

Evaluation de la consommation énergétique d'un déploiement 4G vs 5G

Comité d'experts technique sur les réseaux mobiles

Questions fréquemment posées (FAQ)

Pour quelle raison l'étude considère-t-elle un déploiement de la 5G mobilisant exclusivement la bande 3,5 GHz et non pas d'autres bandes de fréquences – y compris les futures bandes (notamment la bande 26 GHz) ?

Dans le cas du scénario « 4G+5G », l'étude considère un déploiement de la 5G en mobilisant uniquement la bande 3,5 GHz en TDD (Time Division Duplexing) ; la réutilisation (« refarming ») en 5G des fréquences FDD basses ou moyennes¹ 4G n'est pas considéré, ni le « refarming » des fréquences 900 MHz utilisées en 2G/3G pour la 5G. Cette hypothèse de travail est justifiée par le fait que l'efficacité énergétique de la 5G (avec des systèmes d'antennes passives) utilisée seule dans ces fréquences FDD (chargées ou en partage avec la 4G) ne diffère pas significativement de la 4G utilisée seule dans ces fréquences à date. Par conséquent, la consommation d'un site 4G (bandes FDD) + 5G (bande 3,5 GHz) diffère très peu de la consommation d'un site 4G (bandes FDD) + 5G (bandes FDD + bande 3,5 GHz).

Quant à la bande 900 MHz réservée à la 2G/3G, l'hypothèse de son « refarming » en 5G suppose de considérer des scénarios d'extinction des réseaux 2G/3G pour *in fine* un faible apport en spectre supplémentaire qui ne sera pas une variable déterminante dans l'étude en comparaison avec l'apport capacitaire de la bande 3,5 GHz.

Par ailleurs, afin de limiter les incertitudes, l'étude a privilégié de se concentrer sur les bandes attribuées et ne considère pas l'utilisation d'autres bandes comme la bande 1,4 GHz ou des bandes prospectives comme la bande millimétrique pour lesquelles il y a un manque de retours suffisants sur les conditions et les scénarios de déploiement.

Quelle est la logique sous-jacente concernant le choix des types de déploiement retenus dans l'étude ?

A quel point les résultats spécifiques à chaque type de déploiement ou leur combinaison peuvent-ils être extrapolés à grande échelle (par exemple pour toute la France) ?

Dans cette étude, il est fait le choix de considérer 3 principaux types de déploiement (A, B et C) avec des variantes. Cette typologie se veut assez exhaustive pour couvrir différents environnements (dense et moins dense), différents niveaux d'activité (environnement chargé ou peu chargé) et différentes stratégies opérationnelles (matériels nouvelle génération vs matériels à rénover).

Bien que cet échantillonnage forme un large spectre pour traduire une bonne variété des cas de figure que l'on peut rencontrer dans la réalité, les différents types de déploiement ne constituent que des *snapshots* (capture de photo) unitaires de la réalité et ne peuvent servir pour une base d'extrapolation à grande échelle (et ce même en procédant à une combinaison sur la base par exemple d'une moyenne

¹ Bandes 700/800 MHz et bandes 1800/2100/2600 MHz

pondérée des sites qui seraient associés à chaque type). Ceci est dû au fait que l'étude se focalise à l'échelle d'une zone couverte par un site unique macro en 2020 où la 5G est prévue à date d'être déployée dans la bande 3,5 GHz ; une analyse à une échelle plus large nécessiterait à la fois d'analyser plus de typologies de sites différents, d'intégrer la dynamique du maillage des sites et de prendre en compte la densification et le rajout de couverture inhérents à l'évolution d'un réseau mobile.

A quel point les hypothèses des différents scénarios (par exemple le choix d'un équipement 5G AAS 64T64R pour le déploiement A ou 32T32R pour le déploiement C2) sont-elles représentatives des choix des opérateurs en France ?

