones denses	Zones touristiques		
Mesures Voix 2G en succès	33	8	1	0	24	66
Nombre total de mesures Voix 2G+3G en succès	320	112	68	33	311	844
Nombre total de mesures Voix en succès	19 736	19 422	21 310	3 650	30 830	94 948
Proportion de mesures 2G en succès dans le	10,31%	7,14%	1,47%	0,00%	7,72%	7,82%

total 2G+3G en succès (%)						
Proportion de mesures 2G en succès dans le total toutes technologies (%)	0,17%	0,04%	0,00%	0,00%	0,08%	0,07%

Pour le service Voix, les taux de succès 2G observés sur l'ensemble des appels toutes technologies confondues à partir des résultats de la campagne de qualité de 2025 sont très faibles (0,17% en zones rurales et < 0,07% toutes zones confondues); la très grande majorité des tests réussis étant effectivement réalisée via 4G/5G.

En se concentrant sur le nombre de mesures Voix en succès réalisées en 2G et en 3G, il ressort que, parmi l'ensemble des mesures effectuées dans des zones où le réseau présente des capacités réduites, entre 1 % (en zone urbaine dense) et 10 % (en zone rurale) des appels aboutis en 2G/3G reposent sur la technologie 2G, avec une moyenne de 8 % toutes zones confondues.

• Mesures de qualité de services SMS

Le protocole consiste à tester l'envoi et la réception de SMS entre des mobiles connectés au réseau d'un même opérateur. Les messages, d'une longueur fixe de 26 caractères, sont considérés comme correctement reçus si le délai de livraison n'excède pas 10 secondes.

La volumétrie des mesures SMS ayant abouties en 2G est la suivante :

Envoi / réception SMS	Mesures <u>en extérieur</u> (ou en véhicule)				Mesures <u>en intérieur</u>	Toutes zones
	Zones rurales	Zones intermédiaires	Zones denses	Zones touristiques		
Mesures SMS 2G en succès	34	9	4	0	47	94
Nombre total de mesures SMS 2G+3G en succès	223	53	28	15	300	619
Nombre total de mesures SMS en succès	20760	19610	21541	3749	31540	97200
Proportion de mesures 2G en succès dans le total 2G+3G en succès (%)	15,25%	16,98%	14,29%	0,00%	15,67%	15,19%
Proportion de mesures 2G en succès dans le total toutes technologies (%)	0,16%	0,05%	0,02%	0,00%	0,15%	0,10%

Pour le service d'échanges de SMS, les taux de succès 2G observés sur l'ensemble des tests toutes technologies confondues sont très faibles et comparables aux résultats des tests Voix.

En se concentrant sur le nombre de mesures SMS en succès réalisées en 2G et en 3G , environ 15% des communications aboutis en 2G/3G reposent sur la technologie 2G indépendamment du type de zone concernée, ce qui reste très minoritaire.

- **Mesures de qualité de services de navigation web**

Le protocole consiste à tester l'accès à un échantillon de 10 pages web mobiles parmi les 30 sites les plus visités, en restant 10 secondes sur chaque page. Un échec est constaté si le chargement dépasse 10 secondes.

La volumétrie des mesures web ayant abouties en 2G est la suivante :

Navigation Web (data)	Mesures <u>en extérieur</u> (ou en véhicule)				Mesures <u>en intérieur</u>	Toutes zones
	Zones rurales	Zones intermédiaires	Zones denses	Zones touristiques		
Mesures data 2G en succès	18	8	7	0	9	42
Nombre total de mesures data 2G+3G en succès	157	44	37	19	173	430
Nombre total de mesures data en succès	56276	57801	65465	10726	97292	287560
Proportion de mesures 2G en succès dans le total 2G+3G en succès (%)	11,46%	18,18%	18,92%	0,00%	5,20%	9,77%
Proportion de mesures 2G en succès dans le total toutes technologies (%)	0,03%	0,01%	0,01%	0,00%	0,01%	0,01%

Pour le service de navigation web, les taux de succès 2G observés sur l'ensemble des tests toutes technologies confondues sont marginaux (< 0,03%).

