

Symposium pour l'électronique & le numérique durables

Le 12 décembre 2024, Grenoble

EN PARTENARIAT AVEC

tech&fest

Évaluer les impacts environnementaux et optimiser les innovations pour les réseaux radio post-5G

Colas Léo¹, Boutry Hervé¹, Di Cioccio Léa¹, Divay Alexis¹, Doré Jean-Baptiste¹, Guerid Josua¹,
Marsan Didier², Mercier Eric¹, Peralta Maxime³, Roulleau Léa¹, Vauche Laura¹, Zayani Rafik¹

¹CEA leti, ²InPACT, ³CEA list



InPACT



anr[®]





1 ■ Introduction

Environnemental impacts



EVALUATION DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DU NUMERIQUE EN FRANCE ET ANALYSE PROSPECTIVE

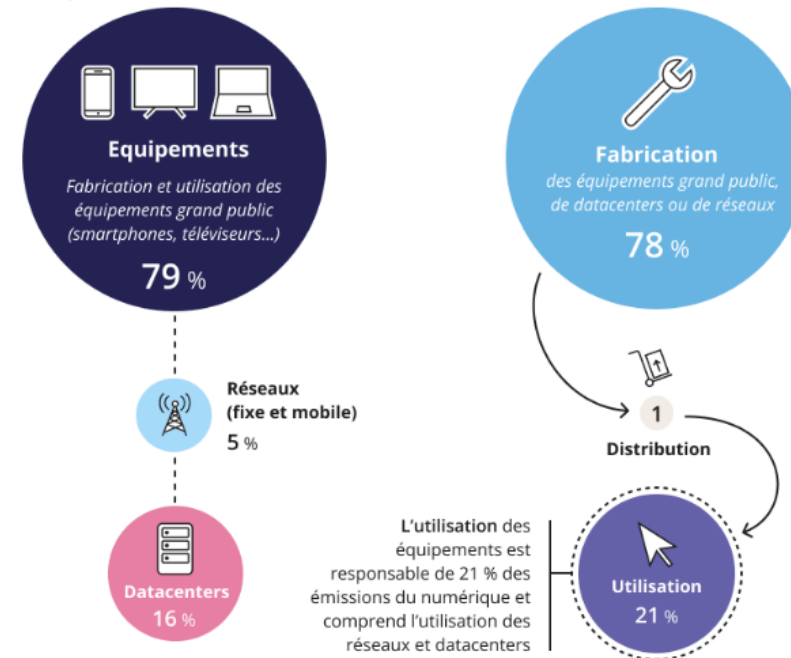
Analyse prospective à 2030 et 2050

[FRANCE]

L'empreinte carbone du numérique dépend essentiellement des équipements et de leur fabrication

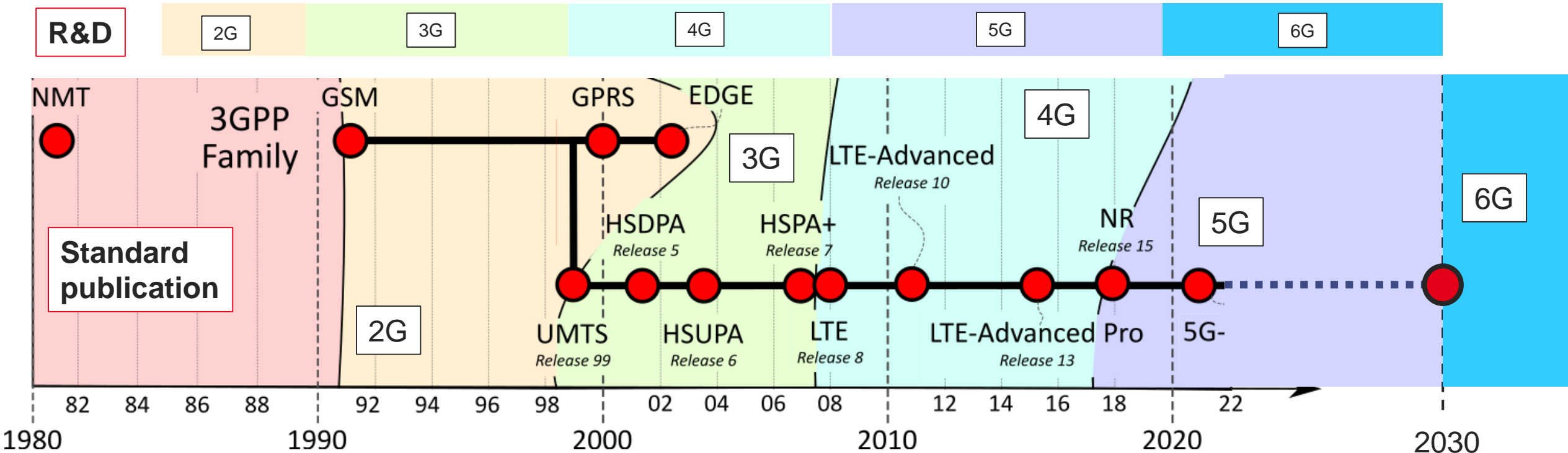
Répartition de l'empreinte carbone du numérique en 2020 par composantes du numérique (%)

Répartition de l'empreinte carbone du numérique en 2020 par phase du cycle de vie (%)



[1] Etienne Lees Perasso, Caroline Vateau, et Firmin Domon, « Etude Numérique et Environnement - Analyse prospective 2030 et 2050 », Étude réalisée pour le compte de l'ADEME et l'Arcep par : LCIE Bureau Veritas, IDATE, janv. 2023.