Pour chaque scénario et chaque type de déploiement, le choix des équipements retenus (notamment entre des équipements 64T64R, 32T32R 5G) correspond à un compromis entre les performances énergétiques, les performances de couverture, les performances de capacité et les choix opérationnels de l'opérateur. Les opérateurs en tant que membres du Comité confirment que les équipements considérés sont en cohérence avec les types de déploiement considérés dans l'étude.

Comment l'étude prend-elle en compte l'impact de la portée et la pénétration dans les bâtiments limitées de la bande 3,5 GHz dans le scénario « 4G+5G » ?

En termes de couverture et de pénétration dans les bâtiments, le scénario « 4G + 5G » utilise également toutes les bandes FDD du scénario « 4G seul » : les 2 scénarios pour l'ensemble des fréquences utilisées fournissent donc la même couverture et pénétration grâce à une utilisation coordonnée des différentes bandes de fréquence.

La question posée soulève également la question de la bande 3,5 GHz et du dimensionnement réalisé dans l'étude.

La pénétration dans les bâtiments et la portée limitée de la bande 3,5 GHz, y compris avec la 5G, par rapport aux bandes de fréquences FDD, notamment basses, a bien été prise en compte en intégrant dans l'étude la capacité d'absorption de cette bande. Suivant les types de déploiement, des valeurs de 80% ou 60% pour le cas étudié le moins dense ont été retenues par le comité.

Il faut noter néanmoins que l'utilisation d'antennes actives avec la 5G dans la bande 3,5 GHz permet d'en augmenter la couverture et la pénétration par rapport à des antennes passives qui seraient utilisées dans cette bande de fréquences.

Sur la base d'une zone couverte par un site macro 4G en 2020 et les hypothèses d'augmentation de trafic à iso-service très haut débit mobile (eMBB), l'étude montre que, jusqu'en 2028, il n'y a pas besoin de déployer de nouveaux sites « 4G+5G », alors que ce n'est pas le cas de la 4G pour les types de déploiement A et B qui ont été analysés par le comité.

L'étude ne traite pas le cas de nouveaux services spécifiquement possibles que par la 5G, qui en augmenteraient le trafic avec des modifications possibles de l'architecture du réseau et pourraient nécessiter l'ajout de nouveaux sites radio et de nouvelles fréquences. Voir question 9 à ce sujet.

L'étude se base sur de nombreuses hypothèses structurantes en particulier celles relatives aux performances de débit et des consommations énergétiques des stations de base 4G/5G ; à quel point ces hypothèses sont-elles partagées, vérifiées et représentatives de la réalité ?

Pour quelle raison l'étude utilise-t-elle plutôt des valeurs relatives de la consommation énergétique des équipements considérés dans l'analyse et ne dévoile-t-elle pas des valeurs absolues ?

Le processus suivi dans le cadre de cette étude est conforme au modèle de fonctionnement dans d'autres instances techniques ou de standardisation comme le 3GPP ou le CEPT.

En effet, l'étude a été réalisée en modélisant la consommation énergétique de stations de base 4G et 5G par un modèle affine sur la base d'équipements déployés en France et fournies par un seul équipementier afin que les comparaisons soient cohérentes. Les valeurs de consommation énergétique sont mesurées en laboratoire par cet équipementier.

Pour la capacité (débit) des équipements en 5G, le déploiement est encore à ses débuts en France et ne permet pas d'avoir un retour d'expérience ferme par les opérateurs mobiles sur les performances des nouvelles techniques comme le MU-MIMO ; néanmoins les chiffres de débit indiqués concernent un réseau 5G chargé, sur la base d'environnements similaires à l'étranger et ont été confirmés par les opérateurs du Comité sur la base de leurs premières observations. La vérification des performances de la capacité/dimensionnement reste néanmoins très difficile à réaliser *in-situ* (en France) tant que l'empreinte du déploiement est encore limitée.

Les autres équipementiers confirment que les tendances sur la comparaison des scénarios 4G vs 5G sont représentatives et que des conclusions analogues aux différents scénarios étudiés seraient tirées avec leurs propres équipements qui sont également déployés en France.

