

Comprendre la 5G



Évolution ou révolution ?

Proposée par :



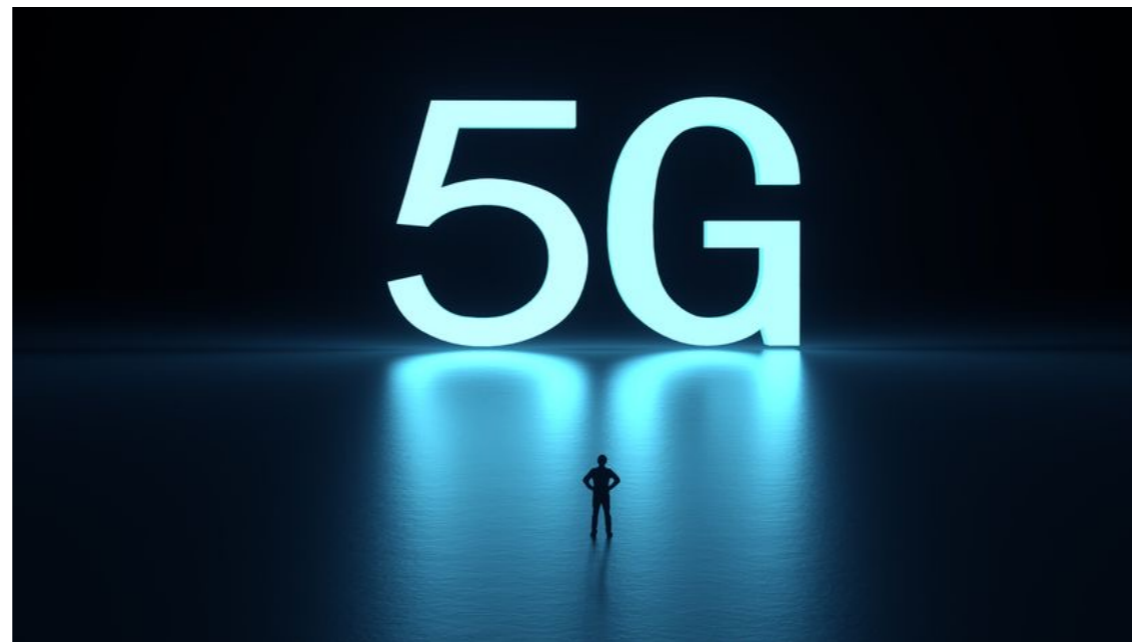
Animée par :



Avril 2022



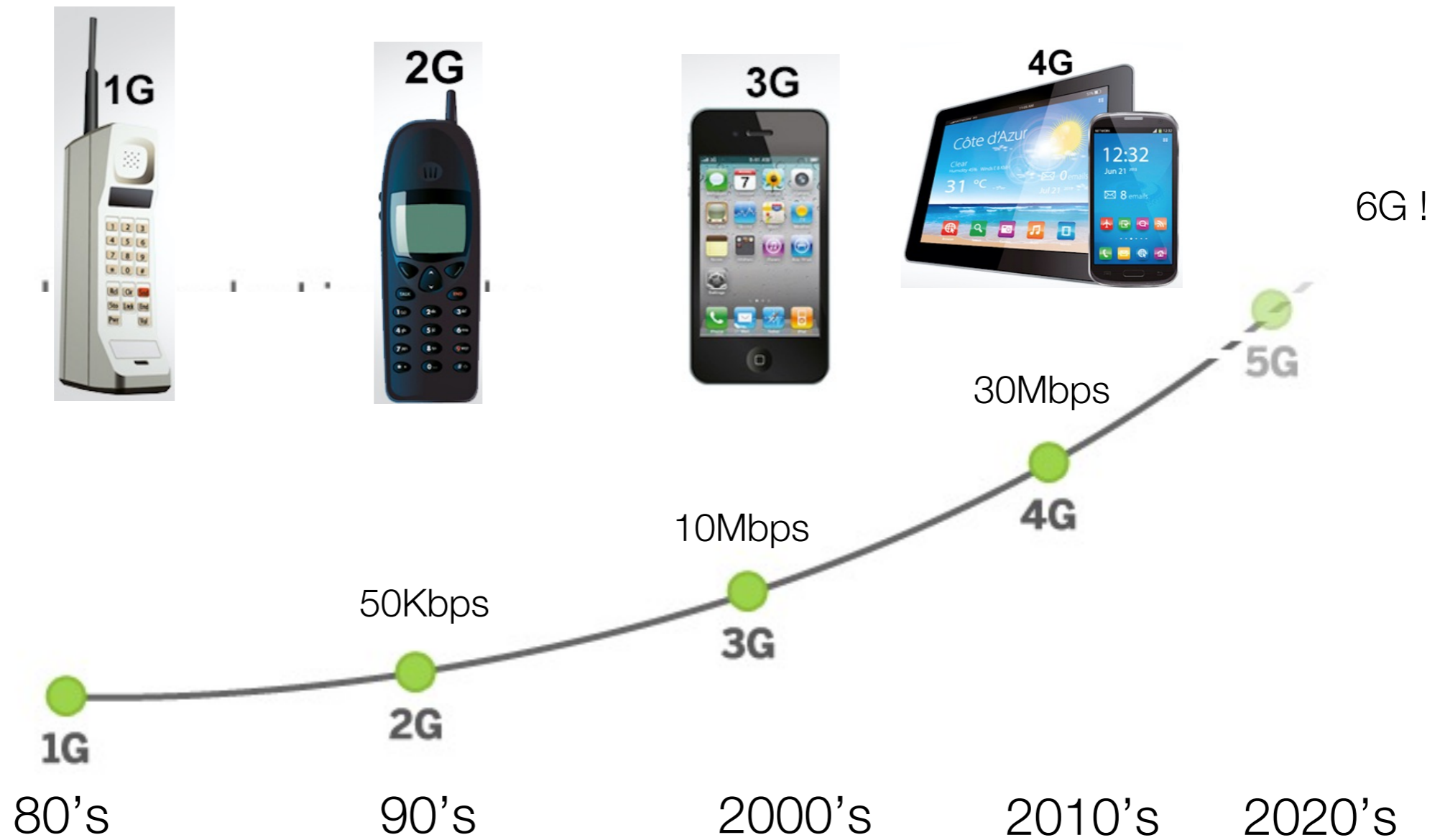
Comprendre la 5G



La 5G c'est quoi ?



Évolution des réseaux mobiles





Les innovations technique de la 5G

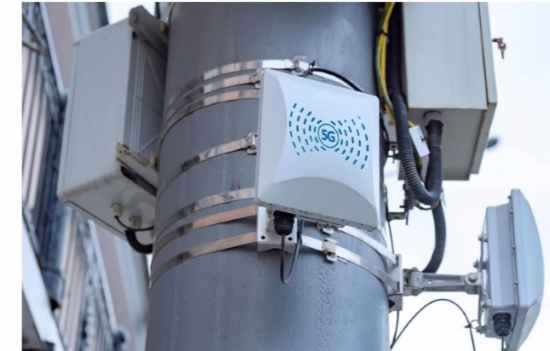
Nouvelles technologies radio

Antennes intelligentes (beamforming)

Diversité spatiale en émission et réception :
technique dite MIMO (multiple in / multiple out)

Multiplexage temporel : TDD.

(et non en fréquences - FDD - comme les précédentes générations)

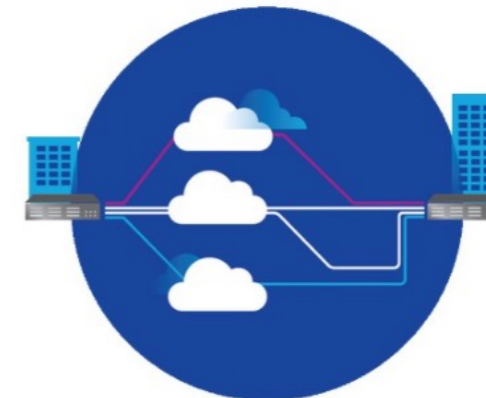


Nouvelles technologies de coeur de réseau

Virtualisation des fonctionnalités du réseau (technologies SDN et NFV *)

* Software Defined Network et Network fonction virtualization

« **Slicing** » de réseau



Nouvelles bandes de fréquences

3,6 Ghz : fréquences attribuées en 2020

26 GHz : prévues pour 2023, mais déjà expérimentées

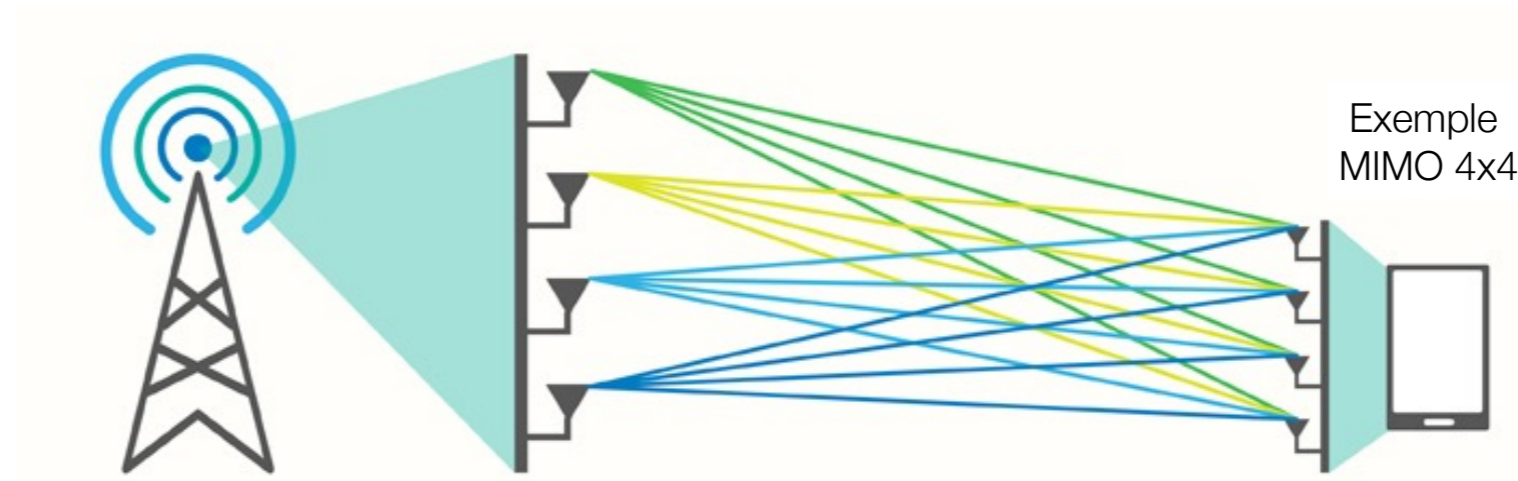




MIMO et beamforming

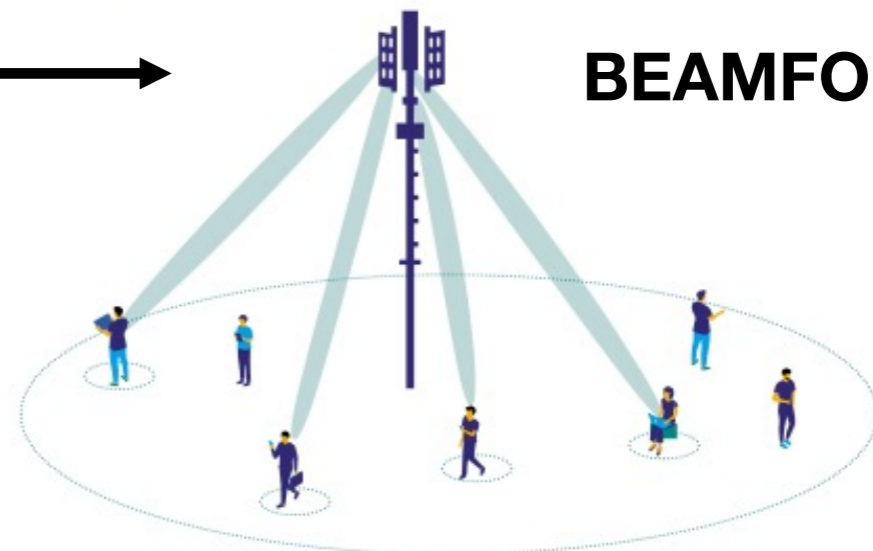
MIMO

(Multiple Input Multiple Output)



Antenne passive

2G | 3G | 4G | 5G
sans système d'émission
et réception directionnel
des signaux
fréquences < 1GHz



BEAMFORMING

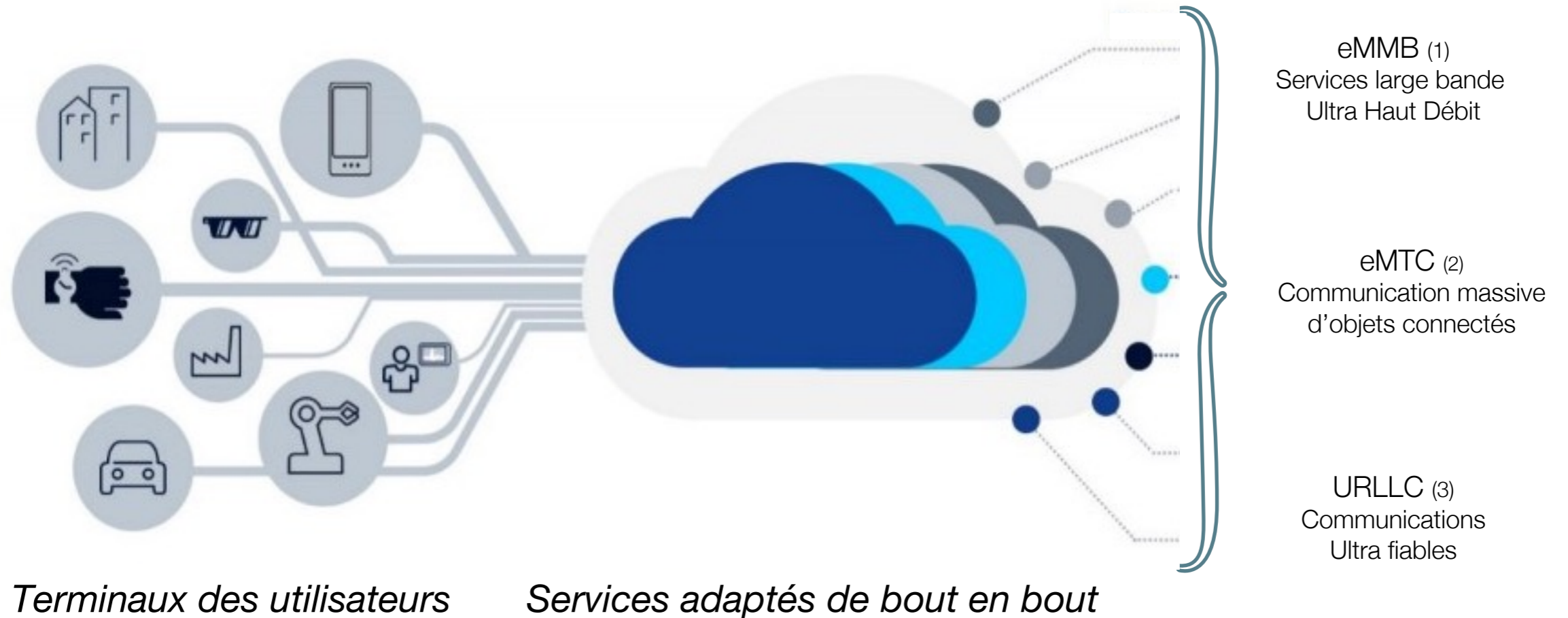
Antenne active

5G
avec système d'émission
et réception directionnel
des signaux
fréquences > 1GHz





Le « découpage » (slicing) du réseau



- (1) enhanced Mobile BroadBand
- (2) enhanced Machine Type Communication
- (3) Ultra Reliable Low Latency Communication



Comprendre la 5G

Par qui ? Quand ? Et comment est-elle déployée ?