En se concentrant sur le nombre de mesures data en succès réalisées en 2G et en 3G, il ressort qu'en moyenne, seuls 10% des tests de navigation web aboutis en 2G/3G reposent sur la technologie 2G.

- **Proportion de 2G en succès parmi l'ensemble des mesures 2G.**

Une comparaison a été réalisée entre les mesures 2G en succès et le nombre total de mesures 2G.

Appel Voix	Mesures <u>en extérieur</u> (ou en véhicule)				Mesures <u>en intérieur</u>	Toutes zones
	Zones rurales	Zones intermédiaires	Zones denses	Zones touristiques		
Mesures Voix 2G en succès	33	8	1	0	24	66

Nombre mesures Voix 2G en succès + échecs	91	15	5	6	116	233
Proportion (%)	36,26%	53,33%	20,00%	0,00%	20,69%	28,33%

Envoi / réception SMS	Mesures <u>en extérieur</u> (ou en véhicule)				Mesures <u>en intérieur</u>	Toutes zones
	Zones rurales	Zones intermédiaires	Zones denses	Zones touristiques		
Mesures SMS 2G en succès	34	9	4	0	47	94
Nombre mesures SMS 2G en succès + échecs	83	19	7	5	139	253
Proportion (%)	40,96%	47,37%	57,14%	0,00%	33,81%	37,15%

Navigation Web (data)	Mesures <u>en extérieur</u> (ou en véhicule)				Mesures <u>en intérieur</u>	Toutes zones
	Zones rurales	Zones intermédiaires	Zones denses	Zones touristiques		
Mesures data 2G en succès	18	8	7	0	9	42
Nombre mesures data 2G en succès + échecs	822	152	139	86	994	2193
Proportion (%)	2,19%	5,26%	5,04%	0,00%	0,91%	1,92%

La majorité des mesures 2G réalisées lors des tests Voix et SMS donnent lieu à un échec : seuls 30 % des tests 2G aboutissent avec succès.

Par ailleurs, en moyenne, 98 % des mesures de navigation web en 2G sont en échec, toutes zones confondues (ce taux s'établissant à 95 % en zones intermédiaires et urbaines).

Ces résultats montrent que de nombreuses tentatives de mesure indiquent une connexion 2G (logo affiché sur les terminaux ou information remontée par les outils de mesure), alors qu'en réalité aucun service (voix, SMS, data) n'est effectivement disponible.

B. Campagne de vérification de la couverture (février à mai 2025)

La campagne de vérification de la fiabilité des cartes de couverture mobiles consiste à tester l'accessibilité du service, conformément au protocole défini dans la décision n°2016-1618 modifiée de l'Arcep.

Le protocole de vérification des cartes Voix/SMS (2G et 2G/3G uniquement) consiste à tenter un appel et à tester l'obtention du retour de sonnerie sur le mobile (la communication n'est pas décrochée). Si la sonnerie est obtenue dans les 30 secondes, la mesure d'accessibilité considérée comme un succès. Dans le cas contraire, elle est comptabilisée en échec. L'espacement entre deux mesures est d'au moins 15 secondes.

Les tests sont donc effectués via des mobiles pour lesquels seules les technologies 2G et 3G sont activées.

Le périmètre de cette campagne s'étend sur 10 zones géographiques représentant environ 26 000 km² soit près de 5% du territoire métropolitain. Dans le cadre de la campagne 2025, la moitié des mesures est réalisée depuis des terminaux sans filtre atténuateur afin de vérifier le niveau de couverture dite « limitée », l'autre moitié est réalisée à partir de mobiles munis d'un filtre atténuateur de -20dB afin de simuler le niveau le plus exigeant de « très bonne couverture » et ainsi simuler la probabilité d'accéder au service voix dans des conditions plus dégradées (c-à-d « téléphoner et échanger des SMS à l'extérieur des bâtiments, et, dans la plupart des cas, à l'intérieur »).

Au total environ 800 000 mesures Voix ont été réalisées en France métropolitaine.

