

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

Comité d'experts techniques sur les réseaux mobiles

Résumé Exécutif

1 Objectif et cadrage de l'étude

L'introduction de la technologie 5G pour répondre à la croissance du trafic et la multiplicité des usages interroge sur la capacité de cette technologie à concilier, par rapport à un contrefactuel (scénario *business as usual* basé sur la 4G et ses évolutions c'est-à-dire sans déploiement de la 5G), l'objectif de performance recherchée d'une part et l'exigence de maîtrise de la consommation énergétique et l'impact carbone d'autre part.

Le premier prérequis important quand on compare les deux situations (4G vs 5G), est de définir correctement aussi bien l'objet de la comparaison que d'intégrer le type de déploiement réalisé jusqu'à présent et susceptible de l'être dans le futur en France pour ces deux technologies :

- Pour la 4G, l'exercice considère les différentes bandes de fréquences déployées en France et leur évolution technologique ;
- Pour la 5G, la bande 3,5 GHz ou la réutilisation de fréquences utilisées précédemment par la 4G sont considérées.

Un autre prérequis essentiel est de tenir compte des modalités de mise en œuvre (fonctionnalités activées type *beamforming*, type d'antennes, capacité des équipements etc.), de l'environnement de déploiement, du niveau de maturité de la technologie ainsi que de la stratégie de rénovation des sites dans les bandes existantes au fur et à mesure de la bascule du trafic sur la 5G selon une vision pluriannuelle. L'exercice réalisé intègre des hypothèses en la matière, précisées plus bas.

Le comité d'experts techniques mobile, installé par l'Arcep en octobre 2018, a initié des travaux techniques pour apprécier l'impact de la technologie 5G sur la consommation énergétique et l'impact carbone. Le Comité rassemble des experts représentant les opérateurs de réseaux mobiles, des équipementiers, ainsi que des participants issus du monde académique et de l'ANFR. Sa présidence est assurée par Catherine Mancini, et son secrétariat par les services de l'Arcep. La composition du comité est décrite en Annexe F de la note détaillée.

La présente étude constitue une première contribution issue de ces travaux. Elle dresse une comparaison à travers une projection jusqu'en 2028 de la consommation électrique (en kWh) et les émissions de GES correspondantes¹ sur une même zone géographique de stations de base 4G vs 4G+5G où la 5G dans la bande 3,5 GHz est envisagée à date d'être déployée pour les services très haut débit mobile. Dans cette étude, la 5G dans la bande 3,5 GHz est donc évaluée quand déployée pour des raisons essentiellement capacitaires, pour couvrir des poches de trafic ainsi que notamment pour se conformer à des considérations règlementaires. Dans l'avenir, il faut noter que les opérateurs pourront

¹ L'étude ne prend en compte que les émissions GES relatives à la phase d'usage des équipements mobilisés.

également déployer la 5G pour d'autres objectifs, comme fournir de nouveaux services à des verticaux, et que ces nouveaux services ne sont pas évalués dans le cadre de cette étude qui compare la 4G et 4G+5G sur un même niveau de service.

Cette comparaison au niveau de différents types de zones de déploiement du réseau ne peut en aucun cas permettre une extrapolation directe à l'ensemble du réseau. Une analyse à cette échelle 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.

Ce résumé exécutif synthétise la méthodologie et les hypothèses de cette étude comparative et restitue ses principales conclusions. Les développements techniques de l'exercice de modélisation sont explicités dans la note détaillée, ainsi qu'un document FAQ (« Frequent Asked Questions ») reprenant les questions fréquemment posées sur le sujet.

Tous commentaires sur cette note sont bienvenus à l'adresse mail ComiteExpertsMobile@arcep.fr d'ici 31/03/2022.

L'objectif en partageant cette étude est de contribuer – à date et dans un cadre d'hypothèses bien définies – à une meilleure compréhension des impacts de l'introduction de la 5G en matière de consommation énergétique.