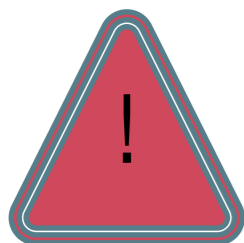
Les « licences 5G » en France

- **Les licences de la bande 3,4-3,8 Ghz ont été attribuées en Nov 2020 pour 15 ans sur cahier des charges suivi d'enchères (avec un montant de réserve)**
- **Revenu total pour l'état : 2, 789 Md € payables entre 2020 et 2034 + redevance de 1% sur le CA**

Obligations :

- **3000 sites par opérateur au 31/12/2022**
- **8000 sites par opérateur au 31/12/2024**
- **10500 sites par opérateur au 31/12/2025**
- **Débit descendant mini de 100 Mbps / bloc de 10 Mhz**
- **Latence < 5ms**

Les attributions par opérateur >>>



Mais les opérateurs sont également autorisés à déployer « la 5G » dans le cadre de leurs attributions précédentes, à savoir :
En 700 Mhz
En 2100 Mhz



...un déploiement de la « vrai 5G » très progressif



Des débits partagés

Envoyer et recevoir plus de données simultanément

Un réseau plus fiable et réactif

Réduire la latence au maximum

De plus en plus d'objets connectés

Maintenir le déploiement massif de l'internet des objets

Un réseau qui s'adapte aux usages

Ajouter plusieurs qualités de service sur un réseau: c'est le «slicing»

5G

Source ARCEP

2021

2025

2030

Déploiements dits NSA *

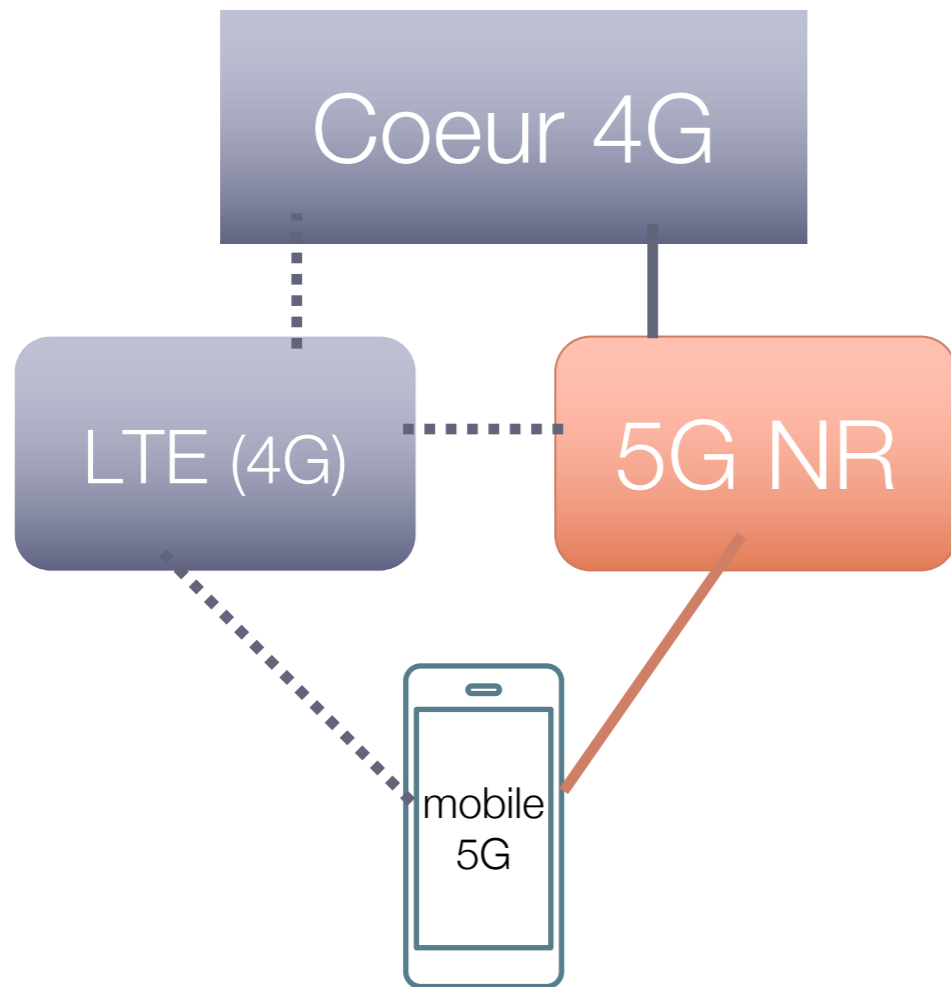
Déploiements dits SA *

* NSA pour non stand alone et SA pour stand alone

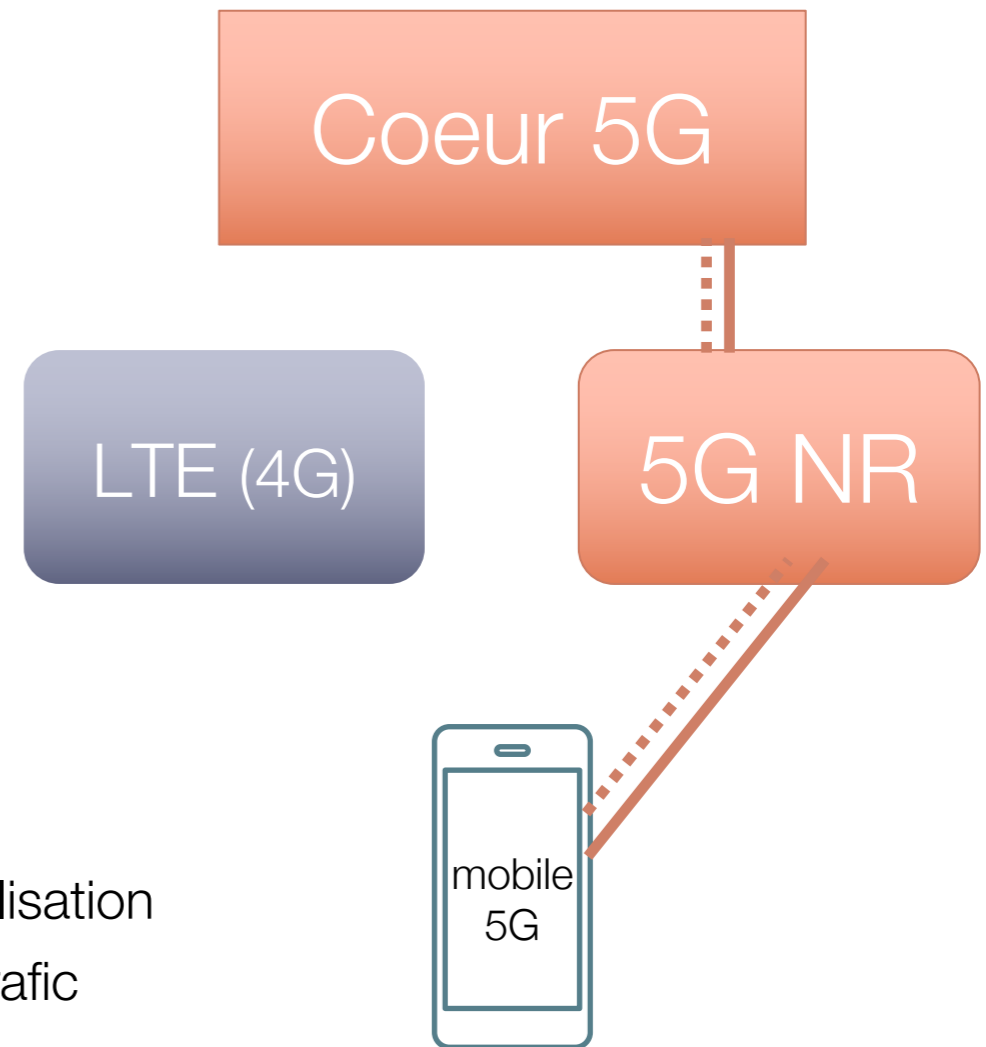


NSA vs SA : de quoi s'agit-il ?

5G NSA (Non Stand Alone)



5G SA (Stand Alone)



..... Signalisation
———— Trafic



Comprendre la 5G

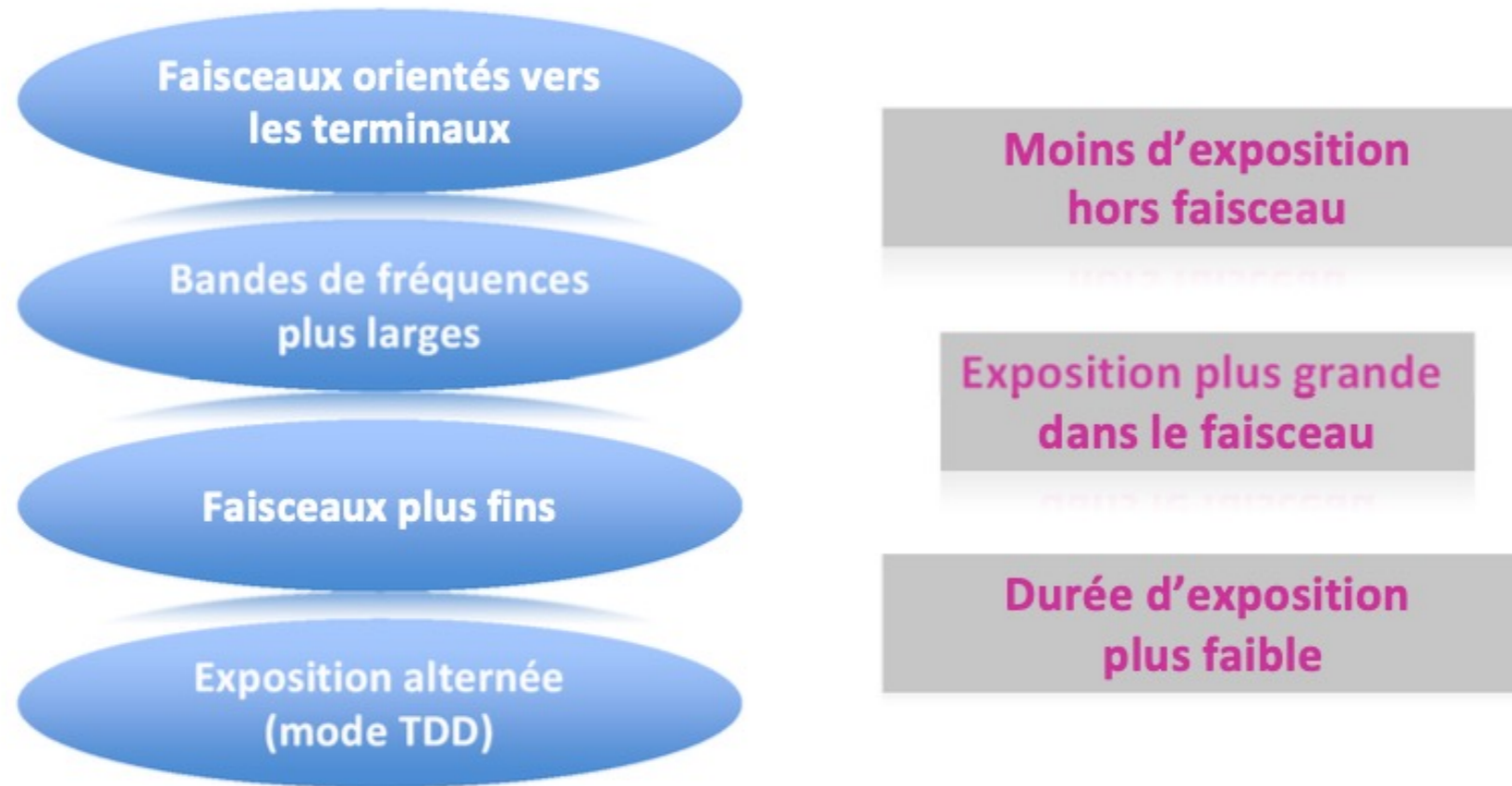


5G et santé : faut-il s'inquiéter ?



Mesure d'exposition en 5G

Un contexte technique différent de la 4G



L'exposition varie davantage dans le temps et l'espace qu'en 2G-3G-4G



Mesures avant/après : principe et planification

Principe

Mesure « avant » : réalisée avant l'ajout ou le passage en 5G

Mesure « après » : réalisée après déclaration de l'activation 5G

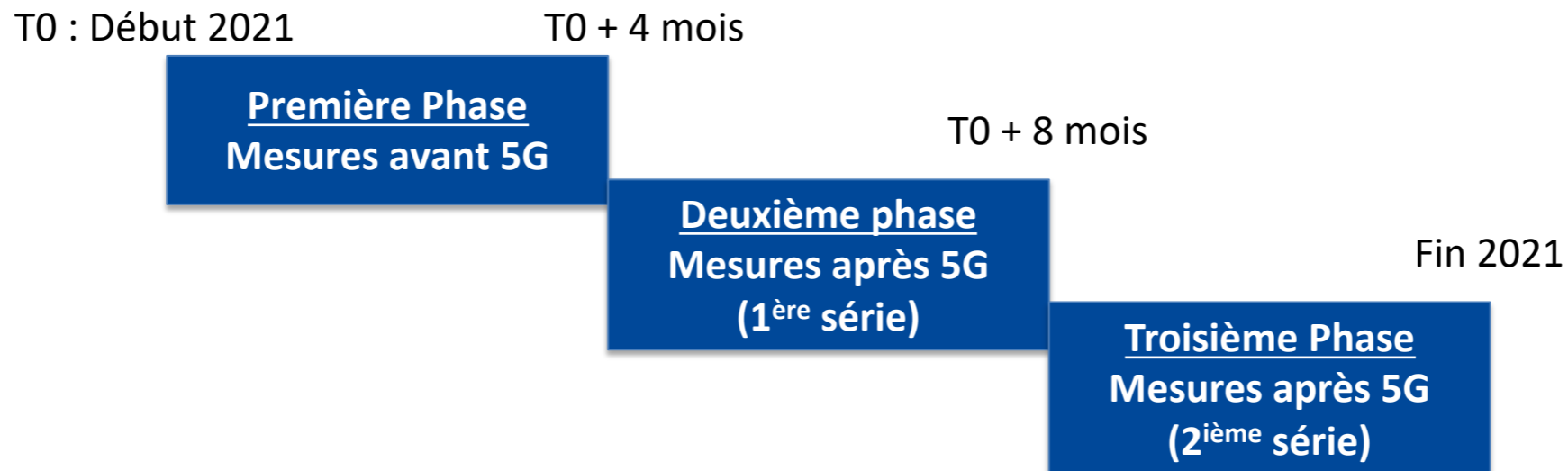
Objectifs de la campagne 2021 : 1 500 sites toutes bandes

Bande haute (90 %) et en bandes basses (10 %)

Répartition entre les quatre opérateurs

Mesure « avant » unique, 2 mesures « après » (+4 mois et +8 mois)