Les valeurs de consommation énergétique pour les différents scénarios considérés dans l'étude sont données en relatif, c à d en normalisant par rapport aux chiffres de la consommation du scénario « 4G seule » en 2020. Dévoiler les valeurs de consommation énergétique en termes absolus n'apporte aucune valeur ajoutée par rapport à l'objectif de comparaison. De plus, un contrôle de cohérence sur les chiffres de performances énergétiques en absolu a été réalisé entre l'équipementier et un opérateur membre du Comité.

Par ailleurs, il est à noter que les données sur la consommation énergétique des équipements considérés ont fait l'objet d'une analyse de sensibilité ; de même qu'une analyse est réalisée pour la qualification des données utilisées (cf. Annexe E)

Pour quelle raison des fonctionnalités techniques comme la mise en veille, bien qu'activées par certains opérateurs dans leurs réseaux 4G et qui seraient largement sollicitées pour la 5G durant les premières années de son utilisation, n'ont-elles pas été prises en compte dans l'étude ?

Quelle serait la conséquence sur les conclusions de l'étude si ces fonctionnalités étaient considérées ?

Les fonctions de veille jouent un rôle important pour réduire la consommation électrique des réseaux mobiles quand ils sont moins chargés en réduisant les ressources radio utilisées par les stations de base (désactivation d'amplificateurs de stations de base pour certaines fréquences, désactivation de certaines voies radio, extinction d'amplificateurs dans des intervalles de temps sans transmissions). Comme la charge sera moins importante, particulièrement au début du déploiement, ces fonctions de veille devraient notamment permettre de réduire la consommation électrique de la 5G pendant les premières années. Mais, comme ces différentes fonctions de veille ne sont pas à date modélisées dans une recommandation ou norme (plus particulièrement le modèle affine pour simuler la consommation d'une station de base selon la recommandation ITU-T L.1410 assume un fonctionnement en mode hors mise en veille) bien que définies au niveau fonctionnel (3GPP) et ont des caractéristiques et performances différentes d'un équipement/fournisseur à l'autre, elles n'ont pas été prises en compte dans cette étude.

Bien que les équipements radio rénovés en 4G peuvent activer des fonctionnalités comme l'extinction de certaines bandes pendant des périodes à très faible activité (par exemple la nuit), la prise en compte

de la fonction mise en veille devrait *à priori* accroître l'avantage compétitif de la 5G à travers des économies d'énergie les premières années de son utilisation, du fait que les stations de base 5G démarrent à faible charge. Cette conclusion nécessiterait d'être confirmée dans une version ultérieure de l'étude (qui pourrait intégrer un exemple de modèle de mise en veille)

L'étude se réfère à la recommandation ITU et la norme ETSI pour assumer un modèle affine de la consommation énergétique d'une station de base. A quel point cette hypothèse demeure-t-elle valide dans le cas d'une station de base 5G avec antennes actives au vu du caractère émergent de cette technologie ?

Pour quelle raison la consommation du module bande de base (BBU) est-elle considérée comme indépendante de la charge contrairement aux modules RF ?

A la lumière des mesures effectuées sur des stations de base y compris AAS (Active Antenna System), le modèle affine de consommation énergétique en fonction de charge de ressources radio semble bien applicable.

La note définit la charge comme étant le rapport du débit moyen du module RF par son débit moyen maximum, avec comme corollaire une proportionnalité entre ressources radios utilisées et débit, ce qui est une bonne hypothèse pour un modèle que nous ayons à date.

La consommation électrique du BBU (Base Band Unit) est déterminée en fonction du nombre de cartes nécessaires pour gérer les différents modules RF. Pour une configuration donnée, la consommation du BBU est considérée comme fixe. C'est une situation différente pour les modules RF qui utilisent plus de puissance quand plus de ressources radio sont utilisées (et donc plus de débit est fourni).

Pour quelle raison l'étude s'est-elle restreinte à une analyse de l'impact au niveau de l'accès radio (sites mobiles) et n'a pas pris en compte les autres parties du réseau, notamment la collecte et le cœur de réseau ?