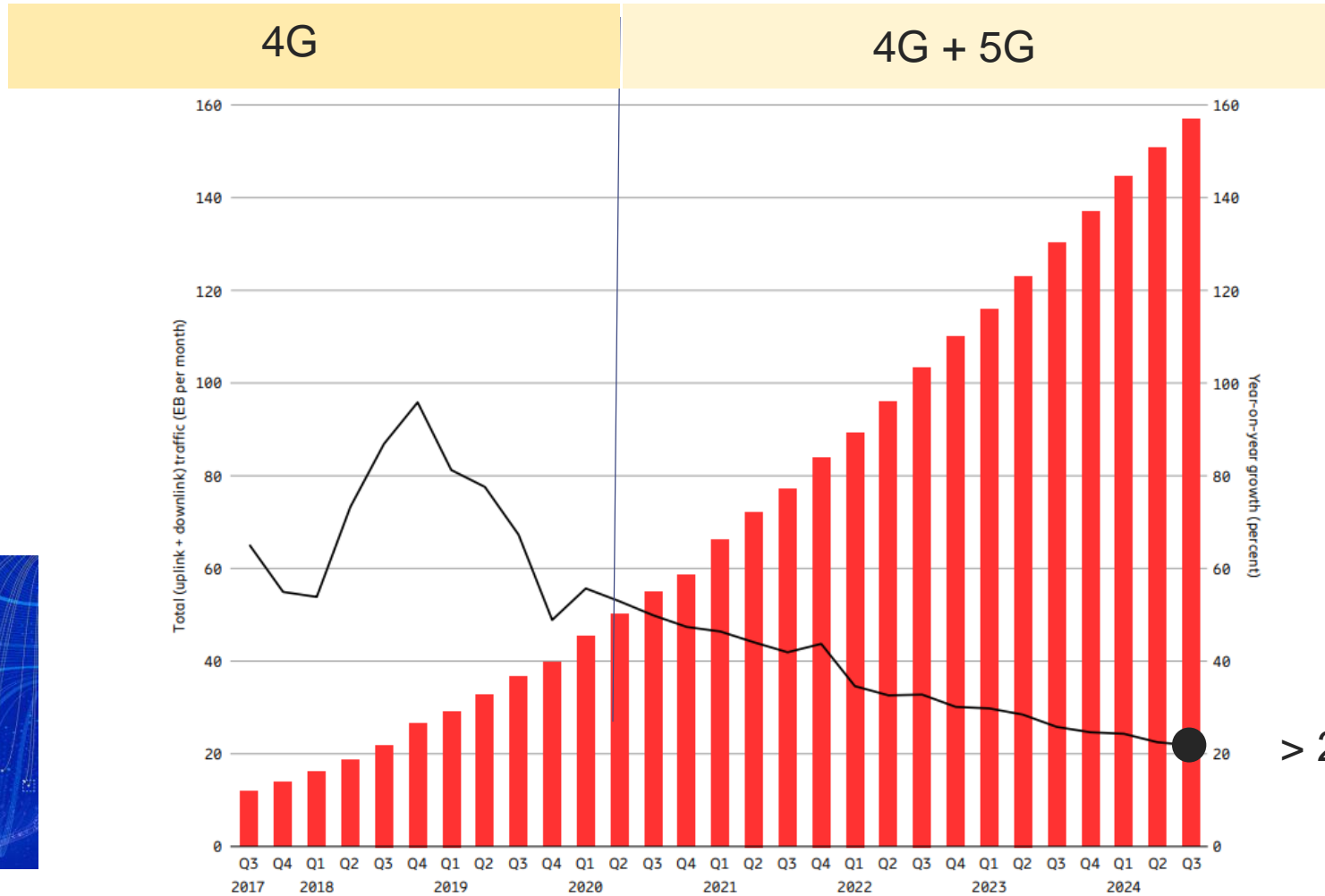
Wireless standard evolution



Inspired by Wikipedia

Technologies lifespan

Wireless mobile traffic

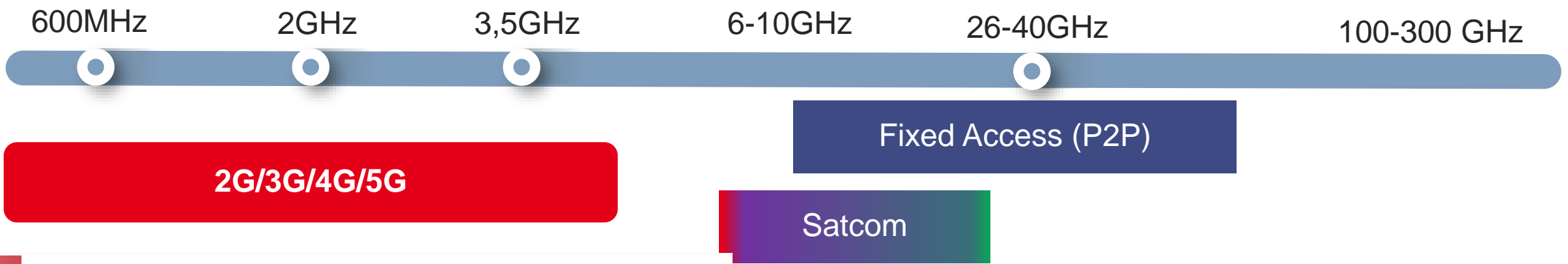


> 20% Q3-2023 Q3-2024

Ericsson
Mobility Report

November 2024

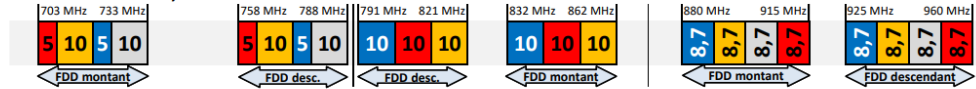
Spectrum (today)