3 phases

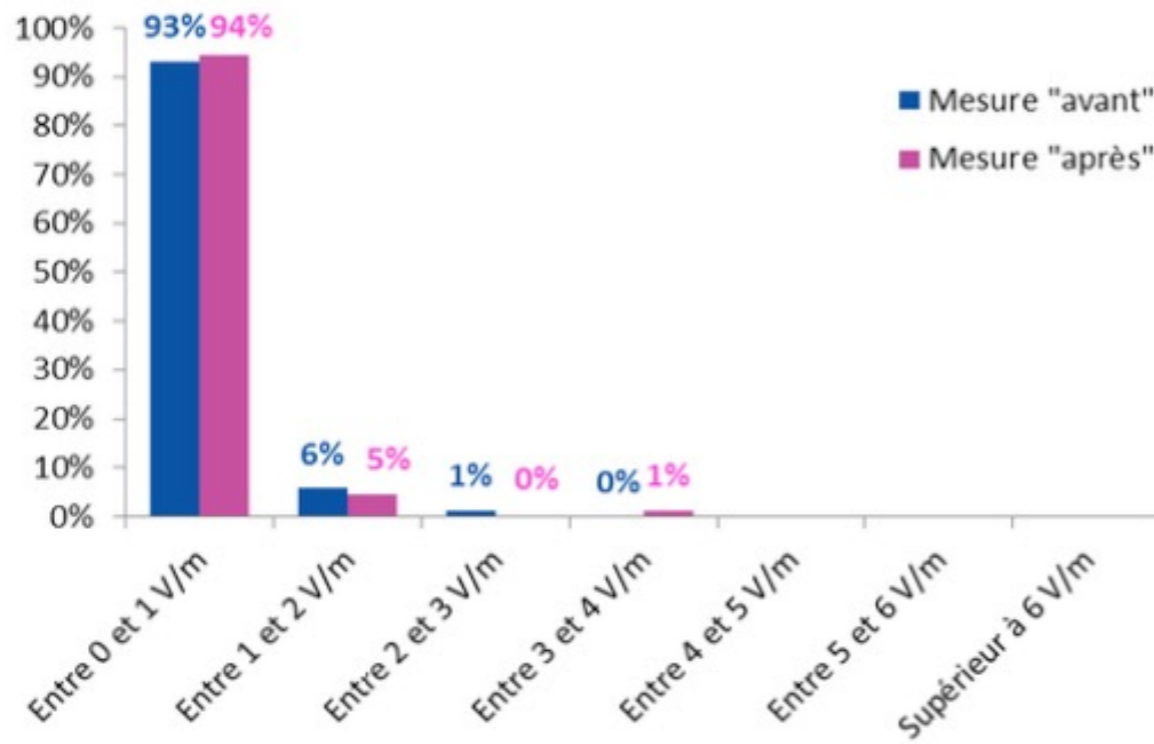


>> Pas encore de résultats

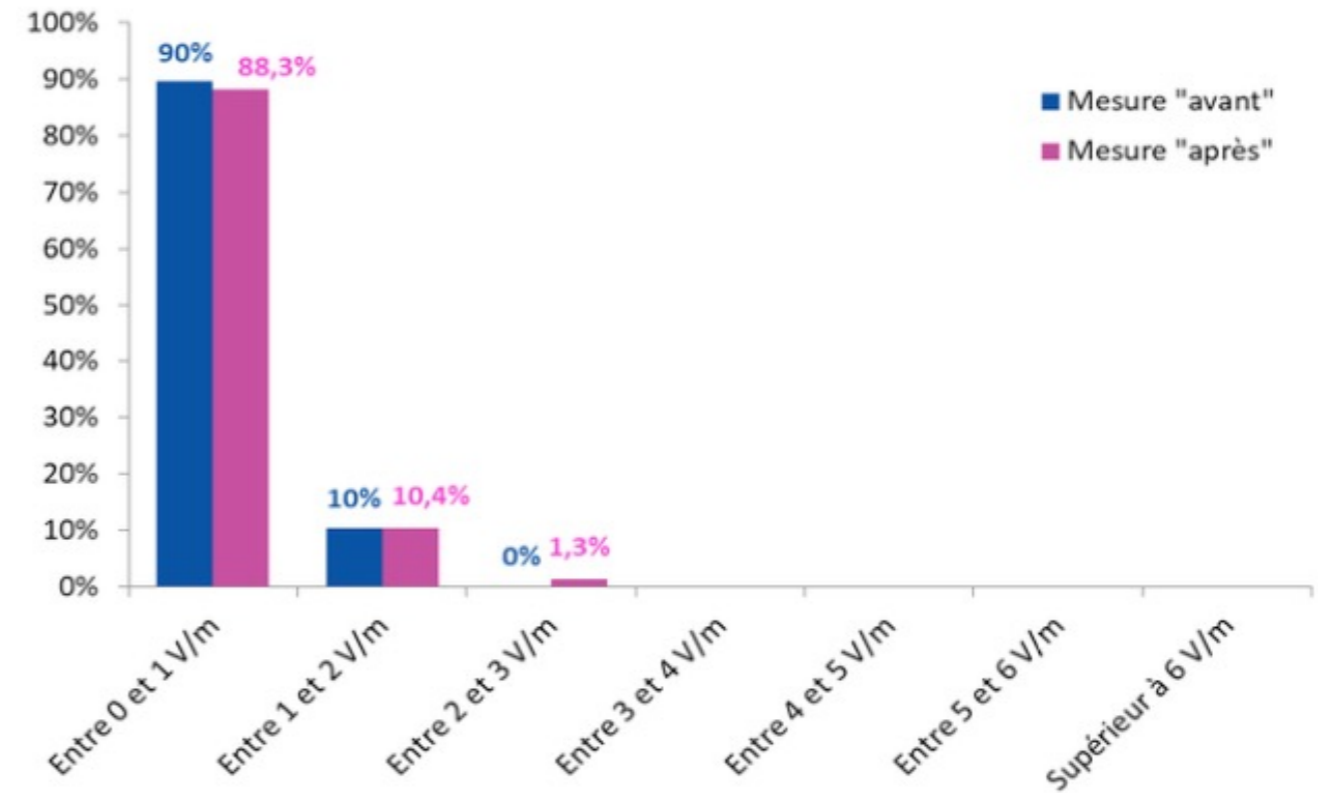


Les premiers résultats

Contribution de la bande TM 700 MHz

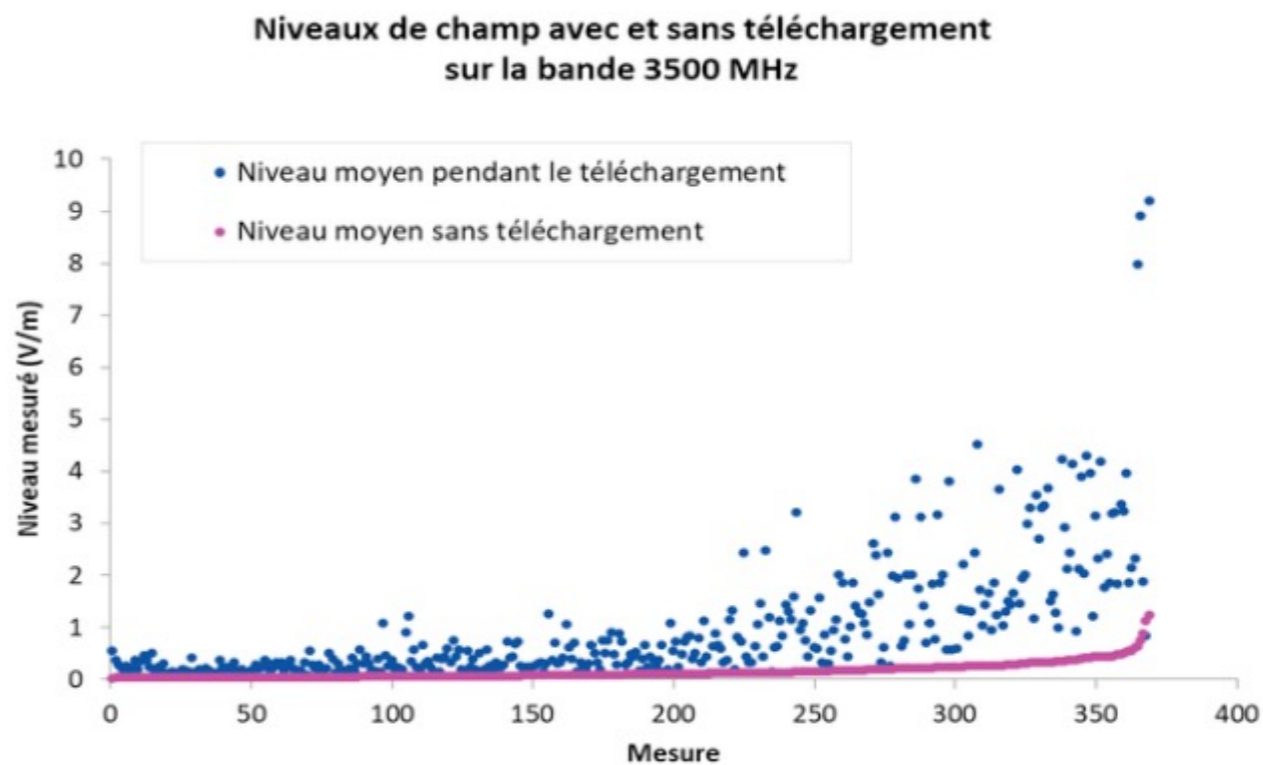
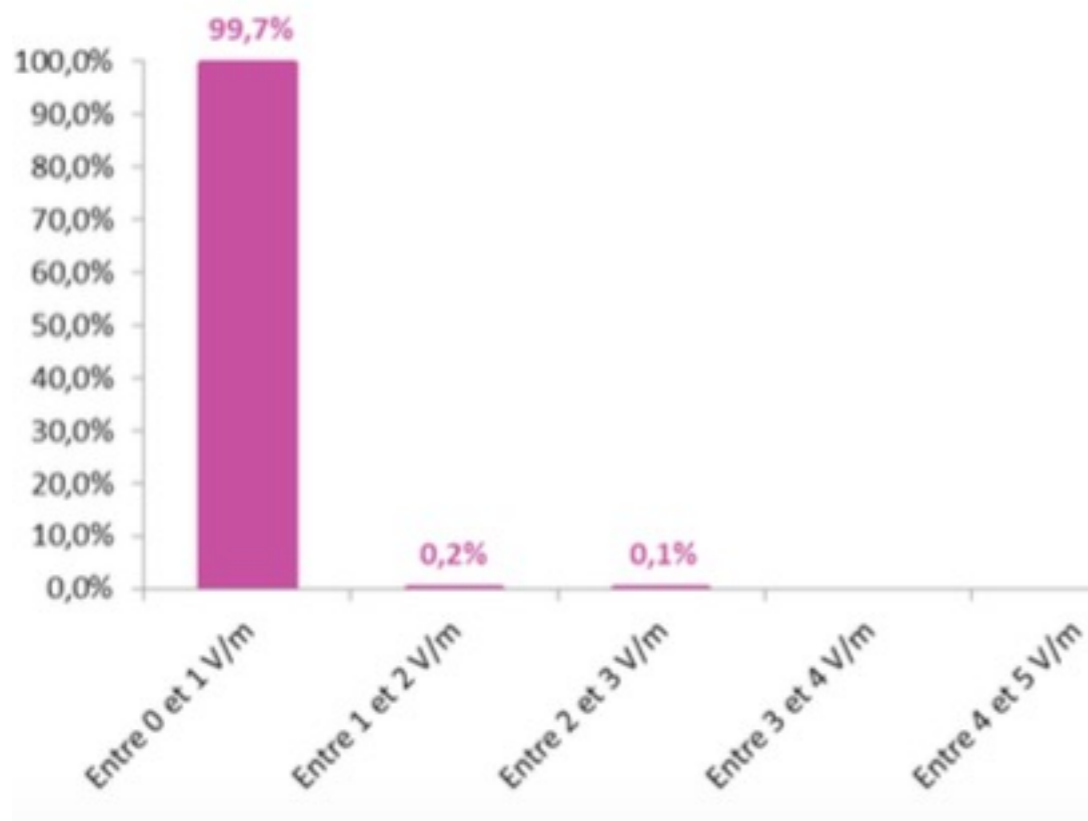


Contribution de la bande TM 2100 MHz

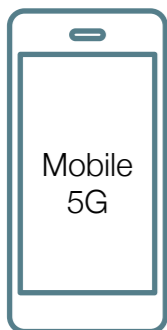




Le cas particulier de la bande cœur 3500Mhz



Le trafic 5G demeurant encore faible, des mesures complémentaires ont été demandées au laboratoire. Elles ont été réalisées en générant artificiellement du trafic 5G à l'aide d'un téléchargement de fichier de 1 Go.



L'ANFR a également contrôlé le DAS sur 13 téléphones portables 5G prélevés dans des points de vente en France. Ils sont apparus conformes à la réglementation.



Comprendre la 5G



Quel impact environnemental ?



Des avis divergents

c'est un sujet complexe lié
au compromis **efficacité spectrale / efficacité énergétique**
A la balance **externalités négatives / externalités positives**

La norme 5G NR optimise le codage (OFDM) et la modulation (256QAM), donc l'efficacité spectrale (le débit par hertz).

Le lobe est orientable et plus étroit, donc l'énergie nécessaire plus faible

La puissance nécessaire pour faire fonctionner un émetteur 5G serait de 200 W mais pour une bande de 100 Mhz
Un émetteur 4G consomme 50 W sur une bande passante de 20 Mhz

Sur le papier il y a une baisse en W/Hz qui passerait de 2,5 à 2

Plus d'émetteurs et plus d'antennes

Effet rebond sur les usages

Des applications IT for green : exemple télétravail vs transport ; smart monitoring, etc...

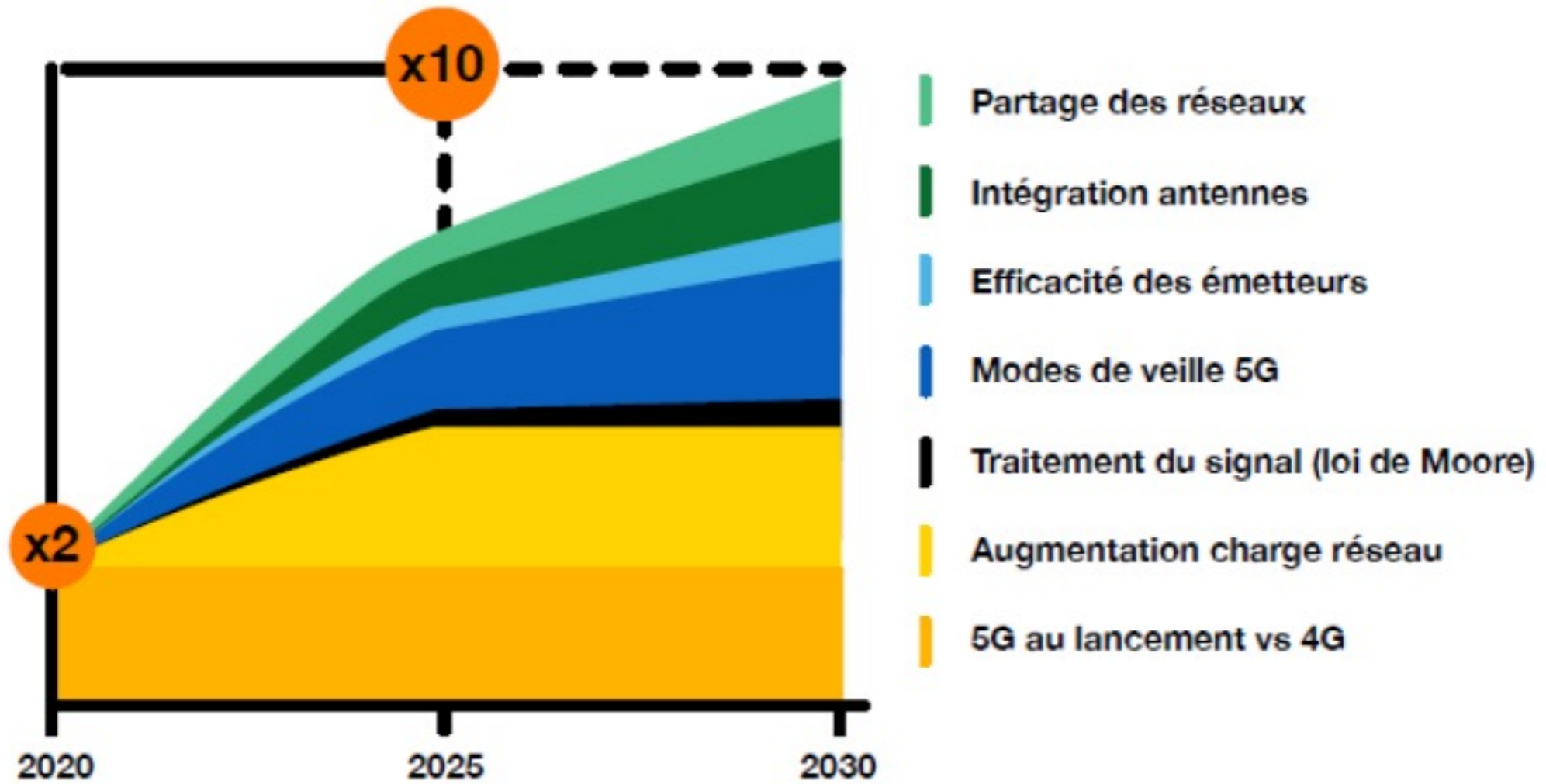
+ d'efficacité

Mais des externalités négatives

...et aussi positives



Des perspectives qui se veulent rassurantes



Source Orange



Comprendre la 5G



La 5G : à quoi ça sert ?



3 grands domaines d'usages de la 5G

10Gbps



Exemple

eMBB¹⁾
High data rates, high traffic volumes



Exemple

DEBIT



mMTC²⁾
Massive number of devices,
low cost, low energy consumptions



URLLC³⁾
Very low latency,
Very high reliability and availability



Exemple

LATENCE

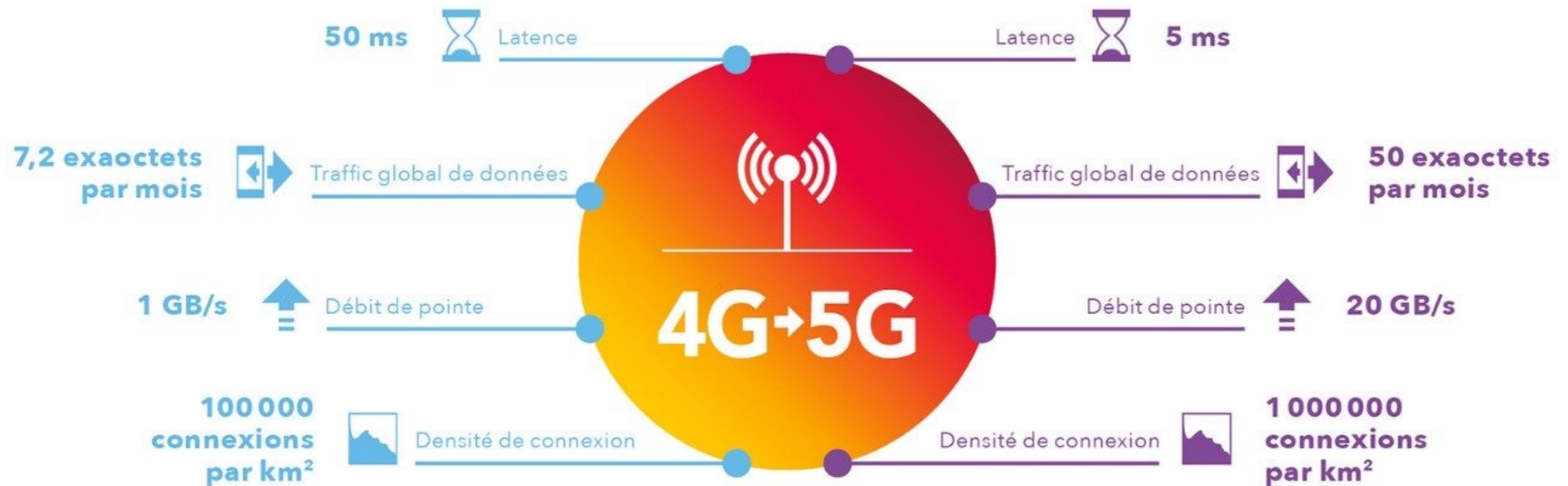
1ms

Standardisation 5G NR - 3GPP -

- (1) enhanced Multimedia Mobile BroadBand
- (2) enhanced Machine Type Communication
- (3) Ultra Reliable Low Latency Communication