L'étude a bien pris en compte un périmètre restreint à des stations de base. Deux approches permettent d'expliquer que les consommations électriques des autres parties du réseau mobile n'ont pas été évaluées.

D'une part, le réseau d'accès représente plus de 70%² de l'ensemble de la consommation énergétique du réseau mobile, l'étude comparative s'est focalisée ainsi sur l'élément le plus déterminant de l'impact total quand bien même l'introduction de la 5G devrait emporter à court terme, pour certains types de sites, la mise à niveau de la collecte mobile et à moyen terme des changements au niveau du cœur de réseau (5G SA).

D'autre part, un autre élément à prendre en compte est que l'étude compare les deux scénarios « 4G + 5G » et « 4G seul » avec comme indicateur principal :

$$\text{Consommation évitée par 4G + 5G vs 4G} = [Q(\text{année}X) - C(\text{année}X)]/Q(2020)$$

avec Q consommation de la 4G en kWh et C consommation de la 4G + 5G en kWh

² Selon une source récente du GSMA accessible via : <https://data.gsmaintelligence.com/api-web/v2/research-file-download?id=60621137&file=300621-Going-Green-efficiency-mobile.pdf>

Sachant que le trafic considéré est le même dans les 2 scénarios, tous les équipements en commun (cœur de réseau, réseau de transport, ...) ont très peu d'impact sur le résultat de l'indicateur de consommation évitée.

Dans le cas où un site radio est conservé en 4G et 5G (types de déploiement C1 et C2), le même raisonnement s'applique au réseau de collecte.

Pour les cas de déploiement A et B, comme la consommation électrique évitée par 4G + 5G est égale à plusieurs fois la consommation électrique d'un site 4G en 2020 et que, d'autre part, la consommation électrique des équipements d'un réseau de collecte est négligeable³ par rapport à la consommation électrique des sites radio, la différence calculée est proche de celle comprenant le réseau de collecte.

Ainsi, les consommations électriques évitées qui ont été calculées sur le périmètre de stations de base sont proches de celles que l'on aurait calculées en tenant compte de l'ensemble des équipements réseaux, expliquant le choix du périmètre de l'étude.

Pour quelle raison la comparaison entre les deux scénarios est-elle portée à chaque fois à « iso-service » alors qu'une des promesses de la 5G est d'apporter un différentiel de qualité de service et de faire émerger de nouveaux usages ?

Une telle hypothèse ne risque-t-elle pas d'entacher le réalisme des scénarios considérés dans l'étude et de remettre en cause ses conclusions ?

Dans les différents types de déploiement, la même croissance de trafic est appliquée aux deux scénarios car le même niveau de services est considéré dans cette étude. Cette hypothèse de travail (iso-service) est un choix méthodologique assumé afin que l'exercice soit en ligne avec la recommandation ITU (ITU-T L.1410 (12/2014)) qui, bien qu'elle permette de comparer deux systèmes différents (par ex. services haut débit 4G vs services 5G avec de nouveaux usages autres que les services haut débit), requiert dans ce cas d'évaluer les émissions évitées permises par ces nouveaux usages ainsi que les effets rebonds induits. La complexité de définir ces nouveaux usages et modéliser leurs impacts environnementaux d'une manière exhaustive explique le choix de l'étude de se restreindre à une comparaison iso-service (c à d une comparaison entre produits/services sur la base d'une même unité fonctionnelle, exprimée dans cette étude comme étant « la fourniture d'un service très haut débit mobile essentiellement à visé grand public sur la zone [type de déploiement] à horizon 2028 (selon le périmètre réseau)»).

Est-ce que l'étude prend-elle en compte l'effet rebond et les effets induits liés au déploiement la 5G ?

L'une des promesses de la 5G est d'apporter un incrément de qualité de service (expérience utilisateur plus fluide, meilleur débit etc.) ou de permettre l'émergence de nouvelles applications (en particulier, des nouveaux usages et services pour les entreprises / verticaux potentiellement permis par des caractéristiques de la 5G dans le futur (faible latence, IoT)). Ces apports pourraient inciter l'utilisateur à une consommation additionnelle de trafic (effet direct et rebond). Il en est même que, pour profiter des certains services 5G, il lui faudrait s'équiper de nouveaux terminaux compatibles (effet induit). Ces nouveaux services pourraient aussi éviter des émissions de gaz à effet de serre (second ordre).