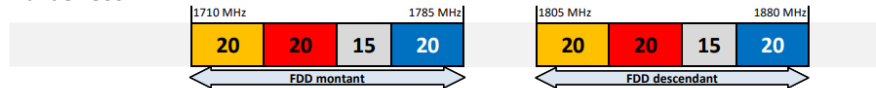
A partir du 8 février 2025

5G

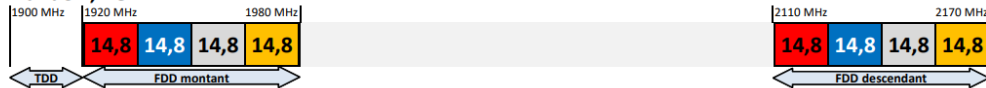
Bandes 700 MHz, 800 MHz et 900 MHz



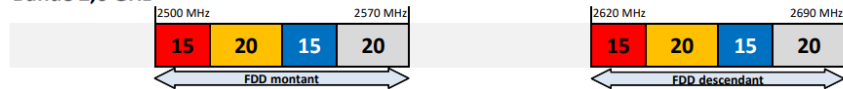
Bande 1800 MHz



Bande 2,1 GHz



Bande 2,6 GHz

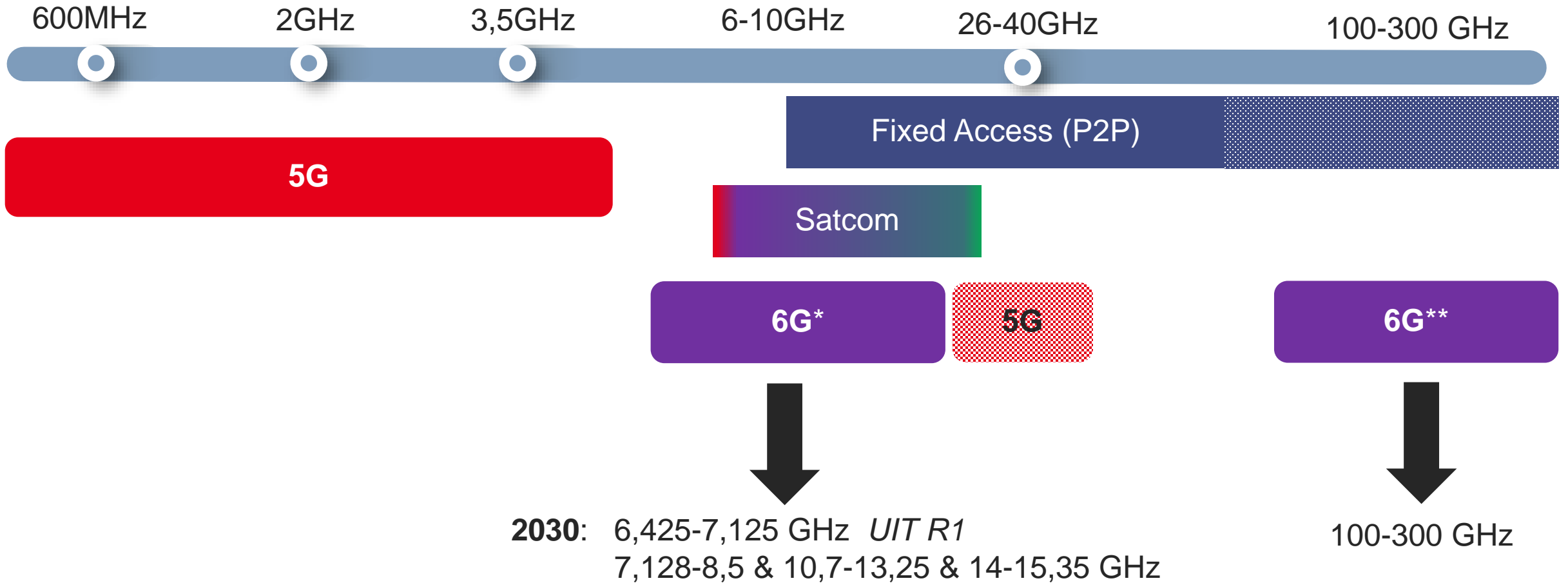


Bande 3490 - 3800 MHz

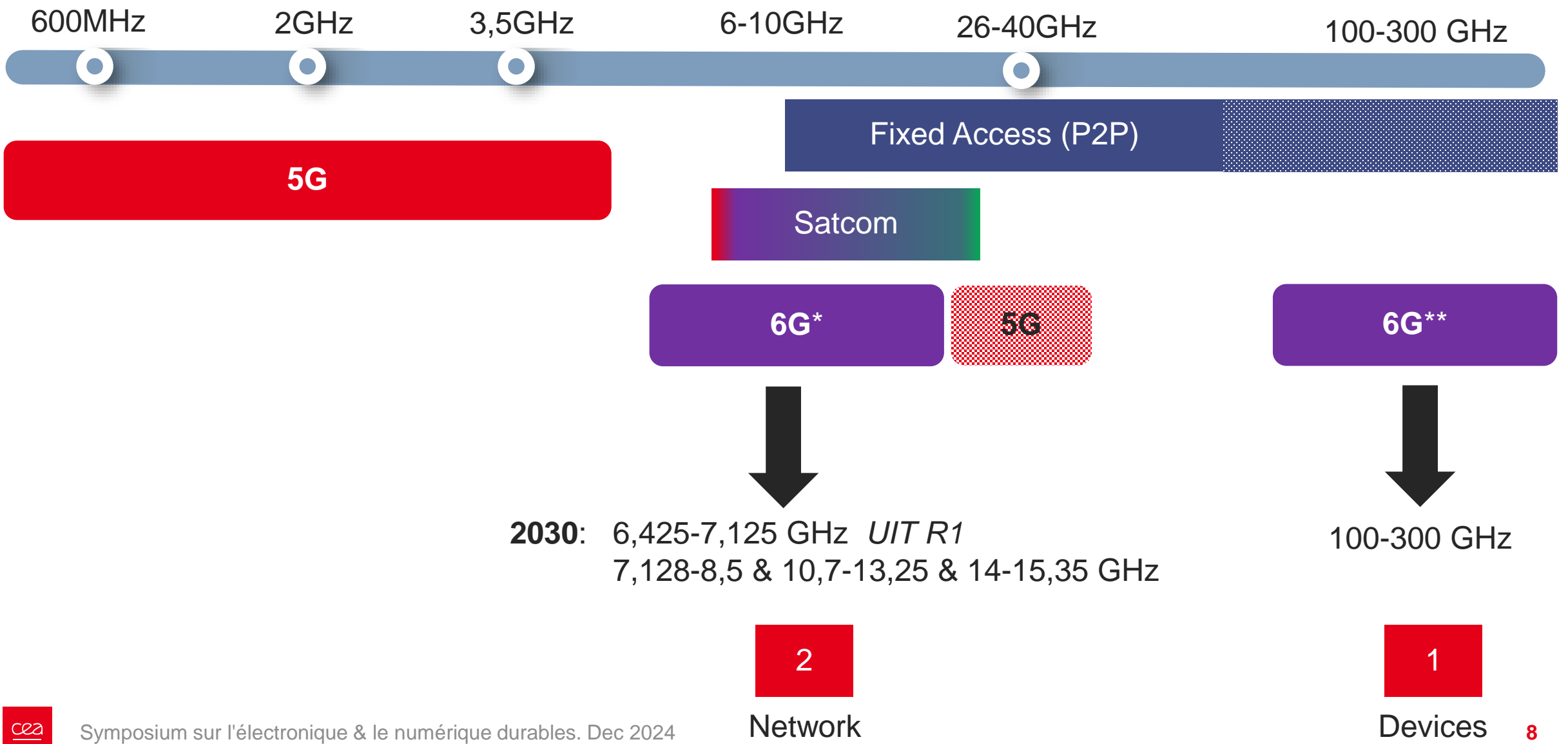


Bouygues Telecom Free Mobile Orange SFR

Spectrum (tomorrow)



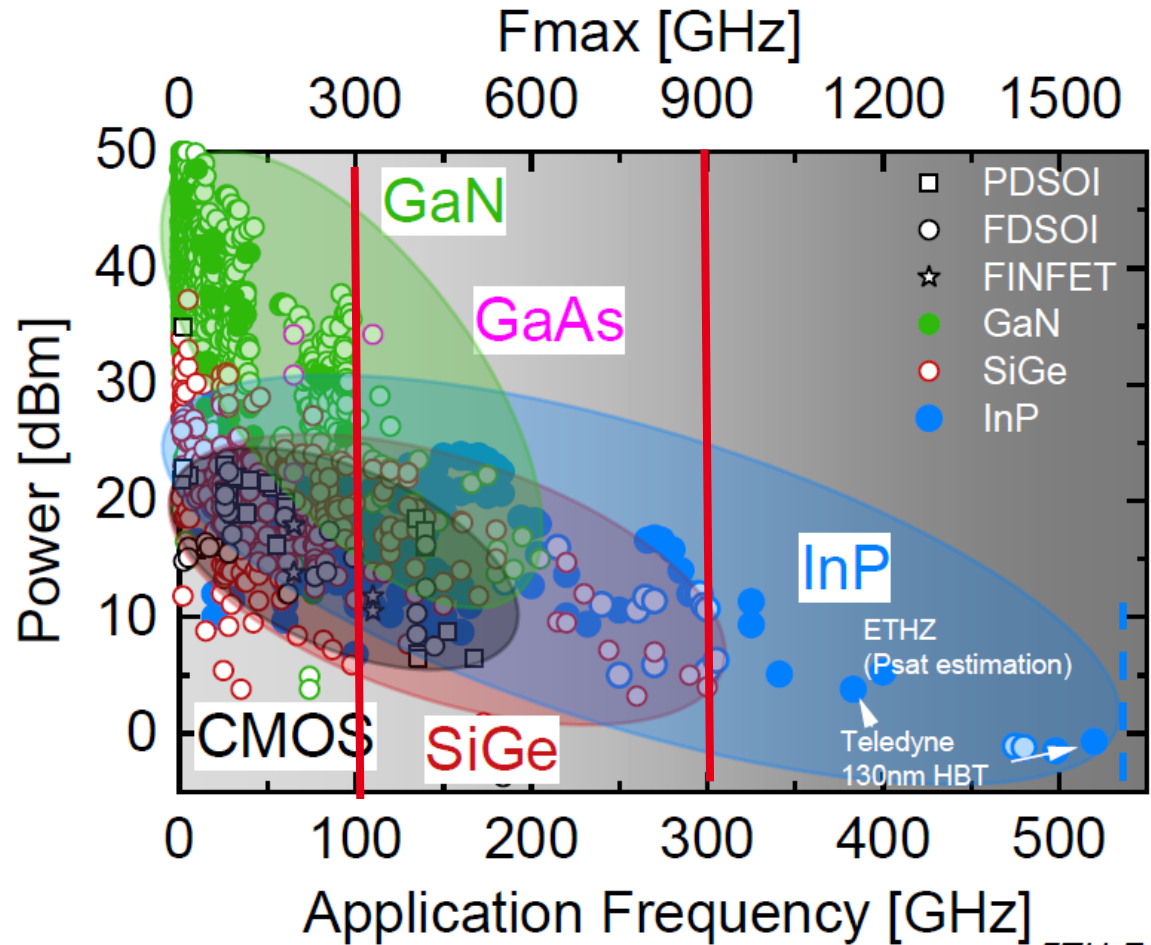
Spectrum (tomorrow)