2 Méthodologie et hypothèses d'analyse

2.1 Approche méthodologique

L'approche méthodologique suivie dans cette étude repose sur 3 briques principales :

- Une première brique consiste à **modéliser les consommations électriques d'une station de base macro en fonction des débits** générés dans le sens descendant et des évolutions technologiques en termes de générations de matériel et de standard utilisé (technologie 4G vs 5G, duplexage TDD (Time Division Duplexing) vs FDD (Frequency Division Duplexing)). Le développement de cette brique est détaillé dans l'annexe A de la note détaillée.
- Une seconde brique consiste à **calculer l'évolution du contenu en carbone équivalent (CO2 eq.) émis par un équipement durant sa phase d'usage** en fonction de l'énergie consommée (c à d par kWh consommé). Le développement de cette brique est détaillé en Annexe B de la note détaillée.
- Une troisième brique consiste – sur la base des deux premières briques – à rajouter des hypothèses supplémentaires sur l'évolution du trafic entre 2020 et 2028 et un profil de charge journalier d'un site radio afin de **modéliser une évolution de la consommation énergétique (en kWh) et émissions GES à horizon 2028** sur une même zone géographique de stations de base 4G vs 4G+5G où la 5G dans la bande 3,5 GHz est envisagée à date d'être déployée pour les services très haut débit mobile. Le développement de cette brique est détaillé dans l'annexe C de la note détaillée.

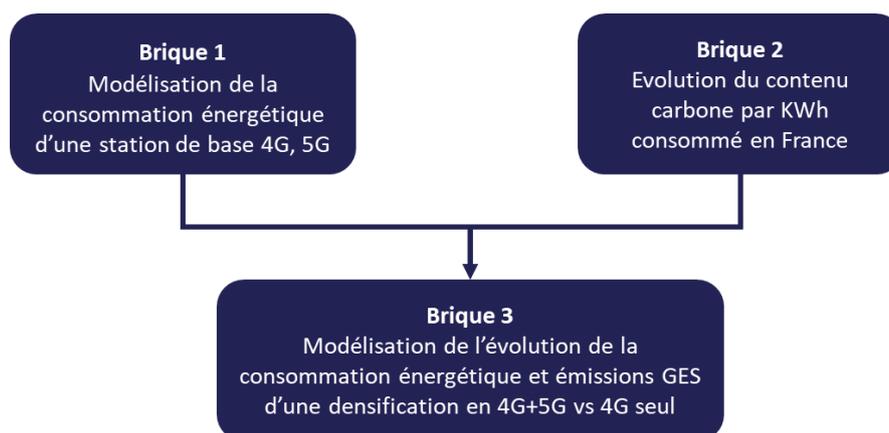


Figure 1 – Illustration de l'articulation des différentes briques de l'approche méthodologique

La méthodologie repose sur une évaluation en différentiel sur la base de deux scénarios :

- **Scénario « 4G seul »** : toutes les extensions et nouvelles stations de base nécessaires pour répondre à l'augmentation du trafic sont réalisées en 4G. Ce scénario sert de référence dans chaque type de déploiement décrit ci-après.
- **Scénario « 4G+5G »** : la 5G en bande 3.5GHz est ajoutée pour répondre à l'augmentation de trafic. Suivant les types de déploiements, le matériel utilisé pour la 4G peut être rénové.

Les deux scénarios sont comparés sur une même zone géographique représentée par la couverture d'un site macro en 2020, sur une durée de 8 ans (de 2021 à 2028). La comparaison est réalisée sur un même niveau de services de très haut débit mobile, essentiellement à visée grand public.

Différents types de déploiement de sites macros où la bande 3,5 GHz sera déployée, sont étudiés pour la zone considérée permettant de dégager des tendances et conclusions sur la comparaison des deux scénarios. Ces différents types de déploiement ont été sélectionnés depuis les zones les plus denses jusqu'aux zones les moins denses où la 5G dans la bande 3,5 GHz pour les services très hauts débit mobile eMBB (enhanced Mobile Broadband) est envisagée à date d'être déployée. 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 évolutions de la consommation électrique, des émissions de gaz à effet de serre et de l'efficacité énergétique² des stations de base de chaque scénario sont respectivement rapportées sur une base 100 à la consommation électrique, émission de GES et efficacité énergétique de la station de base 4G en 2020.