Dans cette version de l'étude, au regard de l'unité fonctionnelle définie et l'hypothèse de raisonner à iso-service pour simplifier et rendre l'approche méthodologique de comparaison faisable, les éventuels émissions évitées, effets rebonds et effets induits ne sont pas pris en compte. Plus

³ La consommation électrique des équipements du réseau de collecte sur le site radio ne représentent que quelques pourcents de la consommation électrique de la station de base.

généralement, et en raison de la difficulté de les caractériser, les effets de second ordre et de troisième ordre (autres effets) ne sont pas pris en compte dans l'analyse.

Quels usages/services sont-ils recouverts par l'hypothèse d'évolution du trafic de +30% par an jusqu'à 2028 considérée dans l'étude ?

L'étude considère l'hypothèse d'une croissance annuelle du trafic de +30% jusqu'à 2028 sur la base des chiffres du Ericsson Mobility Report. Ces estimations d'évolution ne recouvrent que les usages smartphones (B2B et B2C) et n'intègrent pas les usages supportés par de nouveaux types de terminaux (ex. lunettes connectées, casques de réalité virtuelle) ou d'autres services (IoT, services spécifiques pour les verticaux).

Par ailleurs, au vu de l'importance de cet aspect dans la modélisation, cette hypothèse de croissance de trafic a été testée dans le cadre d'une analyse de sensibilité.

Pour quelle raison l'étude considère-t-elle une baisse du contenu carbone dans son exercice prospectif ?

A notre connaissance, aucun facteur d'émission spécifique n'a été défini pour les réseaux mobiles. A cet effet, l'étude s'est basée sur une évolution du contenu carbone par KWh consommé en reprenant les chiffres du contenu carbone en 2020 et 2035 tels que spécifiés par l'ADEME et considérant une interpolation linéaire pour l'évolution de ce contenu afin de couvrir la période de l'étude.

Pour quelle raison l'analyse prospective dans l'étude ne s'étend-elle pas à un horizon au-delà de 2028 ?

Comme toute exercice de prospective, étendre l'horizon d'analyse emporte des risques et des incertitudes croissantes sur le résultat. Cette incertitude est liée à l'évolution des performances des équipements – tant sur le plan énergétique que sur le plan de l'efficacité spectrale – et à l'évolution de la demande sur laquelle il est difficile d'avoir des estimations potentiellement crédibles au-delà de 5 - 6 ans. Dans cette étude, l'analyse est basée sur les projections de trafic de Ericsson (Ericsson Mobility Report) établissant ses prévisions à horizon 2026 que l'analyse a étendu jusqu'à 2028. L'étude intègre par ailleurs sur les rythmes d'évolution du trafic une analyse de sensibilité pour tester la validité des conclusions. D'un autre côté, conduire l'analyse sur un horizon réduit risque de biaiser l'analyse puisqu'il n'aurait pas dans ce cas été donné suffisamment de temps pour couvrir toute la durée de vie de l'équipement.

Par conséquent, le compromis a été établi pour fixer l'horizon jusqu'à 2028.

L'étude conclut – à chaque type de déploiement - sur la valeur ajoutée en termes d'impact carbone de la 5G par rapport à un scénario « 4G seule » en restreignant l'analyse uniquement à la phase usage du cycle de vie. Cependant la prise en compte de l'impact de la phase amont (incluant la fabrication des équipements) ne pourrait-elle pas, dans certains cas, modifier ces conclusions ?

Dans cette version de l'étude, le périmètre de l'étude est celui des stations de base pour couvrir la zone géographique représentée par la couverture d'un site macro en 2020, seule la partie usage des équipements est prise en compte dans la comparaison des deux scénarios. Les phases de production, transport et installation des équipements pourront être intégrées dans une version ultérieure de cette étude.