Prendre en charge le développement des usages





Comprendre la 5G



6. La 5G un an après, où en est-on ?



Le bilan commercial

15 mois après le lancement commerciale peu d'informations circulent sur les ventes de terminaux et d'abonnements 5G

Seule source officielle : un entrefilet de l'Arcep datant de décembre 2021

« **le nombre de clients des opérateurs** disposant à la fois d'un forfait et d'un téléphone compatibles avec cette nouvelle technologie, **et ayant effectivement utilisé les réseaux 5G au cours du troisième trimestre 2021 atteint 1,6 million** »

Cela représente environ
2%
de taux de
pénétration

La relative lenteur du démarrage s'explique aisément par :

- > La nécessité de changer de mobile
- > La nécessiter de changer de forfait
- > La nécessité d'être sous couverture 5G dans ses zones de vie
- > Les faibles gains de débit par rapport à la 4G / 4G+



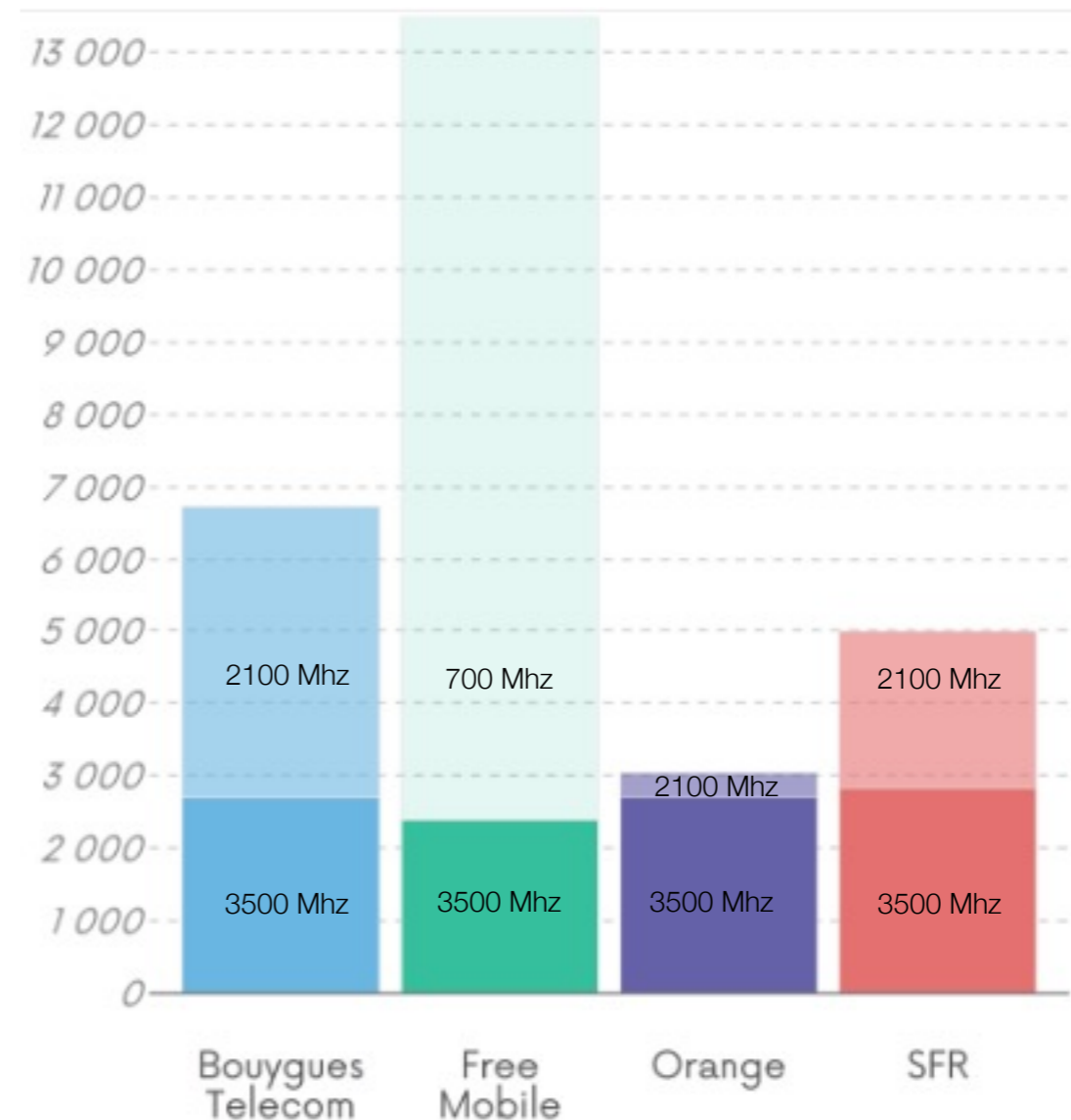
Un point sur les déploiements

32 930 sites 5G sont autorisés en France par l'ANFR, dont 5 sites en Outre-Mer.

24 046 d'entre eux sont déclarés techniquement opérationnels par les opérateurs de téléphonie mobile.

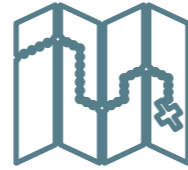
La quasi-totalité de ces implantations 5G sont autorisées sur des sites existants, déjà utilisés par les technologies 2G, 3G ou 4G. Seuls 4 sites n'hébergent que de la 5G. .

Nota : chaque opérateur devra avoir déployé a minima 3000 sites en bande 3500 Mhz d'ici fin 2022

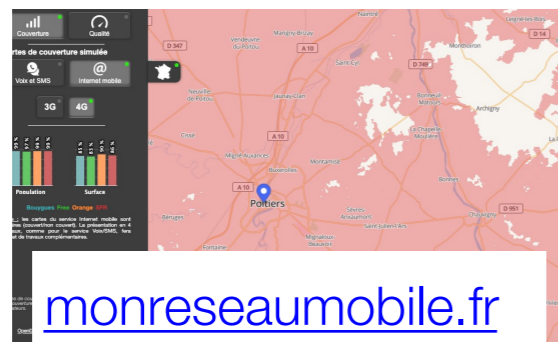


Couverture 5G : comment s'informer ?

Les cartographies interactives



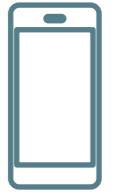
Source ANFR



Source ARCEP

[Observatoire de la 5G](#)
(Cartes passives)

Les applications mobile de « speed test »



nPerf
Qosbee
Meteor
SpeedSmart
5Gmark
Opensignal
Open Barres



Faut-il s'équiper ?

Aujourd'hui ?

3 conditions :

- 1) Si l'on est en couverture sur ses zones de vie
- 2) Si l'on est en situation de changer de mobile
- 3) Si ses usages nécessitent un surcroît de débit

...et demain ?

Des perspectives intéressante en IoT

Des perspectives intéressante pour les entreprises

Merci pour votre attention

Egalité Numérique

HAUT DEBIT



Retrouvez nous sur

<https://egalitenumerique.online/>

www.afutt.org

Et sur YouTube

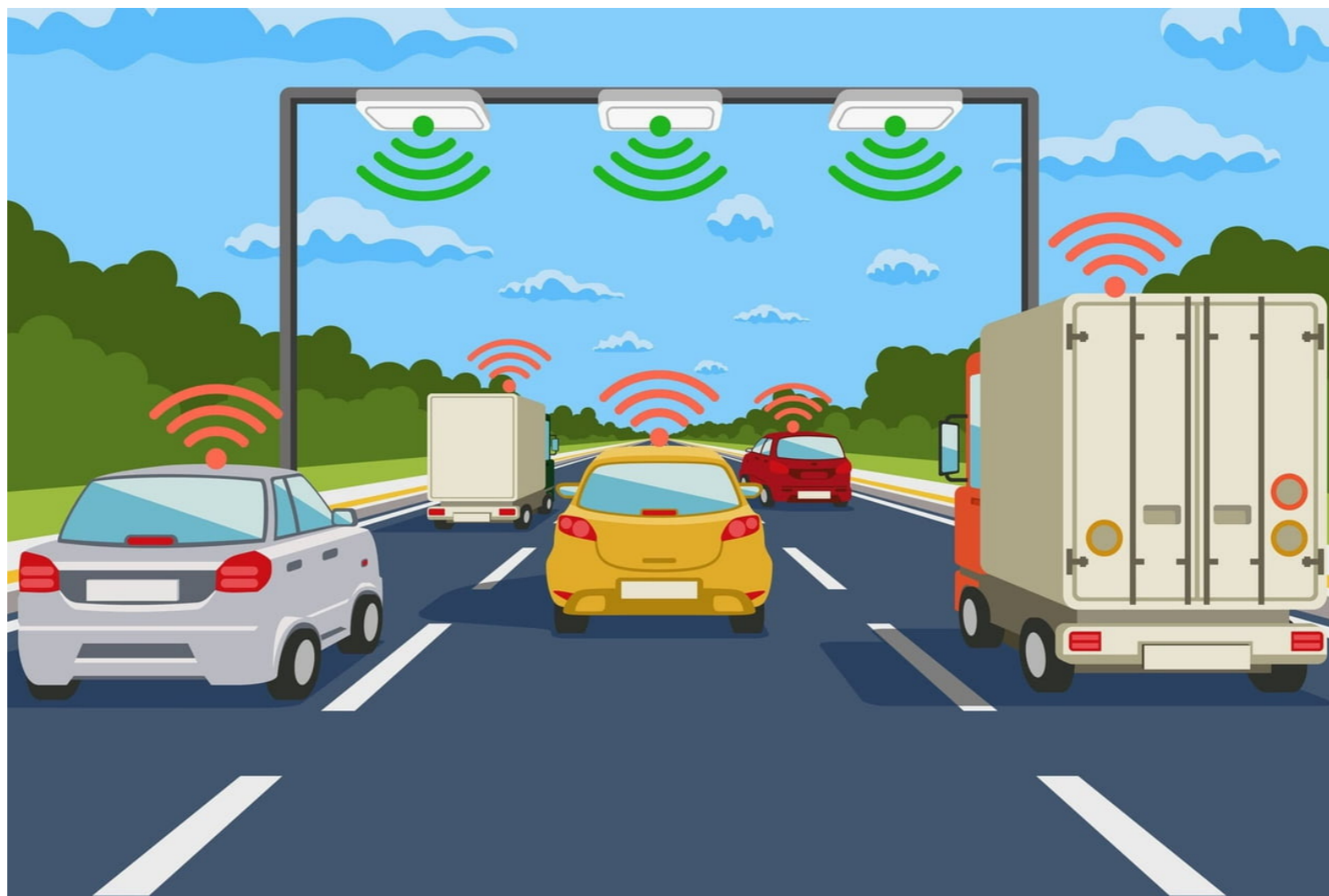
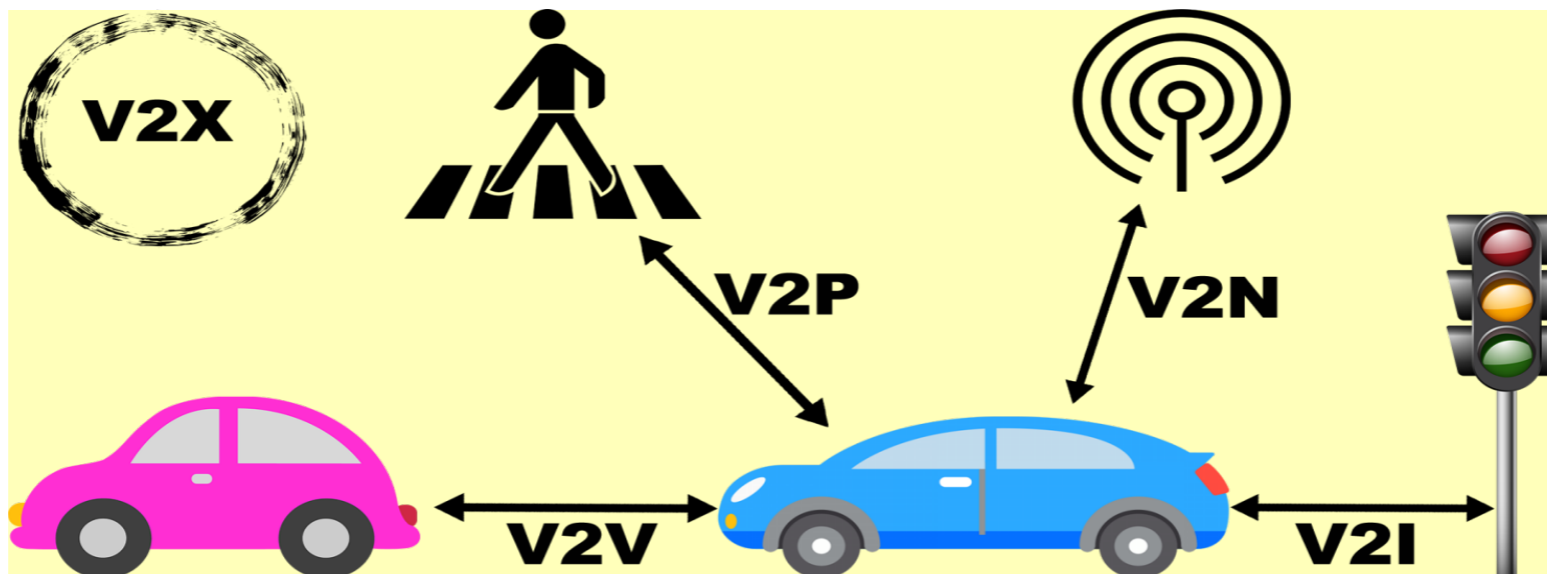
https://www.youtube.com/results?search_query=afutt

ANNEXES



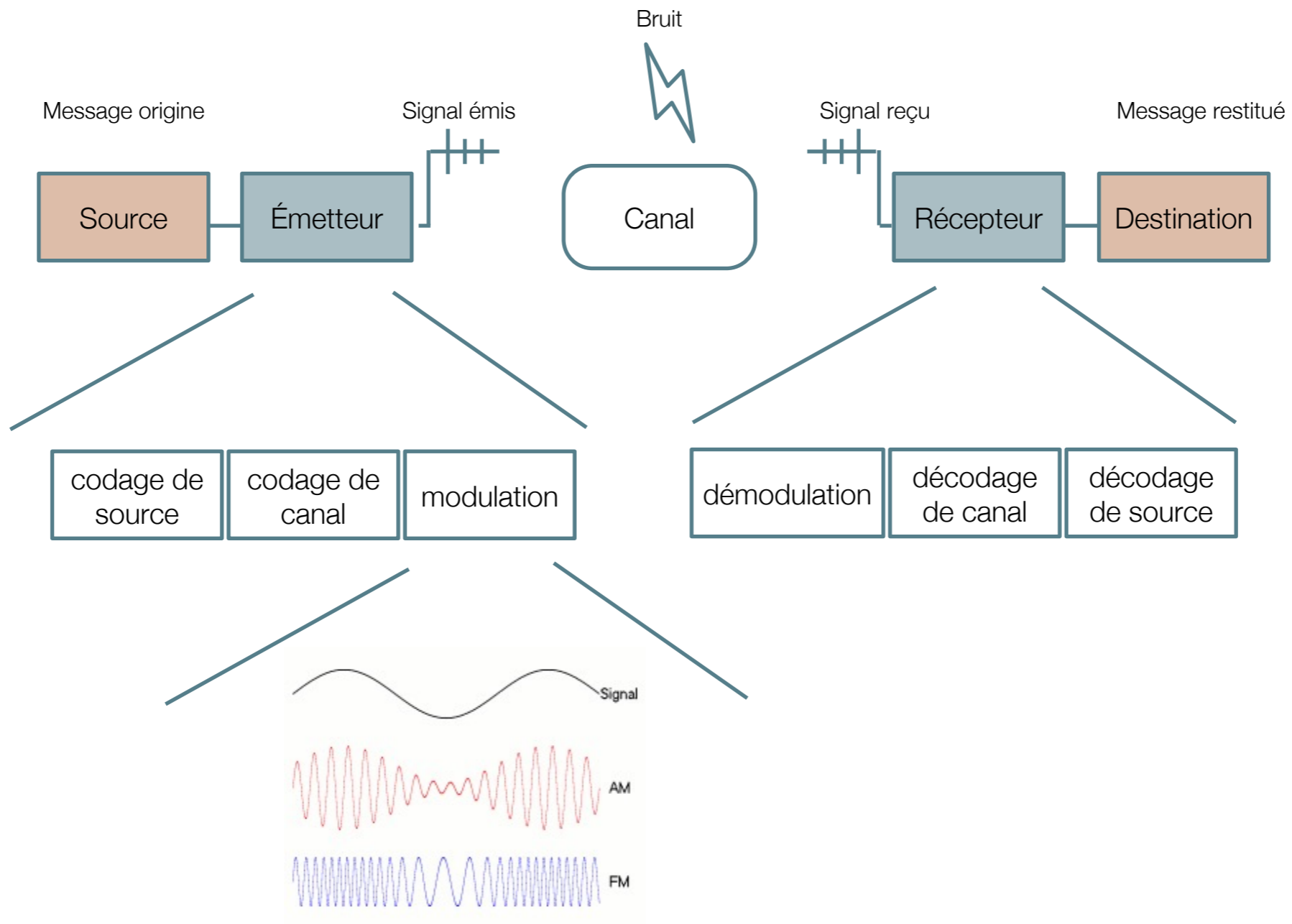
Cas particulier de la voiture autonome

Domaine
URLLC



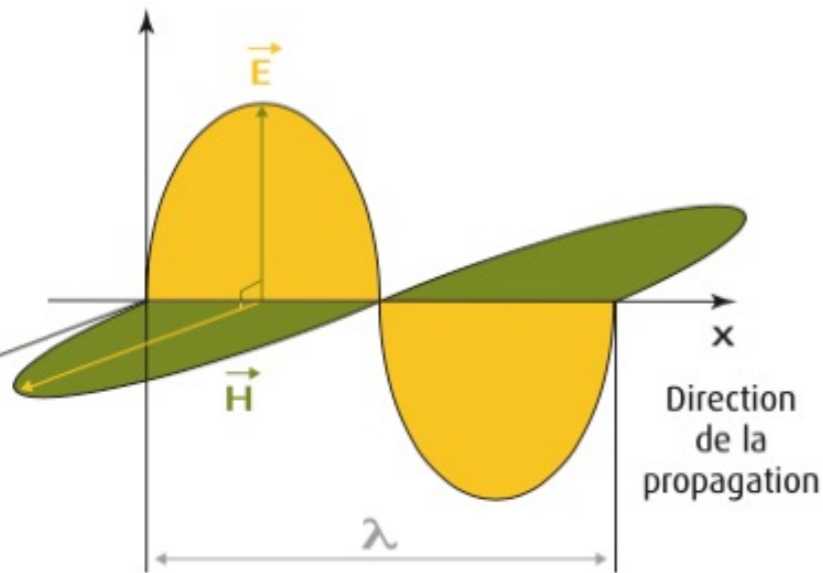


Les radiocommunications : comment ça marche ?