² L'efficacité énergétique d'une station de base est définie comme le ratio entre le volume de données délivrées par la station de base (en *bits*) pendant une période donnée et l'énergie consommée par la station de base durant cette période (source : ETSI TS 203 228 (2020))

2.2 Typologie de déploiement

Les deux scénarios ont été déclinés sur les différents types de déploiement sélectionnés (voir plus de détails sur les considérations techniques sont développés en Annexe de la note détaillée).

- **Type de déploiement A** (qu'on dénommera « forte capacité ») : où le point de départ est une station de base 4G ayant évolué en configuration maximale de 2x65 MHz³ en FDD. Dans ce scénario, la 5G est introduite à partir de 2021 en faisant le choix d'un équipement AAS (Active Antenna System) 64T64R.
- **Type de déploiement B** (qu'on dénommera « capacité moyenne ») : où le point de départ est une station de base 4G tri-bande à capacité moyenne initiale (2x45MHz en FDD) puis bénéficiant d'extensions (rajout d'une bande basse, upgrade avec des antennes MIMO 4T4R sur bandes hautes) avant de rajouter de nouveaux sites dans la situation « 4G seul », alors que dans la situation « 4G+5G », la 5G est introduite à partir de 2023 en faisant le choix d'un équipement AAS 32T32R.

Pour rendre compte de l'impact du timing du renouvellement du matériel, deux variantes du type B sont considérées : une variante considérant un renouvellement déjà anticipé des stations de base 4G (type B1 : capacité moyenne/matériel renouvelé⁴) ; et une variante considérant un renouvellement reporté à partir de 2023 des stations de base 4G (type B2 : capacité moyenne/matériel à rénover).

Pour prendre en compte la diversité des déploiements urbains en France, et notamment la distance inter-sites qui peut influencer sur la mise en œuvre du MIMO et donc sur la capacité du système 5G TDD⁵, deux cas de la variante B1 sont considérés :

- le cas qui permet de tirer pleinement partie du Multi-User MIMO (cas a) ;
 - le cas d'une distance inter-sites plus importante qui ne permet pas de tirer pleinement partie du Multi-User MIMO et dans lequel la capacité de la station de base 5G TDD est plus faible (cas b : distance inter-sites plus importante).
- **Type de déploiement C** : Ce type de déploiement représente la zone la moins dense où des déploiements 5G en bande 3,5 GHz sont envisagés à date par l'opérateur pour les services très haut débit mobile pour couvrir des poches de trafic, ainsi que notamment pour se conformer à des considérations règlementaires (par exemple sur des communes qui devront représenter 25% de l'ensemble des déploiements 5G en bande 3,5 GHz à l'horizon 2025)
Pour ce type de déploiement C, les hypothèses suivantes sont considérées :
 - Le point de départ est un site faible capacité à deux bandes 4G (800 et 1800 MHz) avec un total de 30 MHz de spectre en 2020.

³ Valeur moyenne en agrégeant les quantités de spectre disponibles en 2020 pour les opérateurs mobiles en France dans les bandes de fréquences FDD suivantes : 700/800/1800/2100/2600 MHz.

⁴ En général, une station de base est renouvelée périodiquement en renouvelant une partie de son matériel car en fin de vie et/ou pour introduire de nouvelles fonctionnalités dont notamment le rajout de capacité.

⁵ Par exemple, en zone de très haute densité d'utilisateurs (donc plus d'opportunités de transmission simultanée entre utilisateurs) et avec une grille cellulaire plus dense (distance inter-sites plus réduite), le gain du MU-MIMO est mis à profit grâce à un bon environnement de propagation multi-trajet, une meilleure qualité de la liaison radio et des opportunités d'appariement avec le terminal.