Même si cette affirmation demanderait à être démontrée par une quantification supportée par des données d'impact qualifiées, il est déjà possible de penser que dans le cas des scénarios 4G impliquant de nouveaux sites radios (nouveaux équipements, sites radio à construire) le bilan carbone serait plus alourdi que dans le cas 4G+5G qui permet de maintenir un seul site radio.

Quelle est l'originalité ou les spécificités de cette étude par rapport à d'autres études qui ont traité de l'impact environnemental du numérique ou de la 5G en particulier ?

Bien que de nombreuses études sont publiées sur l'impact environnemental (en particulier carbone) du numérique, ces études – en adressant toute la chaîne technique du numérique c à d les terminaux, les réseaux et les centres de données – adoptent souvent une modélisation assez haut-niveau de la partie « réseaux » qui agrège de surcroît les réseaux fixes et mobiles toutes technologies confondues ; un tel périmètre ne permet pas d'apprécier clairement l'impact incrémental d'une technologie en particulier, y compris la 5G.

D'autres études qui se sont intéressées au cas spécifique de l'impact de la 5G se sont contentées d'une vision purement comptable de la consommation ou de l'impact et n'ont pas rendu compte des différents ressorts de l'exercice, sa complexité (notamment sur le savoir-faire télécoms en terme d'ingénierie et de dimensionnement, typologie de déploiement des sites et l'expertise sur un sujet nouveau comme les performances de la bande 3,5 GHz en 5G) ou les données adéquates supportant la modélisation afin de dégager des affirmations robustes. En se concentrant sur le périmètre d'un site (tout en distinguant différents types de déploiement) et bien que ne prétendant pas être extrapolée à l'échelle d'un réseau complet pour les raisons explicitées supra, cette étude a fait le choix d'une modélisation fine des performances radios d'un site tout en se conformant aux prescriptions de la recommandation ITU-T L.1410 faisant autorité en la matière. Les approximations ou simplifications assumées dans l'analyse pourraient être traitées dans une version ultérieure de l'étude.

Comment mettre en perspective les enseignements de cette étude par rapport aux exigences de sobriété dans les usages du numérique et les objectifs de réduction carbone de ce secteur ?

Plusieurs leviers peuvent être mobilisés pour la réduction carbone du secteur du numérique, notamment l'empreinte carbone et l'efficacité énergétique des équipements, la sobriété des usages et les émissions évitées dans d'autres secteurs permises par le numérique.

En fournissant des éléments de réponse sur la question spécifique de l'efficacité énergétique des équipements radio, l'étude démontre la valeur ajoutée de l'introduction de la 5G dans la bande 3,5 GHz par rapport à la seule utilisation des réseaux mobiles 4G dans les bandes FDD déjà allouées pour du très haut débit mobile, en minimisant les émissions carbone en phase d'utilisation.

L'étude compare 2 scénarios dans lesquels l'évolution des réseaux mobile doit répondre à une hypothèse de demande de trafic croissante : dans le premier cas, le patrimoine spectral est celui avant l'attribution de la bande 3,5 GHz ; dans le second cas, le patrimoine spectral est plus important en incluant la bande 3,5 GHz nouvellement attribuée en 2020. Pourquoi cette différence ?

La question posée au Comité vise à évaluer l'intérêt environnemental que l'arrivée de la 5G dans la bande de fréquences 3,5 GHz pourrait apporter, notamment dans l'hypothèse d'une projection d'augmentation de trafic similaire à celle observée jusqu'alors.

Les deux scénarios répondent à cette demande de trafic en suivant les règles opérationnelles les plus réalistes. Dans le premier cas, la réponse s'effectue avec le patrimoine fréquentiel sans l'introduction de cette nouvelle bande de fréquences ni l'introduction de la 5G, quand, dans le second cas, le patrimoine fréquentiel à disposition inclut également la bande 3,5 GHz utilisée en 5G, reflétant ainsi les hypothèses opérationnelles les plus réalistes quant à l'utilisation de cette nouvelle bande de fréquences.