Les champs électromagnétiques - unités associées



À une certaine distance de la source **les deux champs se propagent de façon ondulatoire**, en phase et perpendiculairement l'un à l'autre dans un plan perpendiculaire à la direction de propagation.

On parle d'une onde formée

Les unités associées

- > L'intensité du champ électrique E s'exprime en volts par mètre (V/m).
- > L'intensité du champ magnétique H s'exprime en ampères par mètre (A/m).
- > La **puissance** émise par une antenne s'exprime en **watt**

Gains et pertes

Le rapport, est exprimé en décibels **dB**, entre la puissance émise (P_t) à la puissance reçue (P_r): selon la formule $10 \log (P_t / P_r)$

En réseau mobile, les niveaux de réception peuvent être très faibles : jusqu'à - 100 dBm (0,1 pictowatt) **soit 10^{-12} watt !**

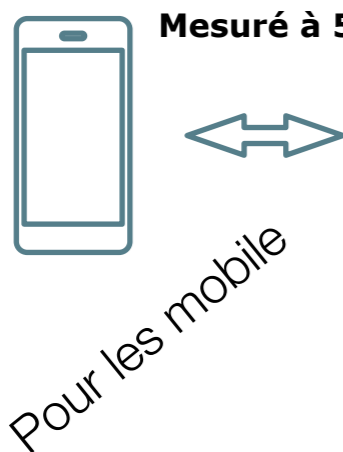
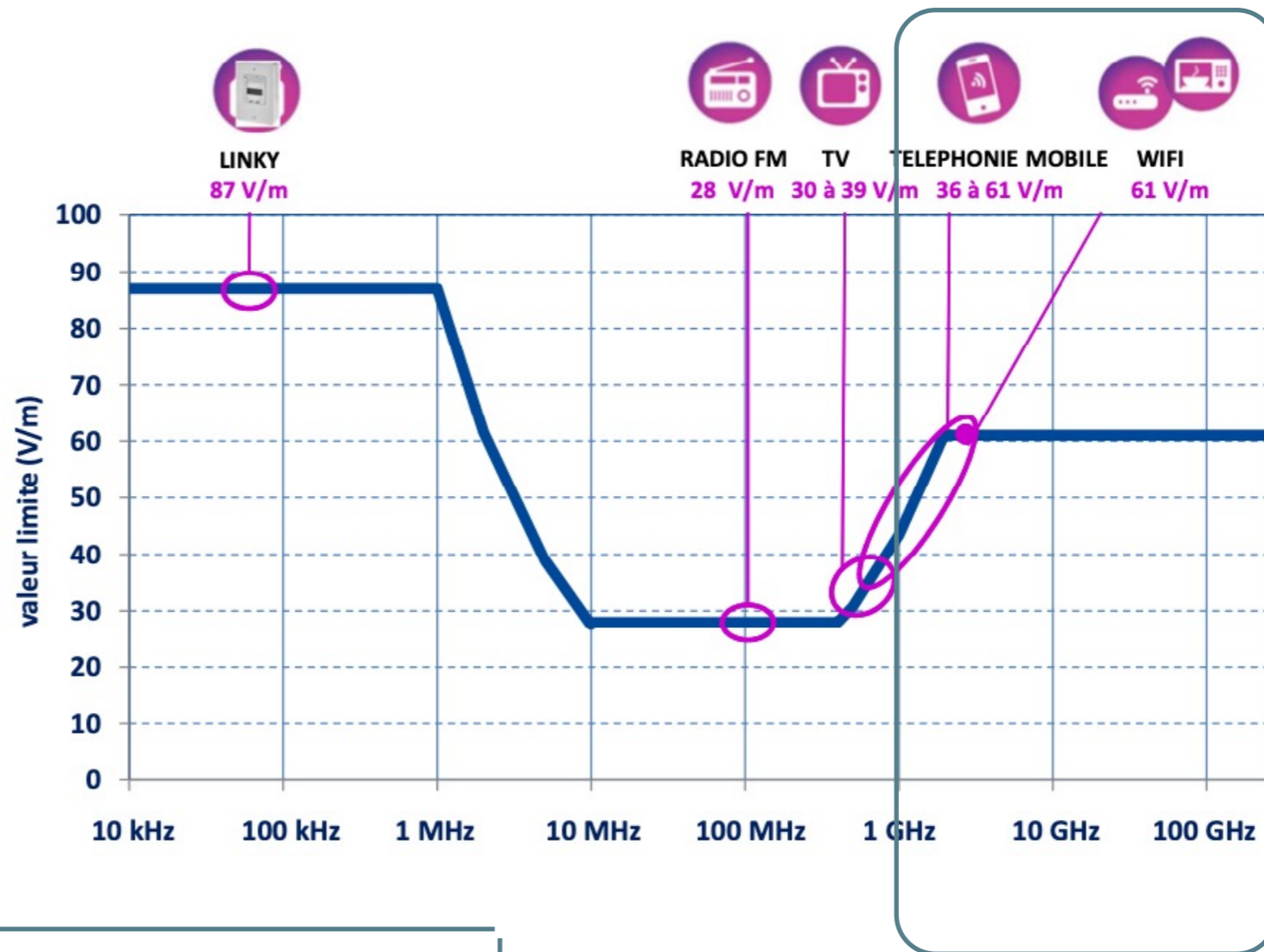
Nota : 0dBm = 1mW



Exposition aux ondes : les limites réglementaires*



Pour les relais



Mesuré à 5 mm

Pour les mobile



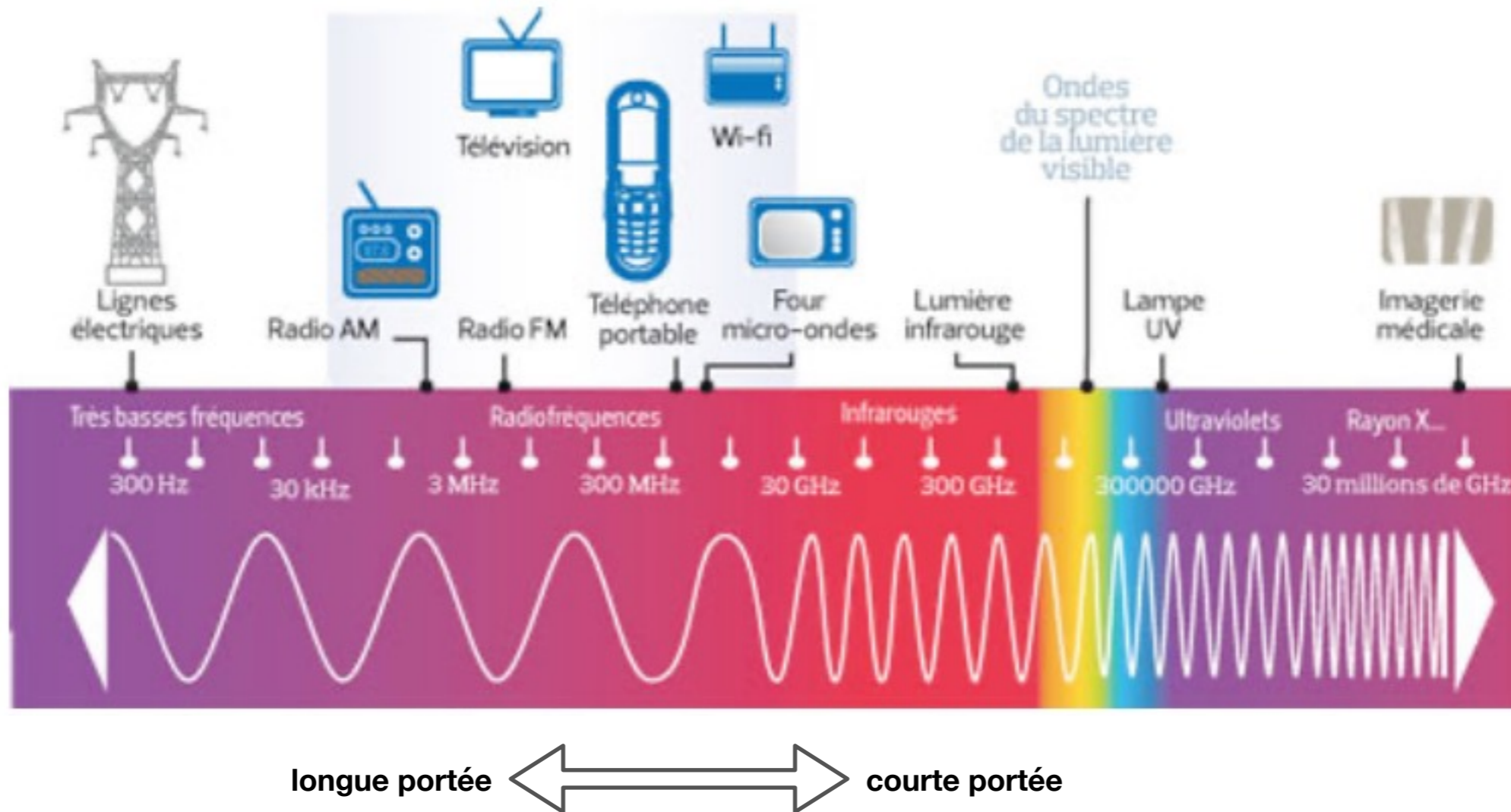
- **DAS tête**
2W/kg
- **DAS tronc**
2W/kg
- **DAS membres**
4W/kg

Réseaux mobiles :
Limites entre 36 et 61V/m, selon fréquences

* Fixées par les travaux de l'ICNIRP et par :
 - a recommandation européenne du 12 juillet 1999
 - le décret N° 2002-775 du 3 mai 2002 pour la France

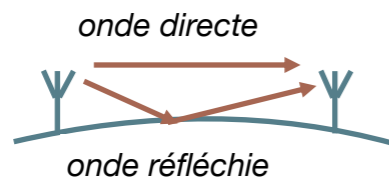


Le spectre radioélectrique

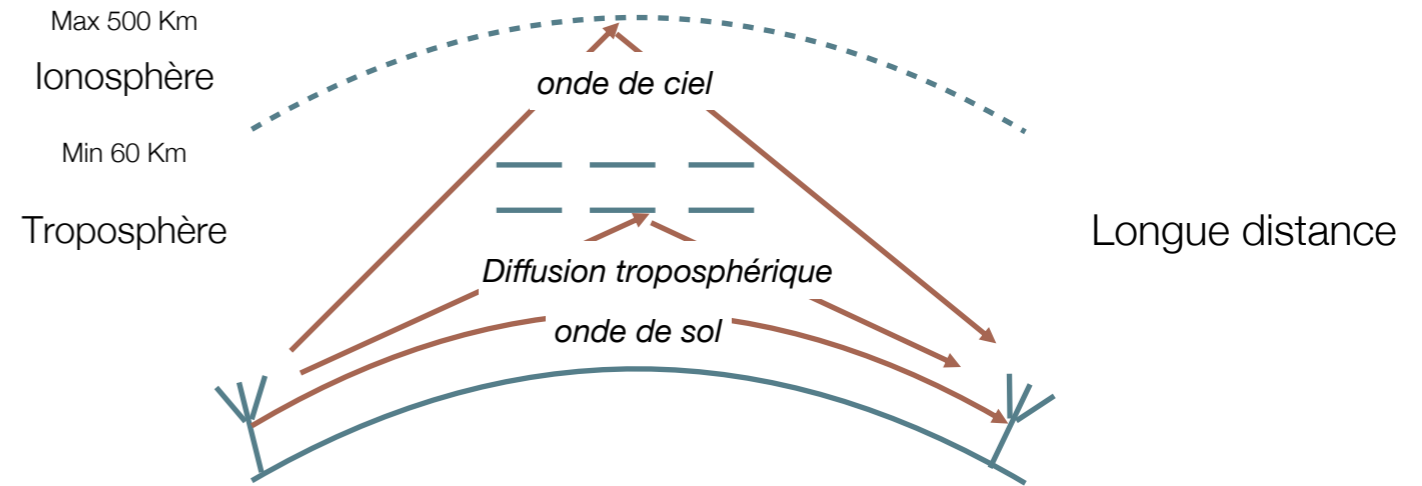




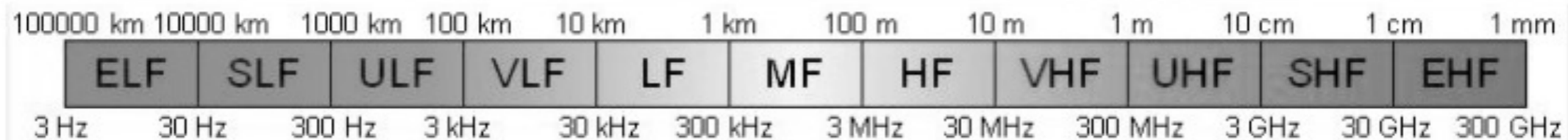
Propagation des ondes



Courte distance

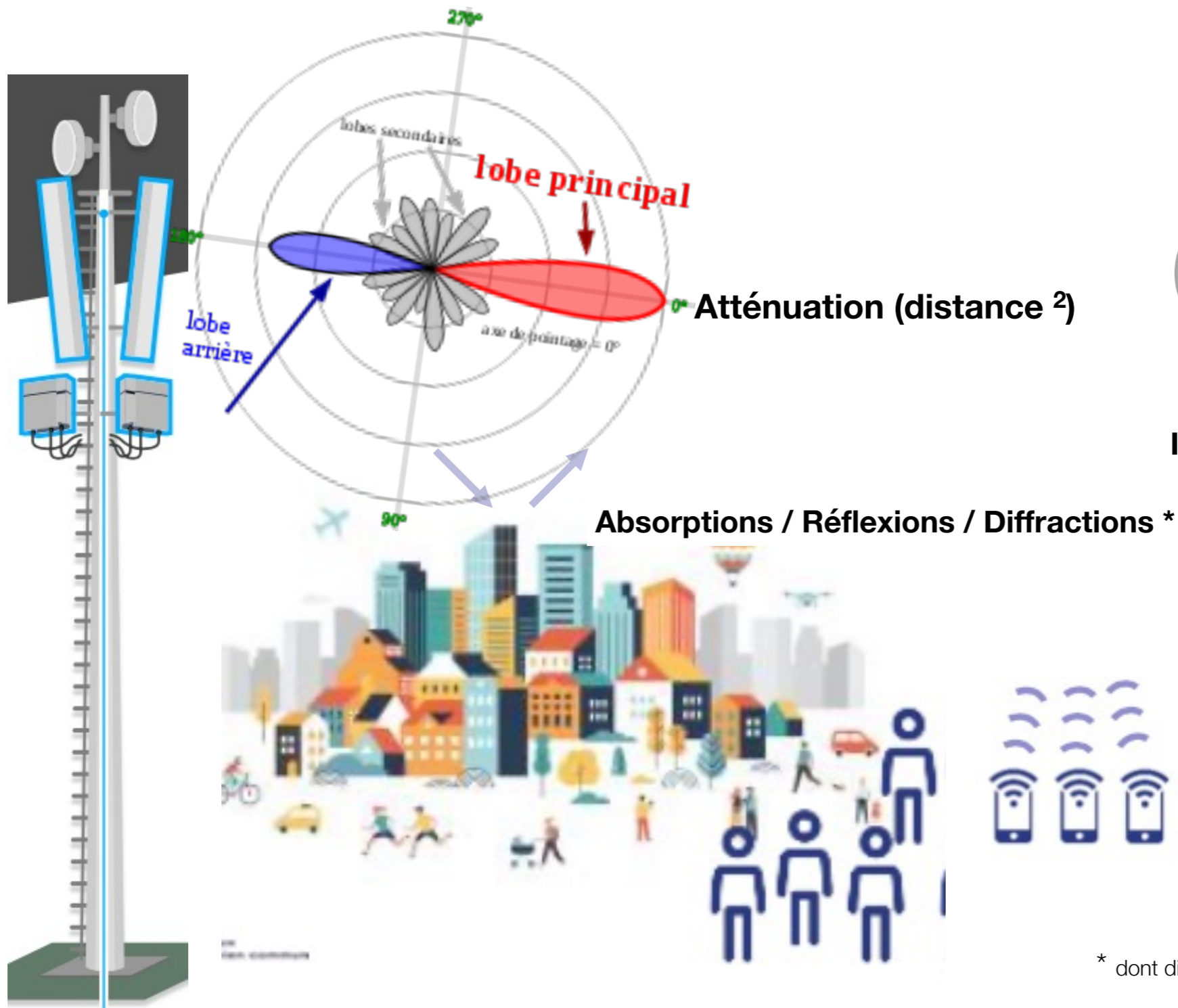


Fréquence	Longueur d'onde	Bande	Ondes prépondérantes	Caractéristiques
300 GHz à 300 MHz	1 mm à 1 m	EHF à VHF	* Directe * Diffusion troposphérique	- Très bonne directivité - Réflexions sur obstacles
30 MHz à 2 MHz	10 m à ~150 m	HF	* Ionosphérique (onde de ciel)	- Portée mondiale sans interférences - Excellent rendement en moyenne portée
2 MHz à 30 kHz	~150 m à 10 km	MF à LF	* Ionosphérique * de surface (onde de sol)	- Onde ionosphérique absorbée de jour - Parasites atmosphériques devenant importants vers les LF.
30 kHz à 3 kHz	10 km à 100 km	VLF	* de surface * ionosphère (guide d'onde)	- Onde ionosphérique pré-domine à grande distance - Brutale variation de l'absorption au coucher du soleil - Parasitages atmosphériques importants - Pénétration dans l'eau de mer