- Le matériel 4G est considéré comme déjà rénové et donc ne nécessite pas de rénovation avant la fin de la période d'observation de l'étude.
- Le volume de trafic augmente de 30% par an comme dans les autres types de déploiements.
- En l'absence de besoin de capacité, la 5G en bande 3,5 GHz sera introduite en 2025 au plus tard notamment en cohérence avec les obligations des licences.
- La 5G bande 3,5 GHz sera introduite avec une AAS 32T32R avec capacité réduite due à une grande distance inter-sites (capacité égale au type B1b).
- Pour le scénario 4G seule comme pour le scénario 4G+5G, on ajoutera obligatoirement du 700 MHz au plus tard en 2027 pour prendre en compte les obligations réglementaires de déploiement de cette bande.

Pour prendre en compte les zones moins denses, ce type de déploiement sera décliné en deux variantes :

- C1 avec point de charge aux heures chargées en 2020 à 50%, un taux d'absorption de la bande 3,5 GHz de 80%⁶ et la possibilité de déployer du 2600 MHz pour des raisons capacitaires.
- C2 avec point de charge aux heures chargées en 2020 à 30%, un taux d'absorption 5G de 60%. Pour le scénario 4G seule, on considèrera que le 2600 MHz n'apporte pas une couverture suffisante de la zone, et donc on s'interdira son déploiement pour raisons capacitaires.

Ces types de déploiement et leur chronologie sont résumés à travers Figure 2.

⁶ Le taux d'absorption renvoie à la capacité d'absorption du trafic par la bande 3,5 GHz, autrement dit le pourcentage du trafic sur cette bande que l'on aurait si la pénétration des terminaux était à 100%, le complément restant sur les bandes FDD. Cette capacité est inférieure à 100% pour diverses raisons (ingénierie des sites, type d'environnement etc.) ; voir Annexe C de la note détaillée pour plus de détails.



Figure 2 - Illustration des différents types de déploiement et leur chronologie

2.3 Hypothèses de l'étude

Afin de modéliser l'évolution de la consommation énergétique à horizon 2028 d'une station de base 4G/5G plusieurs considérations structurantes ont été faites et synthétisées dans Tableau 1.

Les détails de ces hypothèses sont explicités dans la note détaillée :

Tableau 1 - Synthèse des principales hypothèses de l'étude

Patrimoine spectral considéré dans l'étude	<ul style="list-style-type: none"> • Les bandes basses (700/800) et moyennes (1800/2100/2600) en FDD pour la 4G et la bande 3,5 GHz en TDD pour la 5G • La réutilisation en 5G aussi bien des fréquences 4G que des fréquences 2G/3G (900 MHz) n'est pas considéré dans l'étude. • Uniquement les bandes autorisées à date : exclusion de la bande 1,4 GHz et la bande 26 GHz • Patrimoine d'un opérateur représentatif qui aurait la quantité moyenne de spectre des 4 opérateurs en France soit 2x65 MHz en 4G et 80MHz en bande 3,5 GHz.
Paramètres de consommation énergétique	<ul style="list-style-type: none"> • Les paramètres modélisés de consommation énergétique de stations de base déployées en France et fournies par un équipementier membres du Comité afin que les comparaisons soient cohérentes • Les deux autres équipementiers du Comité confirment que les tendances sont représentatives et que des conclusions analogues des différents scénarios étudiés seraient tirées avec leurs propres équipements qui sont également déployés en France.
Performance en débit	<ul style="list-style-type: none"> • Les hypothèses sur le débit des stations de base en fonction de technologie (4G vs 5G), des largeurs de bande, des types de bandes et les configurations MIMO de l'antenne (cf. détails en Annexe de la note détaillée)
Cadre normatif	<ul style="list-style-type: none"> • Cadre normatif existant (normes ETSI et recommandation ITU-T L.1410) portant notamment sur le modèle de consommation énergétique d'une station de base (utilisation d'un modèle de fonction affine en fonction de la charge de type $a.x+b$), sur le concept d'efficacité énergétique et sur l'évaluation de l'impact environnemental des produits, des réseaux et des services des technologies du numérique. Les éventuels écarts ou exclusions sont renseignés et justifiés.
Services/usages et demande en trafic	<ul style="list-style-type: none"> • Comparaison entre les deux scénarii sur un même niveau de services de type très haut débit mobile, essentiellement à visée grand public. 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) ne sont pas évalués. Ainsi, les effets environnementaux du deuxième ordre (émissions GES évitées par ces services) ou d'autres effets (sociétaux, économiques, effets rebonds) ne sont pas étudiés. • Services de type très haut débit mobile générant un volume de trafic qui croit avec un rythme annuel moyen de 30% par site à horizon 2028 ; conformément au cadre normatif (ITU-T), la même croissance de trafic est appliquée aux deux scénarios afin de les rendre comparables.