Le tableau ci-après compare les mesures voix en succès en 2G sur le total des mesures voix :

	Mobile non atténué (couverture limitée)	Mobile atténué -20dB (très bonne couverture)	Total des mesures
Mesures Voix 2G en succès	4 238	3 638	7 876
Nombre total de mesures Voix 2G/3G ²⁰	401 372	400 656	802 028
Proportion (%)	1,06%	0,91%	0,98%

Les taux de succès 2G extraits de la campagne de couverture apparaissent assez nettement supérieurs à ceux de la campagne de qualité de services, avec des écarts d'environ un ordre de grandeur (environ 1% des mesures sont des succès 2G). Néanmoins, cette proportion reste faible et est à relativiser car le protocole de mesures de couverture est lié à l'exercice spécifique de vérification des cartes de couverture par technologie (2G et 2G/3G).

²⁰ Les résultats incluent l'ensemble des mesures réalisées dans le cadre de la campagne, y compris une petite proportion de mesures (estimée à 7%) dans des zones déclarées non couvertes par les opérateurs sans remettre en cause la validité des conclusions.

Annexe C

Glossaire des termes techniques

- **NF** (« Noise Figure ») : le facteur de bruit est défini comme le quotient des rapports signal sur bruit en entrée et en sortie de ce même dispositif quand le bruit en entrée est un bruit thermique à la température normalisée $T_0=290$ K.
- **dB** : Le décibel, de symbole dB, est une unité de mesure égale à un dixième de bel permettant à l'origine d'exprimer le rapport entre deux puissances comme dix fois le logarithme décimal de ce rapport. 3dB, 5dB et 10dB correspondent respectivement à un rapport de 2, de 3.2 et de 10.
- **TDMA** (Time Division Multiple Access): accès multiple par répartition dans le temps
- **CDMA** (Code Division Multiple Access): accès multiple par répartition de codes
- **OFDM** (Orthogonal Frequency Division Multiplexing): accès multiple par division orthogonale des fréquences
- **PRB** (Physical Resource Block) : désigne la plus petite unité de ressources radio pouvant être allouée à un utilisateur.
- **(NB-)AMR** ((Narrow Band-) Adaptative Multi-Rate) : Il s'agit d'un format de compression sur bande étroite (NB) de données audios normalisé par l'ETSI permettant une adaptation à des débits multiples.
- **AMR-WB** désigne la version large bande de ce codeur.
- **MCS** (Modulation Coding Scheme) Un des 9 schémas de modulation et codage possibles sur l'interface radio. Le schéma MCS-1, basé sur la GMSK, est utilisé pour la transmission de la signalisation. Le schéma MCS-9, basé sur la 8-PSK et peu de redondance, permet un débit utilisateur instantané de 59,2 kbit/s (exemples applicables pour le GSM).
- **MAC** (Medium Access Control) : Dans le modèle de communication OSI, ce terme désigne la couche qui gère le partage d'un support de transmission entre différentes stations
- **TTI** (Transmission Time Interval) désigne la durée pendant laquelle un bloc radio (PRB) est transmis entre une station de base et le terminal.
- **SINR** (Signal to Interference Noise Ratio) désigne le rapport du signal utile par le bruit ambiant et les interférences.
- **MOS** (Mean Opinion Score) mesure la qualité d'appel sur une échelle de 1 à 5. Un score de 1 indique une qualité audio inacceptable pour tous les utilisateurs. Un score de 5 est une indication d'une qualité vocale irréprochable, équivalente à une discussion en face à face.

Annexe D

Composition du Comité d'experts techniques

- **Présidence du Comité** : Olivier Taffin (Nokia)
- **Secrétariat et pilotage** : Arcep (Ahmed Haddad)
- **ANFR** : Vincent Durepaire
- **Bouygues Télécom** : Vincent Lemoine, Vincent Merat, Franck Bliah
- **Ericsson** : Zied Malouche, Arnauld Taffin
- **Free Mobile** : Abdenour Medjkane Bertand Fiévet, Damien Genouville
- **Huawei** : Jérôme Danneel
- **Orange** : Sabrina Saudai, Franck Payoux, Erwan Lefur
- **Nokia** : Mirela Andouard
- **SFR** : Pierre Lescuyer, Benoit Thuillier
- **Telecom ParisTech** : Marceau Coupechoux
- **INRIA** : Maxime Guillaud