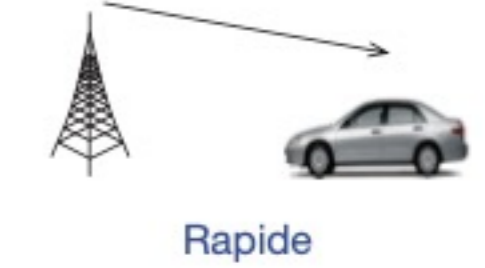
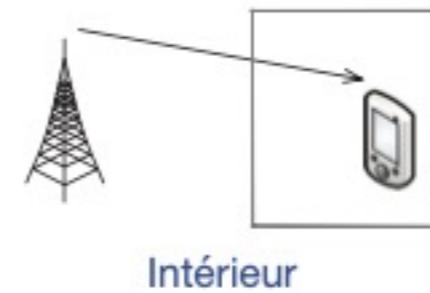
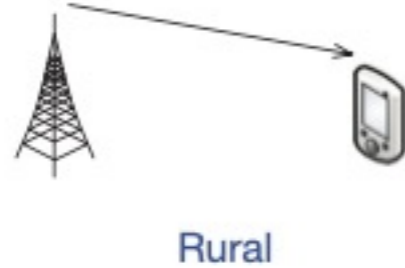
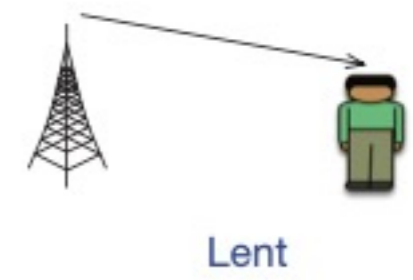
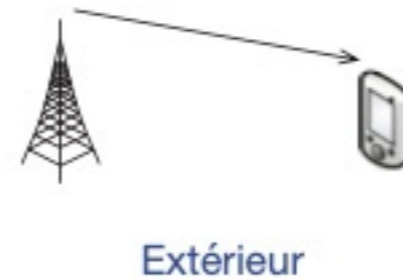
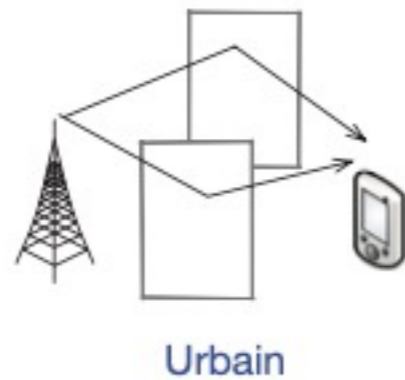
Propagation à partir d'un relais de téléphonie mobile



* dont diffusion de Rayleigh



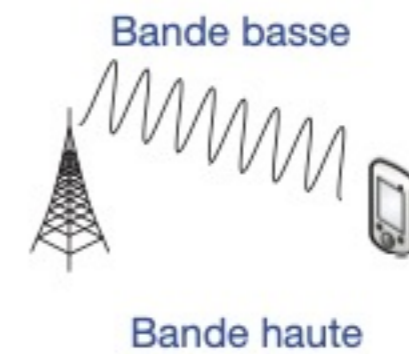
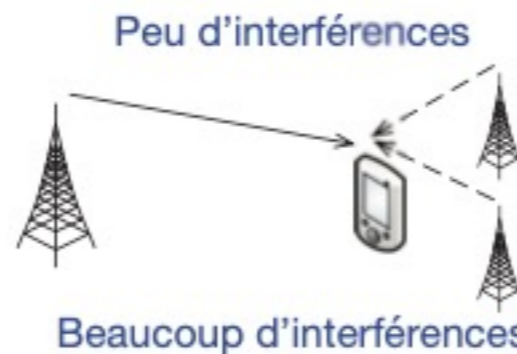
Couverture : rôle de l'environnement et de la fréquence



A savoir

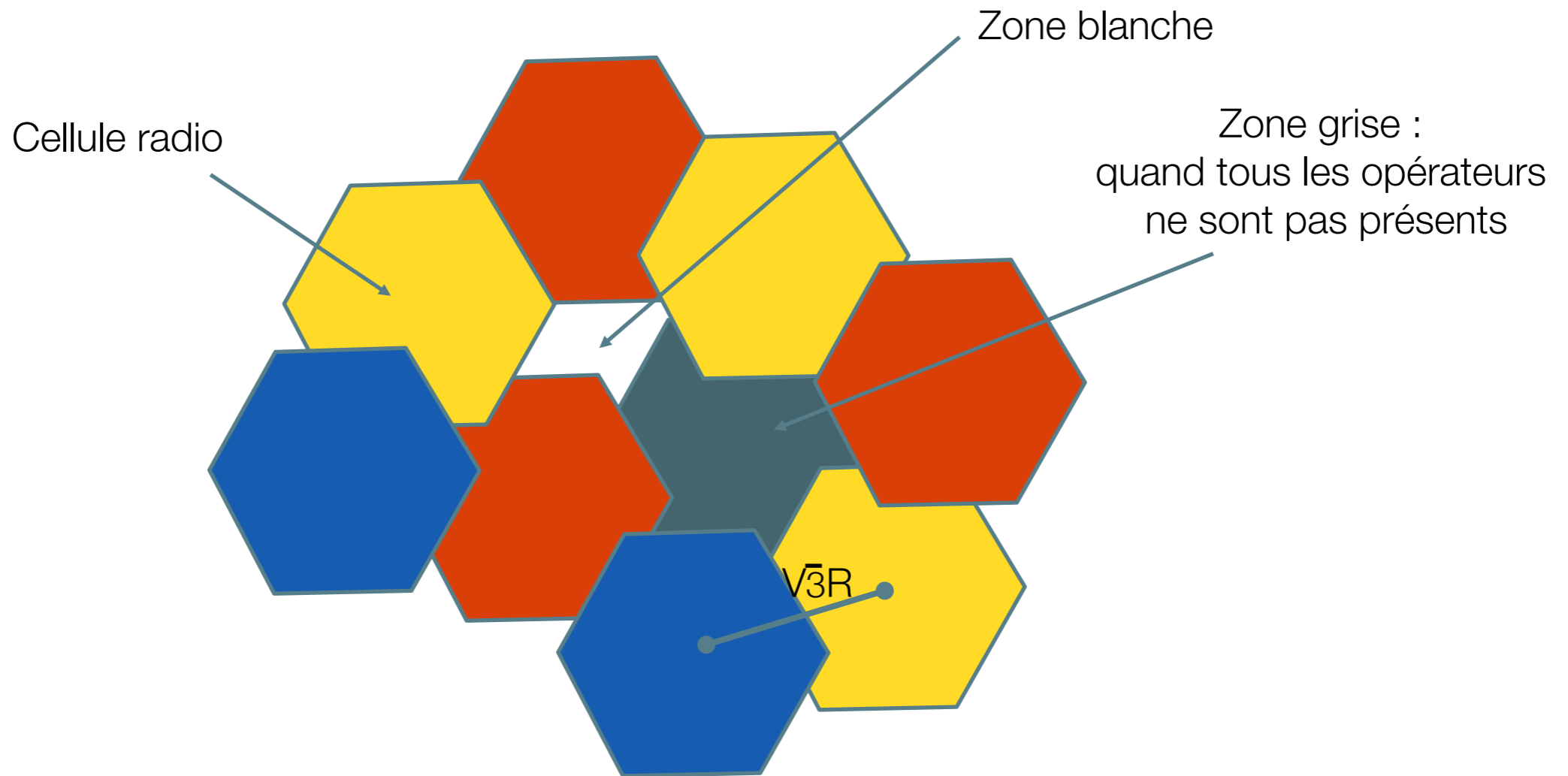
La couverture dépend :

- > De la bande de fréquence utilisée
- > de la puissance de l'émetteur
- > de la sensibilité du récepteur
- > de la météo et de la saison
- > du terrain et du sur-sol (des obstacles)
- > de la vitesse de déplacement du mobile





Couverture : l'ingénierie cellulaire

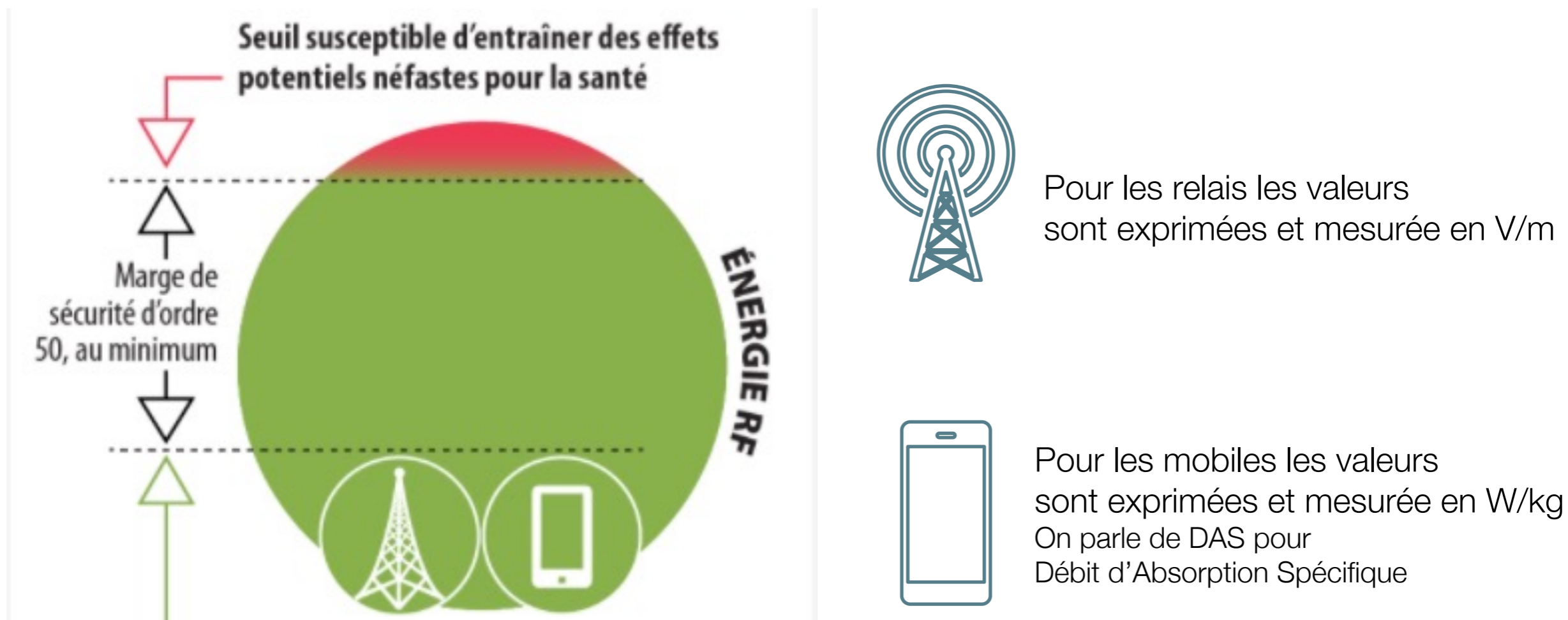


Nota : les cellules de même couleur sont assez distantes pour utiliser les même fréquences sans se brouiller



Limite d'exposition aux ondes * : principes généraux

* non ionisantes



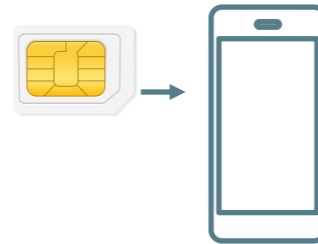
Les valeurs limites d'exposition du public sont définies sur la base des travaux de ICNIRP
Et par :
la recommandation européenne du 12 juillet 1999
le décret N° 2002-775 du 3 mai 2002 pour la France



Des fonctionnalités caractéristiques

Abonnement sur carte sim *

* subscriber Identity Module

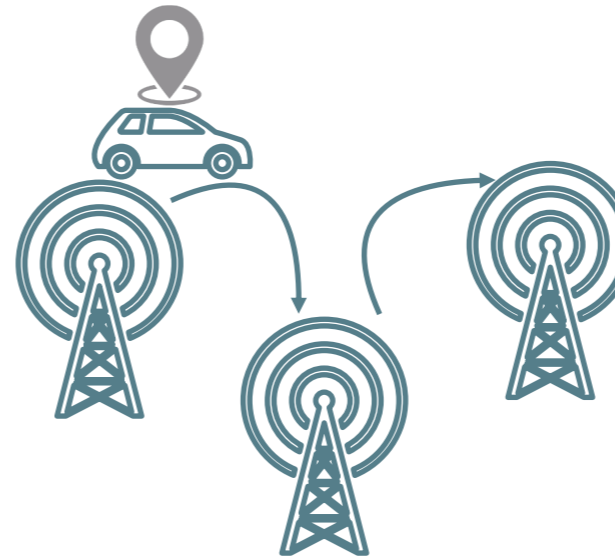


Également disponible désormais en pur logiciel = e-sim

localisation (HLR / VLR *)

* home location register / Visitor location register

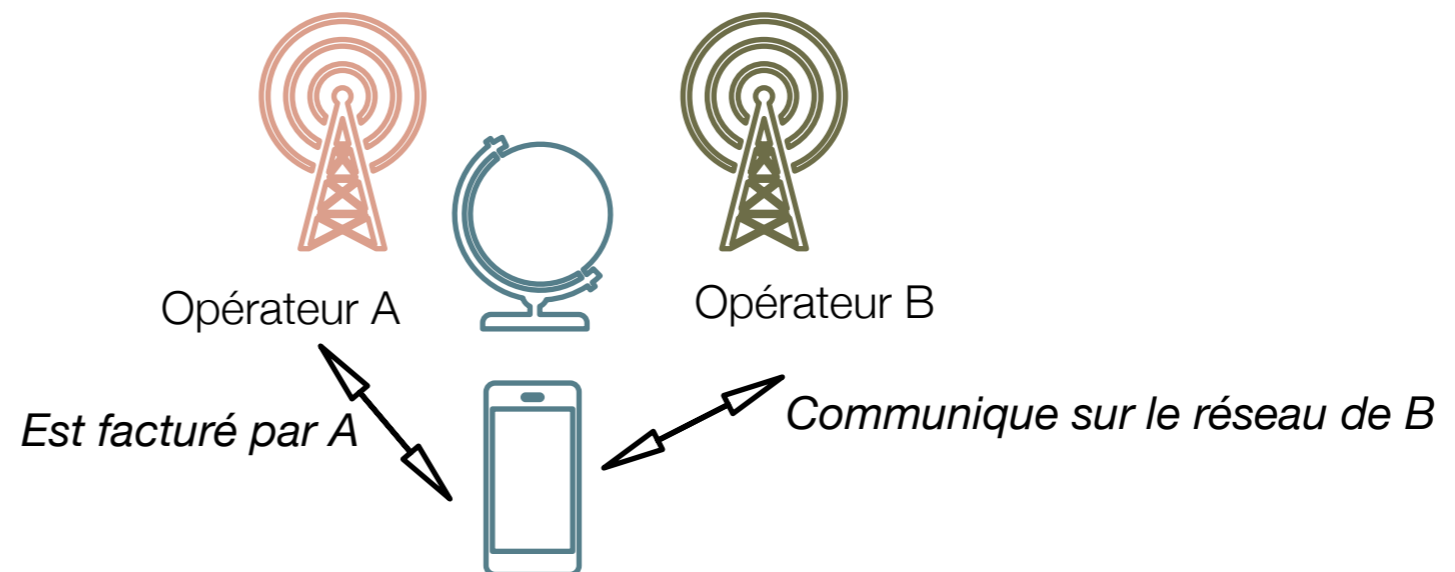
+ hand over



La localisation permet d'effectuer les appels entrants

Maintien des communications au changement de cellules (changement relais)