La 5G en bande 3,5 GHz	<ul style="list-style-type: none"> • Prise en compte de l'évolution de la pénétration 5G (avec un taux annuel moyen de 14%) et de son trafic associé en considérant la capacité d'absorption du trafic par la bande 3,5 GHz dans le cas du scénario « 4G+5G ».
Exclusions	<ul style="list-style-type: none"> • 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 ne sont pas considérées. • Les différentes fonctions de veille ne sont pas à date modélisées dans une recommandation ou norme bien que définies au niveau fonctionnel (3GPP), et ont des caractéristiques et performances différentes d'un équipement à l'autre, elles n'ont pas été prises en compte dans cette étude. • Les évolutions logicielles et matérielles et innovations apparaissant dans les années à venir qui pourraient permettre d'augmenter l'efficacité énergétique de la 4G et de la 5G ne sont pas intégrées d'une façon prospective à cette étude.

La croissance de trafic étant considérée parmi les éléments les plus structurants sur la dynamique des scénarii ; une analyse de sensibilité est réalisée sur ce paramètre afin d'apprécier la validité des conclusions de l'étude en testant autour de la valeur de base (30%) un scénario de basse croissance de trafic (25% de croissance par an) et un scénario de haute de croissance de trafic (35% de croissance par an), voir Annexe D de la note détaillée. Par ailleurs, afin de tester la sensibilité du modèle par rapport à la performance énergétique des équipements 5G considérés dans l'étude, une analyse de sensibilité est conduite en faisant varier (+/- 10%) les paramètres du modèle affine de consommation énergétique des stations de base 5G, voir Annexe D de la note détaillée.

Il faut noter que l'étude des différents types de déploiement depuis les zones les plus denses jusqu'aux zones les moins denses où la 5G dans la bande 3,5 GHz pour les services très hauts débit mobile est envisagée à date d'être déployée constitue également une étude de sensibilité pour la comparaison des deux scénarios.

3 Résultats et conclusions de l'étude

Les calculs et les résultats détaillés des différents types de déploiement de sites macros où la bande 3,5 GHz sera déployée, sont explicités en Annexe C de la note détaillée.

Le choix des différents types de déploiement sélectionnés depuis les zones les plus denses jusqu'aux zones les moins denses où la 5G dans la bande 3,5 GHz est envisagée à date d'être déployée, permettent de dégager des tendances et conclusions sur la comparaison des deux scénarios. En effet, le gain énergétique du scénario 4G+5G par rapport au scénario 4G seule est plus important dans les types de déploiement à forte densité de trafic (type de déploiement A, B1 et B2) alors qu'il est plus faible voire nul pour les types de déploiement à faible densité de trafic (type de déploiement C1 et C2). Cette conclusion peut être visualisée à travers les 2 figures ci-dessous.

Afin d'apprécier l'impact de l'introduction de la 5G en termes d'efficacité énergétique pour chaque type de déploiement, le ratio de l'efficacité énergétique du scénario 4G+5G par rapport au scénario 4G seule a été calculé par année et type de déploiement et son évolution est illustrée en Figure 3. Celle-ci démontre qu'après une dégradation momentanée de l'efficacité énergétique à la suite de l'introduction de la 5G, le ratio d'efficacité énergétique revient à l'équilibre et l'efficacité du scénario 4G+5G dépasse au fur et à mesure de l'augmentation du trafic celle du scénario 4G seule. Le retour à

l'équilibre du ratio d'efficacité énergétique entre les deux scénarii est plus rapide avec les types de déploiement à forte densité (A et B) que les types de déploiement à faible densité (C). En complément, Figure 3 illustre aussi l'évolution du ratio par année et type de déploiement de l'efficacité énergétique de la technologie 5G uniquement dans le scénario 4G+5G par rapport à l'efficacité énergétique totale du scénario 4G seule et démontre à travers sa magnitude le potentiel de la bande 3,5 GHz pour améliorer l'efficacité énergétique.