2 ■ **Toward high frequency**

Technology and Design to address up to 300GHz



ETH-Zurich survey

- **SiGe bipolar** transistor faster than MOS device
- **GaN RF** not the fastest, best in power density at lower frequencies ($F_{max} < 600\text{GHz}$)
- **InP devices** beats all silicon devices in speed

IMS



IMS2024 Workshop WSF-1:
2.5D and 3D Assembly Technologies
for

RF Heterogeneous Systems
Olivier Valorge, Hervé Boutry and
Christophe Dubarry

cea leti

CEA-Leti

InP for Next Generation communication



- 1 InP: What Impact on Technologies and the Environment?
- 2 How to address “Sustainability” in addition to current research project ?

InP for Next Generation communication



InP: What Impact on Technologies and the Environment?

How to address “Sustainability” in addition to current research project ?

Environmental
issue:

No available data on InP
wafers environmental impacts

Evaluation of the
environmental impacts

At **substrate level**,
Collaboration with InPACT to
share data and evaluate
commercial InP wafers

InPACT

InP for Next Generation communication



InP: What Impact on Technologies and the Environment?

How to address “Sustainability” in addition to current research project ?

Environmental
issue:

No available data on InP
wafers environmental impacts

Semiconductor manufacturing is
energy and resource intensive
Development of new technology: InP
based HBT transistor at CEA-Leti

Evaluation of the
environmental impacts

At **substrate level**,
Collaboration with InPACT to
share data and evaluate
commercial InP wafers

At **device level** (early R&D stage) →
potential help to make better
technology choice

InP for Next Generation communication



InP: What Impact on Technologies and the Environment?

How to address “Sustainability” in addition to current research project ?

Environmental issue:

No available data on InP wafers environmental impacts

Semiconductor manufacturing is energy and resource intensive
Development of new technology: InP based HBT transistor at CEA-Leti

Indium is classified as critical raw material for the EU

Evaluation of the environmental impacts

At **substrate level**,
Collaboration with InPACT to share data and evaluate commercial InP wafers

At **device level** (early R&D stage) → potential help to make better technology choice

Absolute impact with **deployment scenario** for 6G application

On-going Publication, submitted Nov 2024

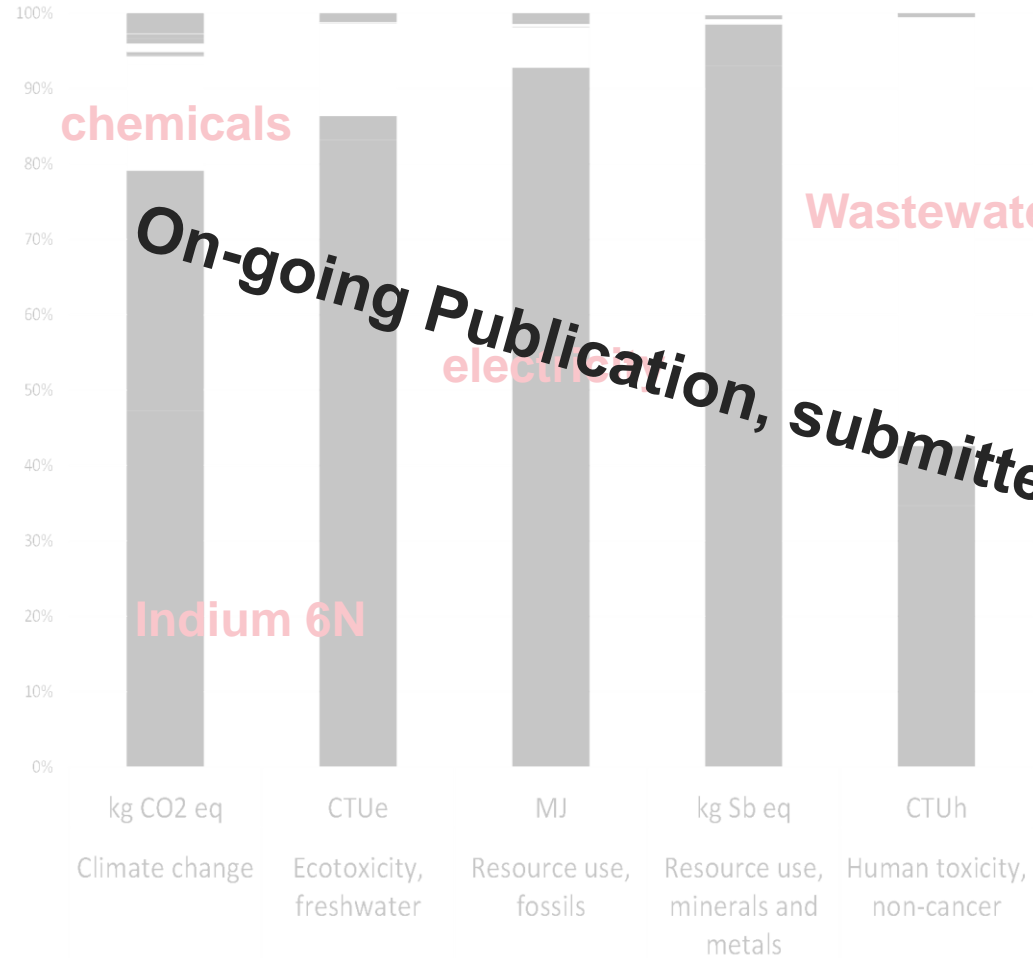
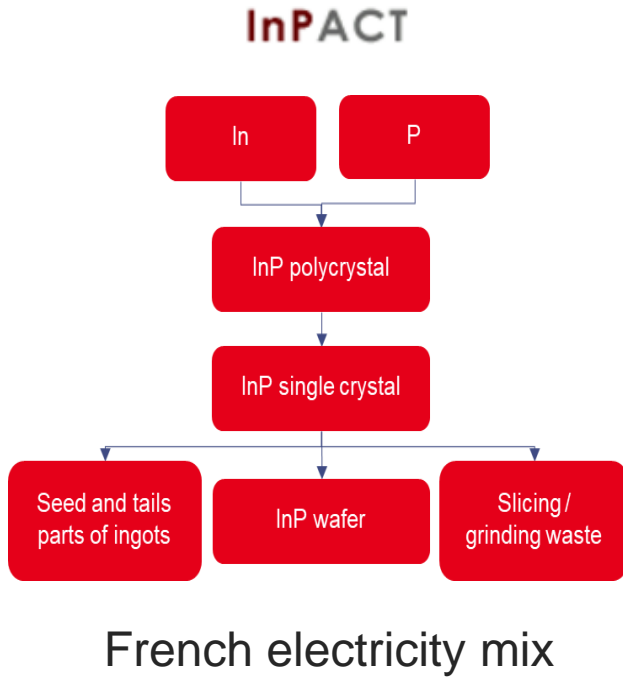
Indium Phosphide semiconductor technology for next generation communication systems: sustainability and material considerations