Itinérance (roaming)



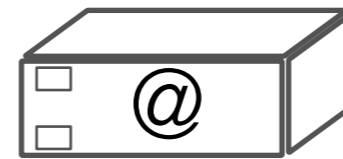


Principaux constituants d'un réseaux mobile moderne

Les Terminaux



TELEPHONE MOBILE ou SMARTPHONE

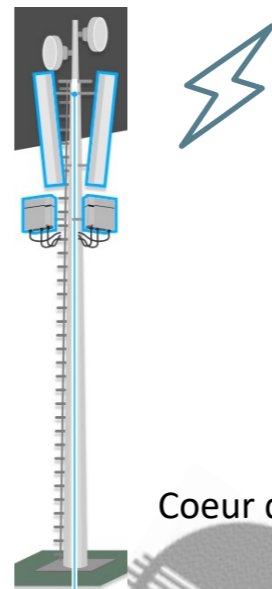


Box 4G



Objets connectés

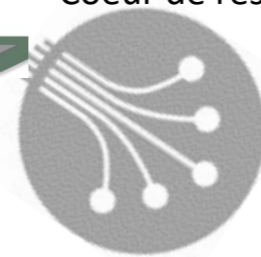
Réseaux mobiles



Réseau d'accès (hertzien)

Coeur de réseau (filaire)

Services



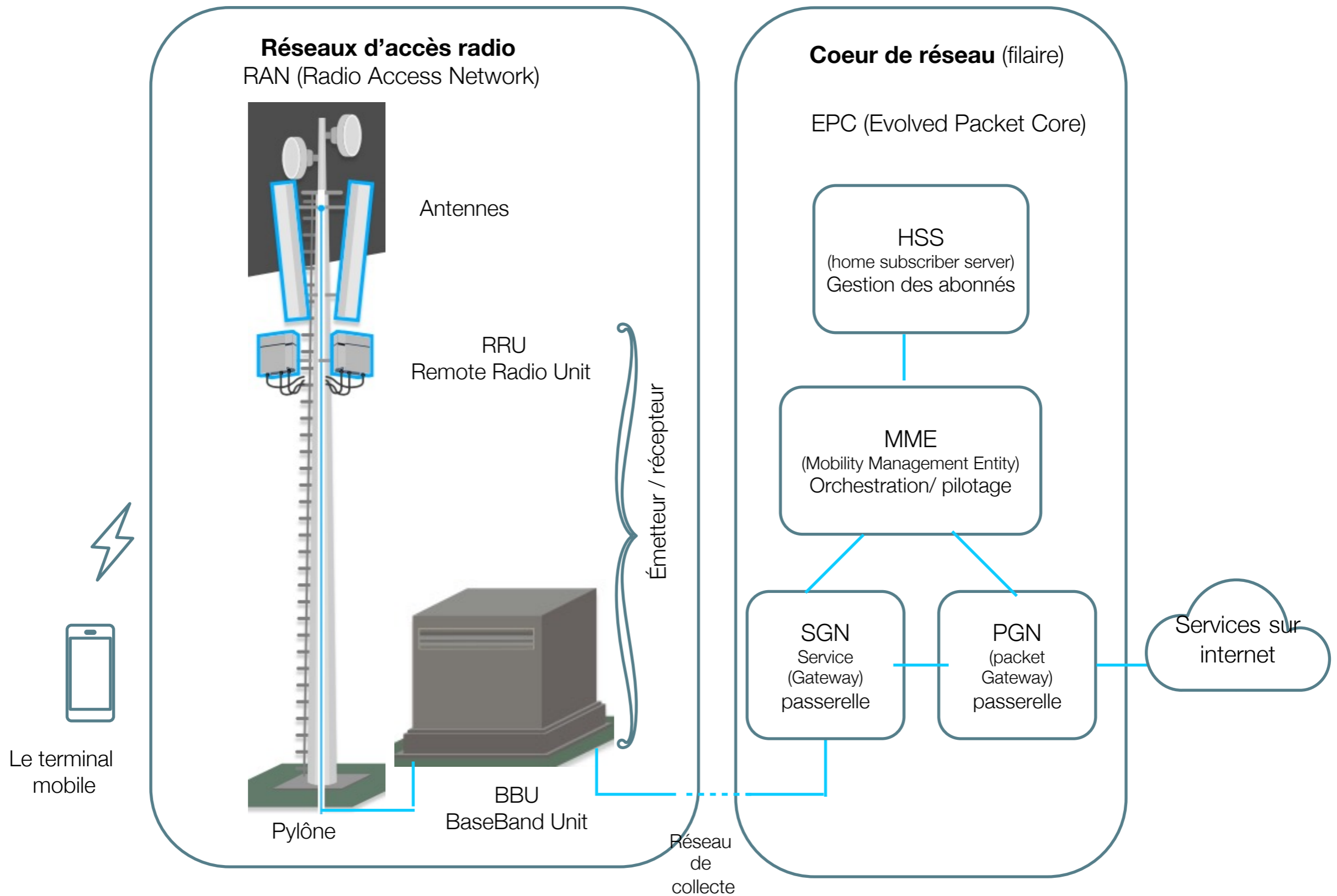
TELEPHONIE



INTERNET / SERVICES EN LIGNE

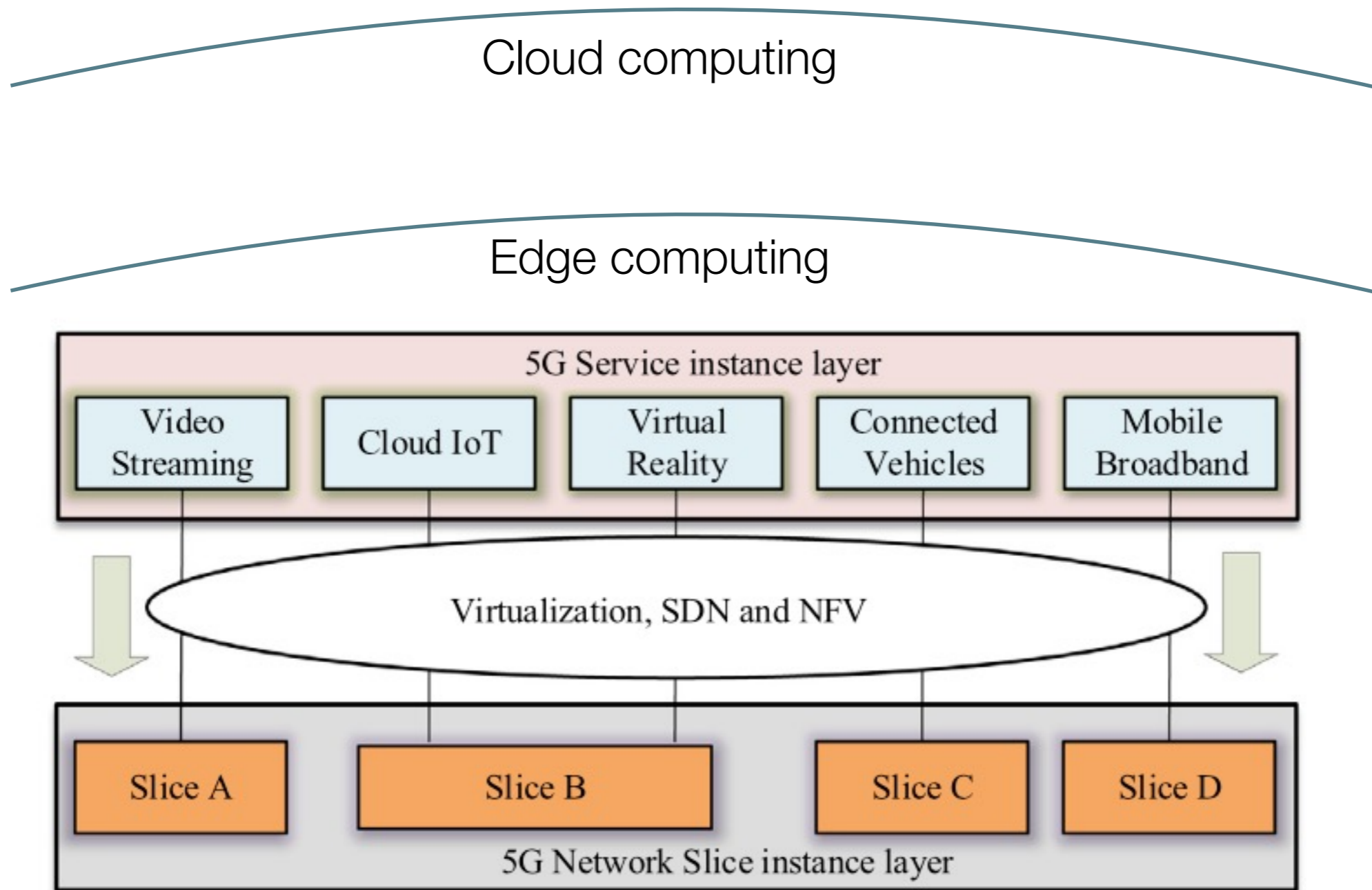


Architecture des réseaux mobile (de dernières générations)





Virtualisation du coeur de réseau



Concept de NGMN *

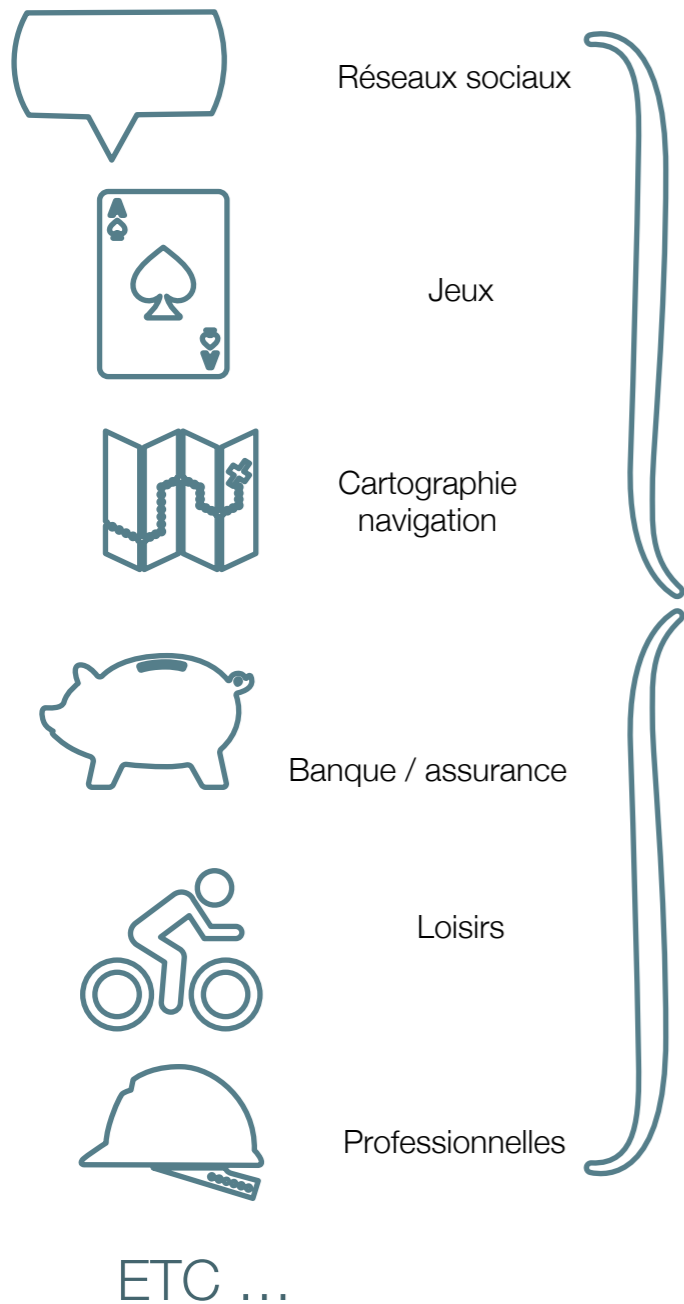
* Next Generation Mobile Network



Le smartphone : couteau suisse du numérique

Les applications

nombreux usages





Quelques chiffres...vertigineux !

Le succès de l'internet mobile ...



- **Plus de 80% des internautes** utilisent le mobiles pour surfer sur le Web.
- **Jusqu'à 70 % du trafic Web** provient d'appareils mobiles.
- **95,1% du trafic Facebook actif** provient d'appareils mobiles.
- **57% du trafic LinkedIn** vient du mobile.
- Les appareils mobiles sont responsables de **plus de 70% du temps de visionnage sur YouTube**.
- **90% des vues Twitter** arriver sur mobile.
- Consommation moyenne **2,7 Go par appareil**
- **3H42** de communications vocales par forfait

...en partie du au succès des applications mobiles



Rien qu'en France

- **2,06 milliards d'euros dépensés sur les applications mobiles,**
- **2,15 milliards de téléchargements** d'applications sur mobile,
- **2,9 heures** passées chaque jour sur mobile (Android).

IMPORTANT : A noter que plus de 70% des communications sont effectuées lorsque l'utilisateur est en zone Indoor (à l'intérieur d'un bâti)



Déploiement des réseaux mobile



Pour couvrir le territoire un opérateur mobile doit mettre en place un grand nombre de relais (sites d'émission réception)

il faut plus de 25 000 sites relais pour couvrir correctement le territoire

		Bouygues	Free	Orange	SFR	Total
2G		19 633		19 546	19 744	58 923
3G		22 038	19 750	25 805	22 558	90 151
4G		21 194	19 231	25 483	21 621	87 529
5G	à 700 MHz		7 054			7 054
	à 1800 MHz					-
	à 2100 MHz	2 405		267	731	3 403
	à 3500 MHz	435		808	260	1 503
	Total 5G	2 840	7 054	1 075	991	11 960

Source ANFR

La plupart des sites sont mutualisés



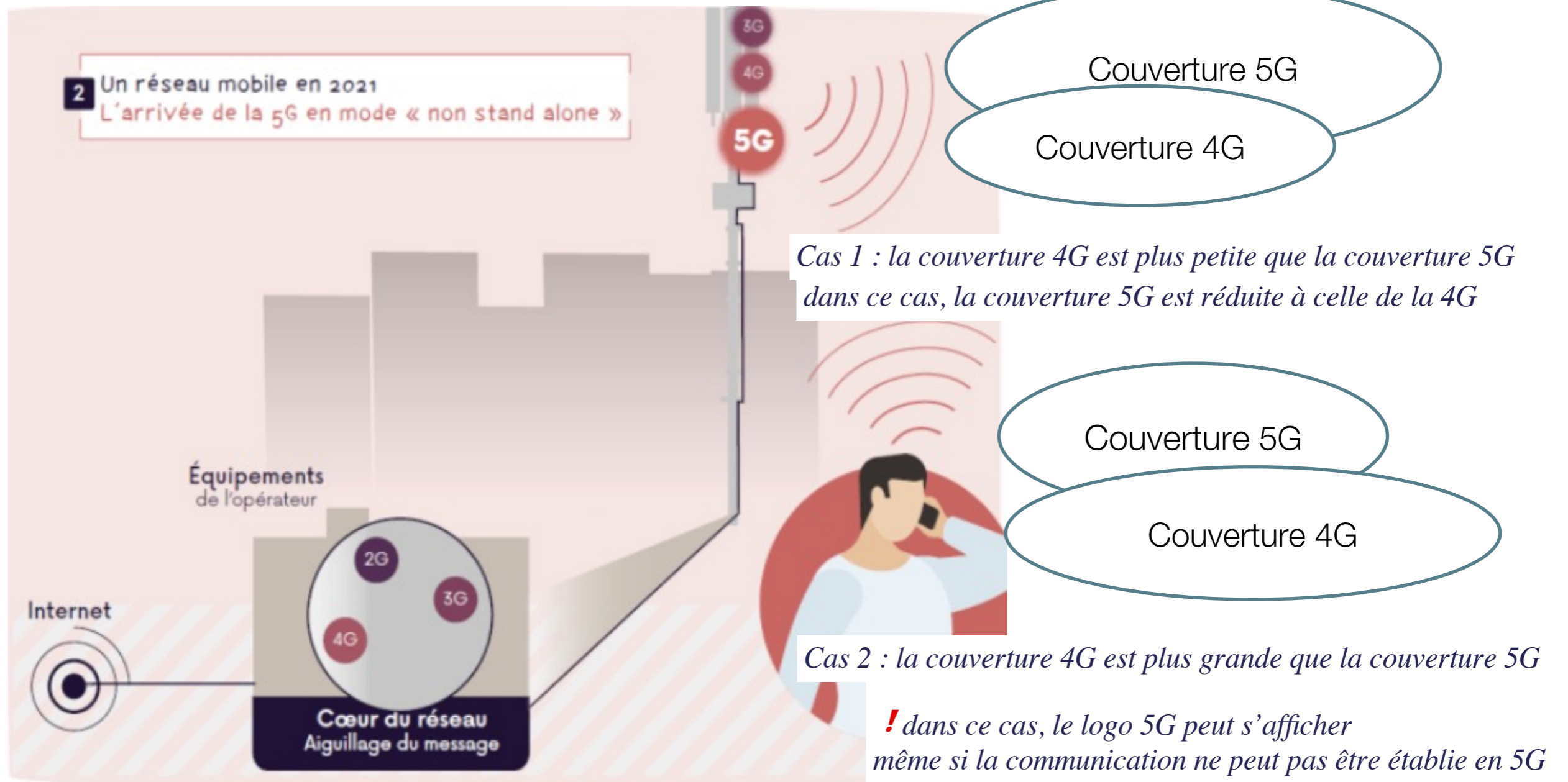
Mini cloud et multi cloud pour la 5G

Les clouds déployés sur les réseaux 5G des principaux opérateurs				
	Amazon Web Services	Google Cloud	Microsoft Azure	Oracle Cloud*
AT&T		x	x	
Deutsche Telekom			x	
Dish	x			
 NTT Communications			x	
Orange		x		
Telecom Italia		x		x
Telefonica	x	x	x	
Telus		x		
T-Mobile			x	
Verizon	x		x	
Vodafone	x		x	
KDI	x			
SK Telecom	x			



Conséquence du NSA

Dans un premier temps, la 5G s'appuie sur le réseau 4G : sans 4G, pas de 5G !