Sur la base des résultats des différents types de déploiement, la consommation énergétique évitée et les émissions GES évitées que permet un scénario 4G+5G par rapport à un scénario 4G seule ont été déduites pour chaque année dans Figure 4. Les économies en termes de consommation énergétique (respectivement d'émissions GES) entre les deux scénarios sont exprimées en multiples de la consommation énergétique (respectivement d'émissions GES) calculée en 2020.

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

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

Cette étude suggère la valeur ajoutée de la 5G, et que son introduction - dans les conditions simulées de l'étude - est nécessaire pour maîtriser la consommation électrique et les émissions de GES associées. Selon les différents scénarios de son introduction, une densification via la 5G, bien qu'elle engendre une augmentation de la consommation énergétique sur le court terme (les premières années de son déploiement⁷), elle permet pour tous les types de déploiement hormis le type C2 d'économiser en cumul⁸ à horizon 2028 entre 3 et plus de 10 fois la consommation énergétique réalisée en 2020 par rapport à une densification via la 4G seule. De même qu'en terme d'impact carbone, une densification via la 5G permet d'éviter pour tous les types de déploiement hormis le type C2 en cumul à horizon 2028 entre 2 et plus de 8 fois le volume d'émissions GES de 2020 par rapport à une densification 4G seule.

En revanche, pour le type de déploiement C2, le bilan en termes de consommation énergétique n'atteindrait l'équilibre qu'à partir de 2028 alors qu'il reste légèrement négatif en termes d'émissions de GES correspondantes à cet horizon.

Différents leviers supplémentaires non pris en compte dans cette étude devraient permettre de maîtriser davantage la consommation énergétique dans un scénario de déploiement 5G par rapport à un déploiement 4G seule. Parmi ces leviers, figurent notamment l'activation de fonctionnalités avancées de mise en veille des réseaux ainsi que les leviers qui permettent d'améliorer l'efficacité énergétique en augmentant les performances en débit (largeur de bande, systèmes AAS avec un ordre MIMO important). Par ailleurs, bien que cette étude puisse apporter un éclairage renseigné sur la valeur ajoutée de la 5G sur le plan de l'efficacité énergétique dans différents types de déploiement, ses enseignements se limitent uniquement à la phase d'usage de la technologie et n'ont pas vocation à renseigner de manière exhaustive sur son impact qui devra être adressé via une approche d'analyse par cycle de vie.

⁷ Le point d'équilibre étant atteint pour 2022-2023 pour le type de déploiement A et pour 2024-2026 pour les autres types (hormis le type C2).

⁸ Le cumul des économies en termes de consommation énergétique et d'émissions GES est calculé comme l'agrégat des économies déterminées chaque année tout au long de la période 2020 -2028 sans actualisation.

Par ailleurs, une étude de sensibilité de la croissance du trafic ainsi que des paramètres du modèle affine de consommation énergétique des stations de base 5G sur la comparaison à horizon 2028 de la consommation énergétique et émissions GES des scénarios « 4G seul » et « 4G + 5G » a été réalisée (voir annexe D de la note détaillée).

Ses enseignements principaux sont :