*Léa Roulleau¹, Laura Vauche^{*1}, Didier Marsan², Hervé Boutry¹, Léo Colas¹, Jean-Baptiste Doré¹, Alexis Divay¹, Léa Di Cioccio¹*

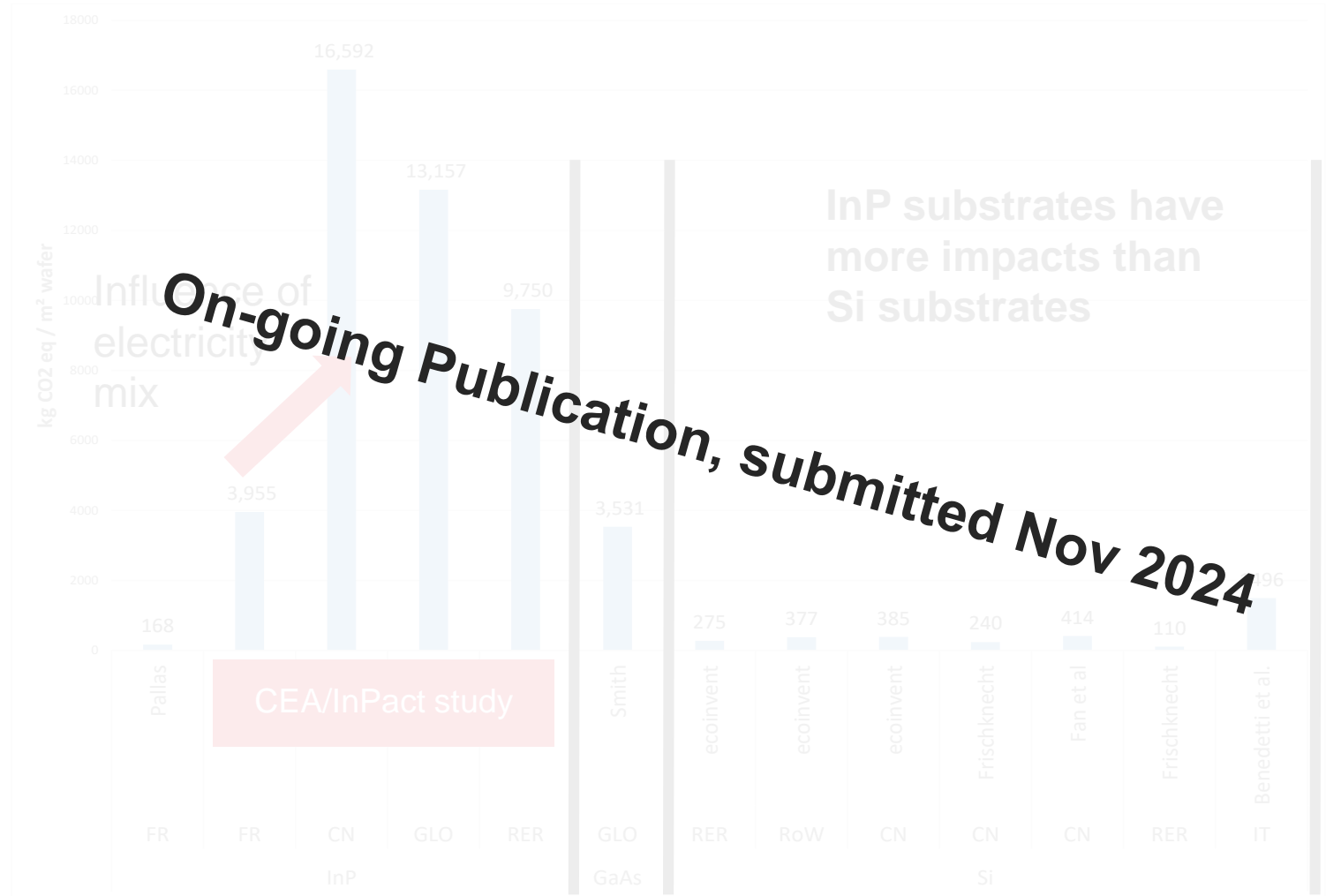
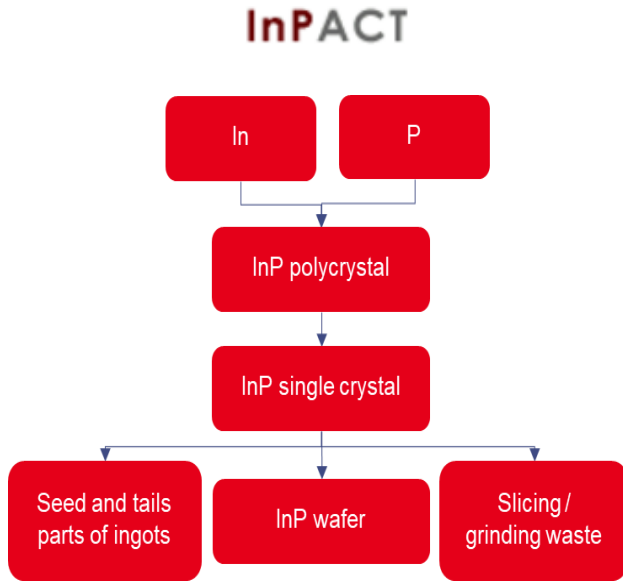
¹CEA-Leti, Univ. Grenoble Alpes, F-38000 Grenoble, France