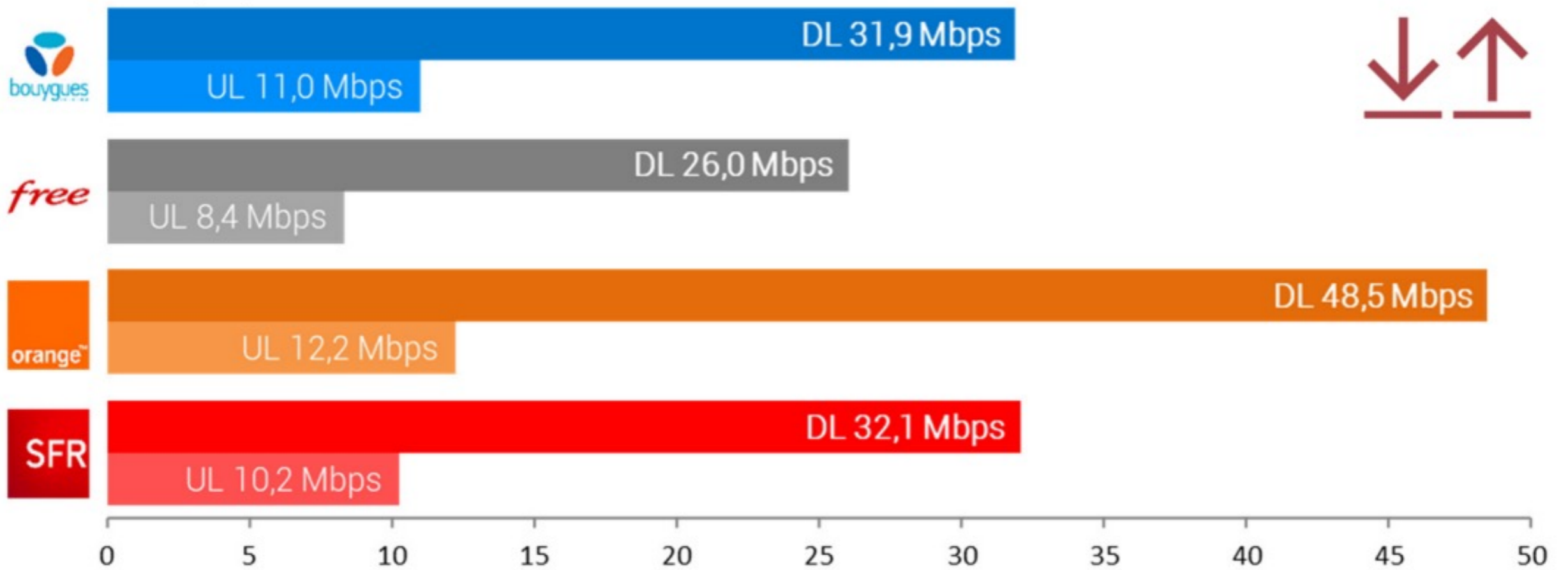


la bande 4G qui pilote l'établissement des communications est appelée bande d'ancrage



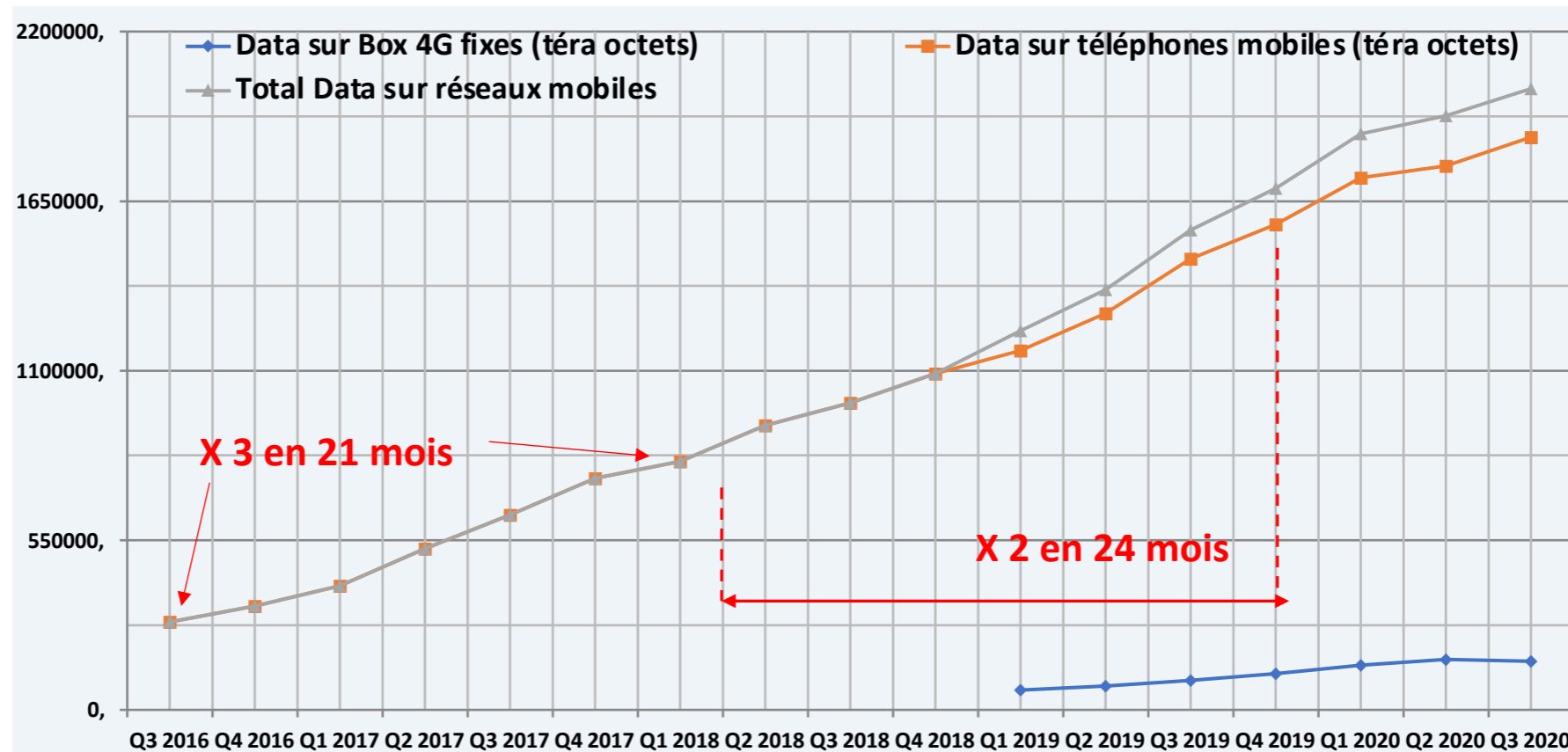
débit théorique —>> débits réels sur le terrain

Débit moyen constaté en 2020 par 5Gmark





Évolution des usages et du trafic data



Très forte évolution du trafic data sur les réseaux mobiles en téra octets (10^{12} octets)

Le nombre de sites opérationnels est passé de 100 275 en 03/2016 à 248 147 en 03/2021

consommation **moyenne 2,7 Go**

Les clients 4G = 90% de la consommation totale

ils consomment en moyenne 4,8 Go par mois

source Arcep février 2021

Trafic voix

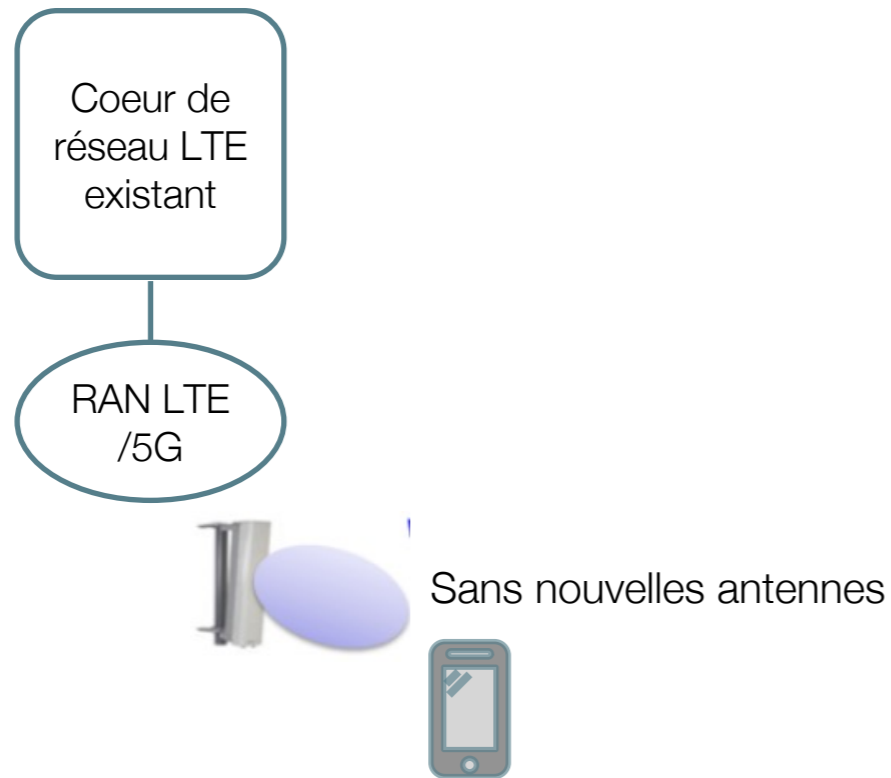


3H42 / forfait vs 1H39 sur le fixe



La situation aujourd'hui (seulement une 5G NSA)

Variante 1 (minimaliste)

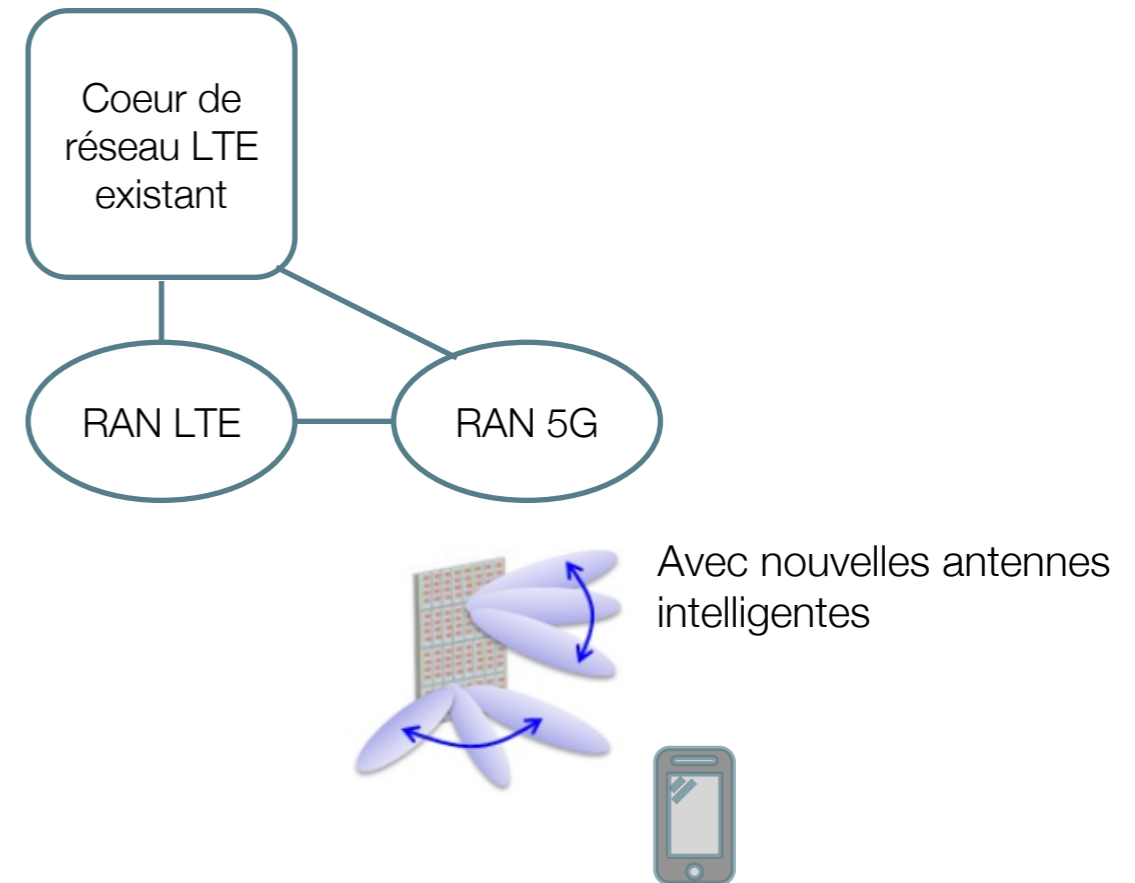


Variante 1 bis avec DSS (Dynamic Spectrum Sharing) :

La ressource spectrale est partagée dynamiquement entre la 4G et la 5G

Déploiement sur bande de fréquences et antennes existantes
Avec multiplexage voie montante/voie descendante en FDM (existant)

Variante 2



Déploiement dans la nouvelle bande de fréquences 3,4 - 3,8 Ghz
multiplexage voie montante/voie descendante en TDM et nouvelles antennes



La démarche de normalisation

Les travaux de spécification ont été engagés en 2015 par l'**UIT** (Union International des Télécommunications) sous le nom de **IMT 2020**. A charge pour les organisations de normalisation et les industriels réunis au sein du **3GPP** de proposer des solutions techniques susceptibles de répondre au cahier des charges résumé comme suit au lancement du projet par le secrétaire général de l'UIT :

« L'attention est maintenant centrée sur la possibilité de créer une société connectée en continu à l'horizon 2020 et au-delà. Une société dans laquelle les personnes aussi bien que les objets, les données, les applications, les systèmes de transport et les villes seraient regroupés au sein d'un environnement placé sous le signe des communications intelligentes en réseau »

Vaste programme ! ..., mais enfin les ingénieurs ont plus ou moins réussi à répondre à cette ambition

On notera malheureusement l'absence d'ambition initiale en matière de limitation des impacts environnementaux et sociaux.

Ce point sera vu ultérieurement



Et maintenant la 6G !

Les axes de recherche

Sub-THz sensing & communication

Ultra-massive MIMO

Cell-free massive MIMO

Visible Light Communication

Intelligent reflecting surfaces

New waveforms, multiple access

Ultra high-speed channel coding

Full-duplex communication

Distributed processing

Artificial Intelligence and Machine Learning





Petite histoire des radiocommunications (Transmissions hertziennes)

Maxwell 1864 : prédiction de l'existence des ondes électromagnétiques

Hertz 1887 : confirmation des prédictions de Maxwell

Tesla 1893 : transmission par onde porteuse

Marconi 1897 : télégraphie sans fil



Maxwell(1831-1879)



Hertz(1857-1894)



Tesla(1856-1943)



Marconi(1874-1937)



Petit musée du téléphone mobile