- Les résultats des simulations montrent une sensibilité par rapport au taux de croissance du volume de trafic et confirment le caractère structurant de ce paramètre pour l'introduction de la 5G dans le cadre des hypothèses de cette étude surtout pour les zones moins denses (type de déploiement C).
- Une variation à la hausse du taux de croissance de trafic de +5% par rapport au cas de base (c'est-à-dire 35% au lieu de 30%) entraîne une hausse des gains (consommations évitées) de l'ordre de 23% à 54% pour les types A et B ; le bilan type de déploiement C2 redevient même positif alors qu'il affichait un bilan quasi-équilibré dans le cas de base. On identifie par ailleurs la même variation en ce qui concerne le gain en termes d'émission de GES en phase d'usage.
- Une variation à la baisse du taux de croissance du trafic de -5% par rapport au cas de base (c'est-à-dire 25% au lieu de 30%) entraîne une baisse des gains (consommations évitées) de l'ordre de 38% et 48% pour les types A, B ; en revanche, le bilan du type de déploiement C1 bascule et devient légèrement négatif (l'introduction de la 5G entraîne une augmentation de la consommation de 0,25 fois la consommation d'un site 4G (2020) par rapport à un scénario sans 5G) et dans le type de déploiement C2 l'introduction de la 5G induit un incrément de consommation de l'ordre de 1,7 fois la consommation d'un site 4G (2020).
- Une faible sensibilité des résultats de l'étude (tant en termes d'émissions/consommations énergétiques évitées qu'en termes de ratio d'efficacité énergétique) sur les paramètres du modèle de consommation énergétique des stations de base 5G démontre que le rythme de croissance de trafic ainsi que les différents types de déploiement constituent les éléments les plus structurants sur les résultats et les conclusions de l'étude.