²InPACT, Pombliere, France

InP substrates: some results

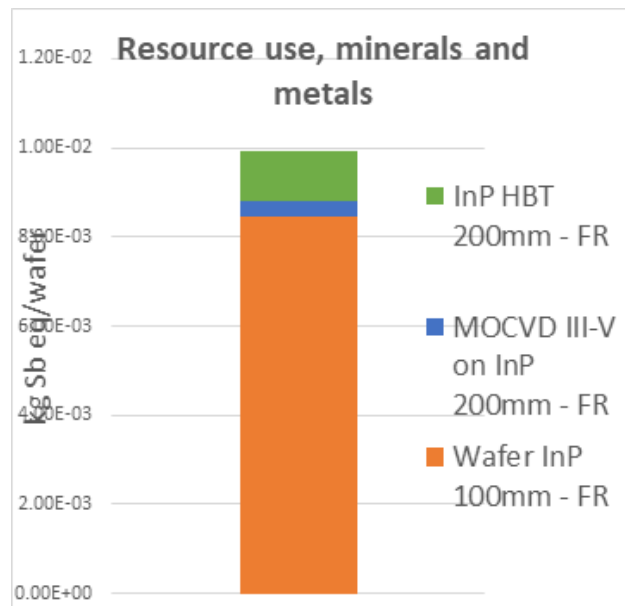
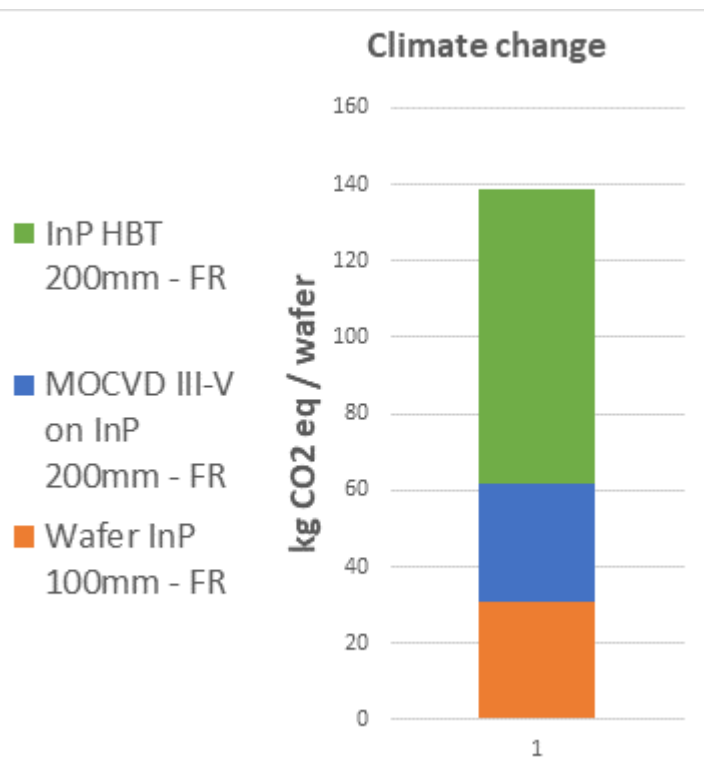


InP substrates: some results



Comparison of greenhouse gas emissions of wafer (III-V and silicon with French (FR), Chinese (CN), global (GLO), European (RER), Rest of World (RoW) and Italian (IT) electricity mixes

InP: From Wafer to transistor



Hotspot #1: InP wafers

Options to decrease impacts :

- ❖ Increasing wafer size (for instance MOCVD tool is compatible with 300mm² substrates)
- ❖ Building InP on Si substrates to avoid bulk InP

⚠ Even if impacts decrease, global impacts will increase with production volume! (desired **rebound effect**, as new ways to build InP on Si will allow large scale production)

Hotspot #2: InP HBT device processing

Options to decrease impacts :

- ❖ Process and infrastructure electricity consumption optimization (including epitaxy)
- ❖ Abatement for fluorinated gases

InP resource

- Since there is no pure indium deposit, the metallurgical production of indium is heavily **dependent on zinc** extraction.
- China (59% of global production), and more broadly Asia (88% of global production), dominate indium production."