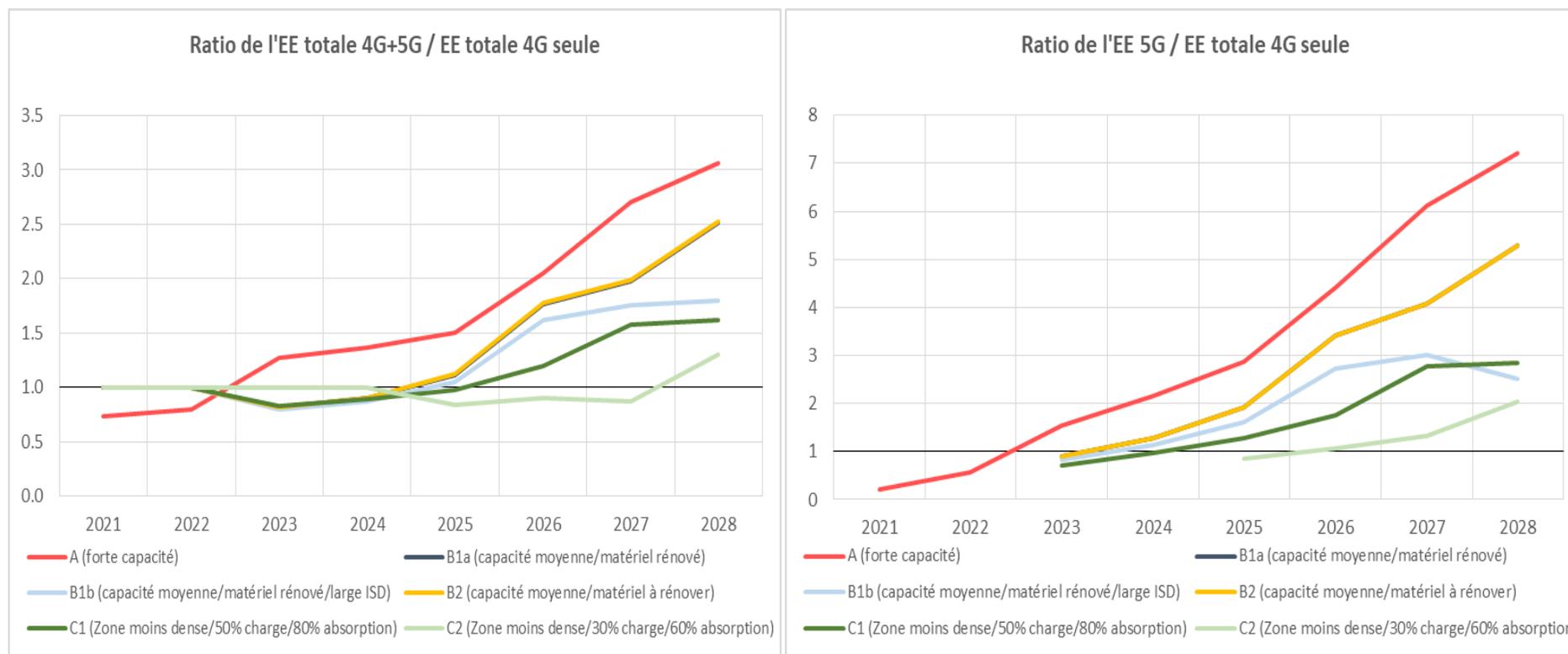


Figure 3 – **Gauche** : Evolution du ratio de l'efficacité énergétique totale 4G+5G (du scénario 4G+5G) et celle de la 4G (du scénario 4G seule) pour les différents types de déploiement. **Droite** : Evolution du ratio de l'efficacité énergétique de la 5G (du scénario 4G+5G) et celle de la 4G (du scénario 4G seule) pour les différents types de déploiement

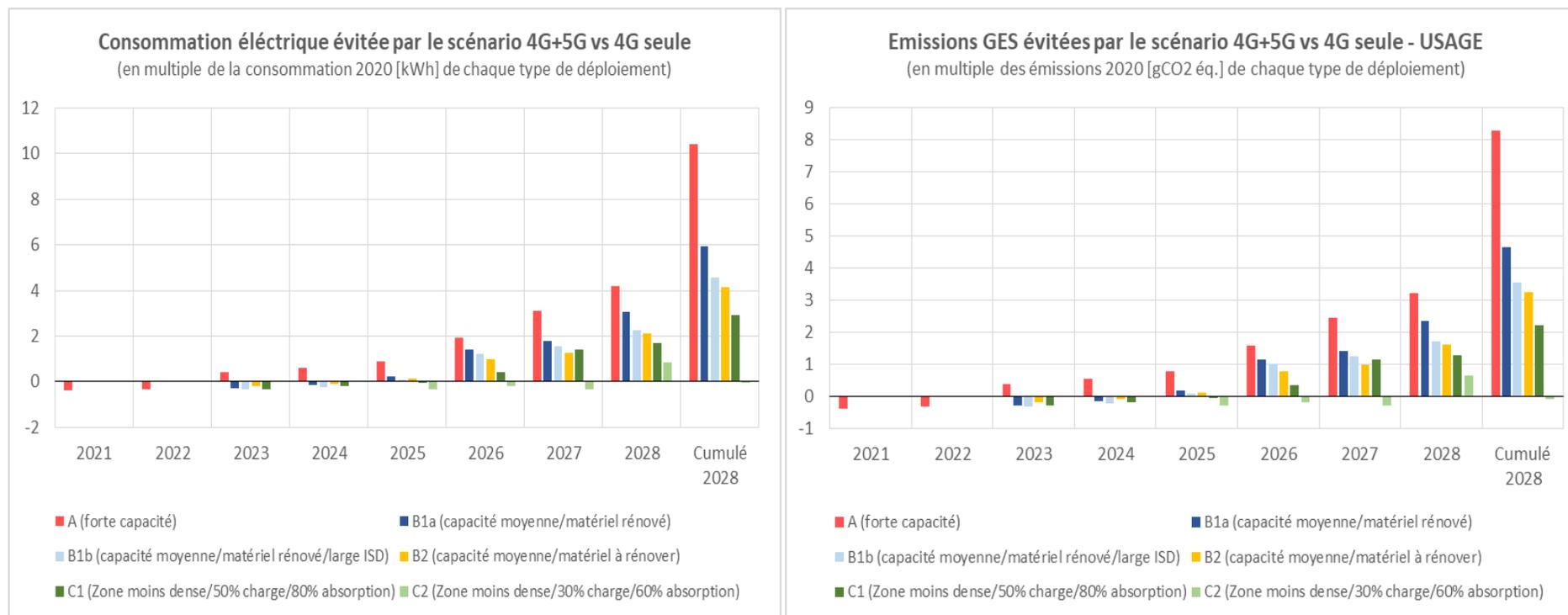


Figure 4 – **Gauche** : Consommation électrique évitée entre un déploiement 4G+5G vs 4G seule (référence 2020). **Droite** : Emissions GES évitées (phase Usage) entre les scénarios 4G+5G vs 4G seule (référence 2020)