EXPERTISES

Besoin des métaux dans le numérique – L'indium

Oct. 2024

Fiche métal sur l'indium (In, métal de spécialité)

Informations générales			
Production annuelle	900 t	Niveau de criticité <i>par rapport aux 25 métaux étudiés</i>	N/A
Réserves	380 000 t	Recyclage à l'échelle industrielle (FR/UE)	Non
Consommation secteur numérique	90 %	Principaux producteurs <i>(% de la production mondiale)</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Chine (33 %) • Pérou (11 %) • Australie (10 %)

On-going Publication, submitted Nov 2024

	Applications				Data source		
	Access Point	FWA	Phones	Total	Antenne/mini-cell	FWA	Phones
Number of PA / application	128	64	8		Expert analysis on [34]	Expert analysis on [34]	Expert analysis on [34]
Number of application / year			1 400 000 000		Estimated with global urban surface covered by an antennas spaced all 100m (Karen C. Seto et al., [35])	Expert analysis	Expert analysis
Total number of PA/ application	1 536 000 000			1 536 000 000	Number of PA/application * Number of application/year		
Number of PA / wafer 100mm	5 269	5 269	269		Negaocet - Theoretical calcul based on chip surface and keel loss		
Number of wafer InP 100mm	291 516	364 396	21 441		total number of PA per application divided by number of PA /wafer		
Weight of a wafer InP 100mm (g / wafer)	18,5	18,5	18,5		total number of PA multiplied by wafer weight (confidential data (wafer 4*))		
Total InP weight (tons / year)	5	7	39	51	total number of PA multiplied by wafer weight		
Indium proportion in InP substrate (%)	77%	77%	77%		Indium proportion multiplied by total InP weight		
Total Indium quantity for 6G applications (tons / year)	4	5	30	40	Indium proportion multiplied by total InP weight		
Annual indium production (tons/year)				897	Mineral Commodity Summaries 2022		
Indium quantities for 6G application compared to annual production (%)				4,4%	Total indium quantities divided by annual global indium production		
Total indium quantity necessary over 10 years (tons)				396	Indium quantity for 6G applications multiplied by 10 years		

Indium for 6G Application

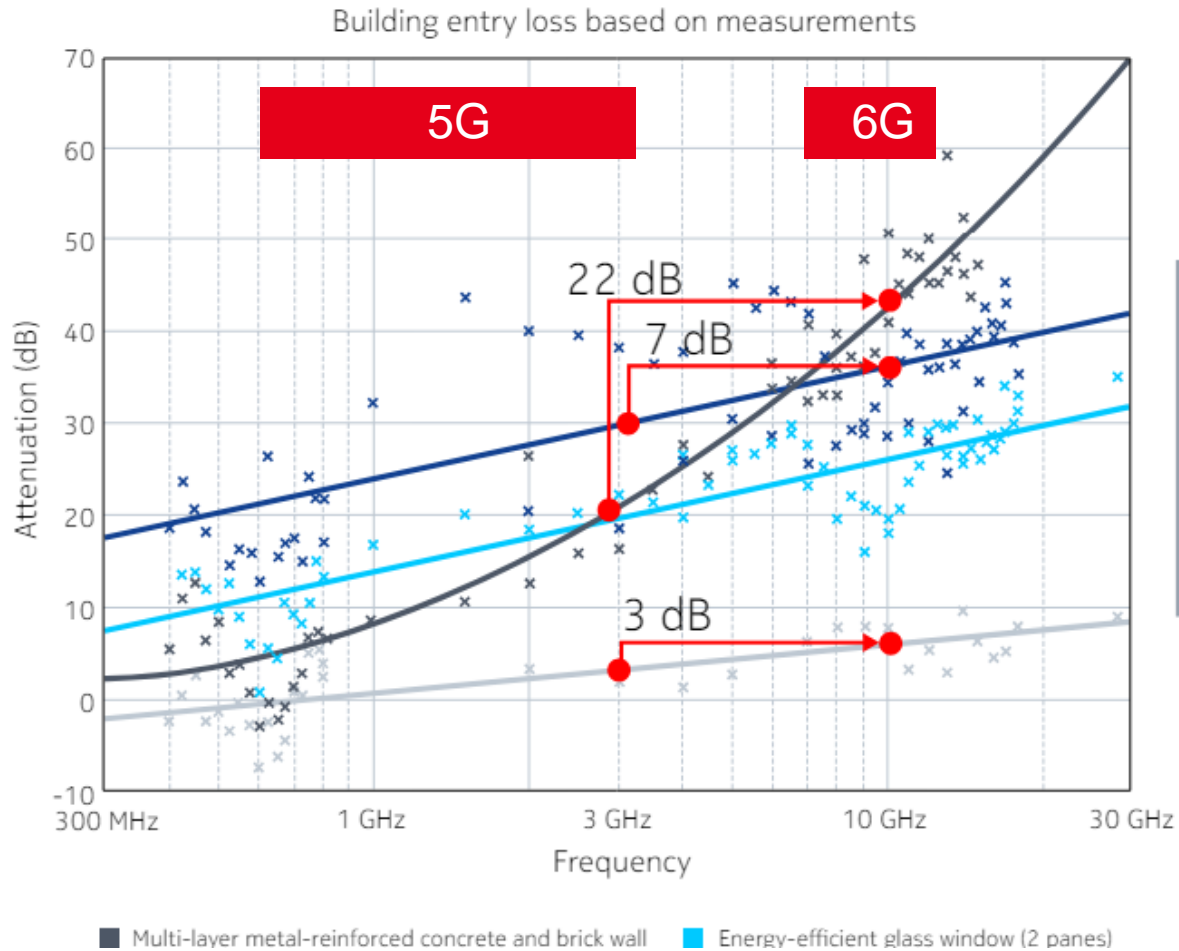
> ~40 tons / year (Annual production 900 tons)



2 ■ **Network densification**

2030 6G in lower band

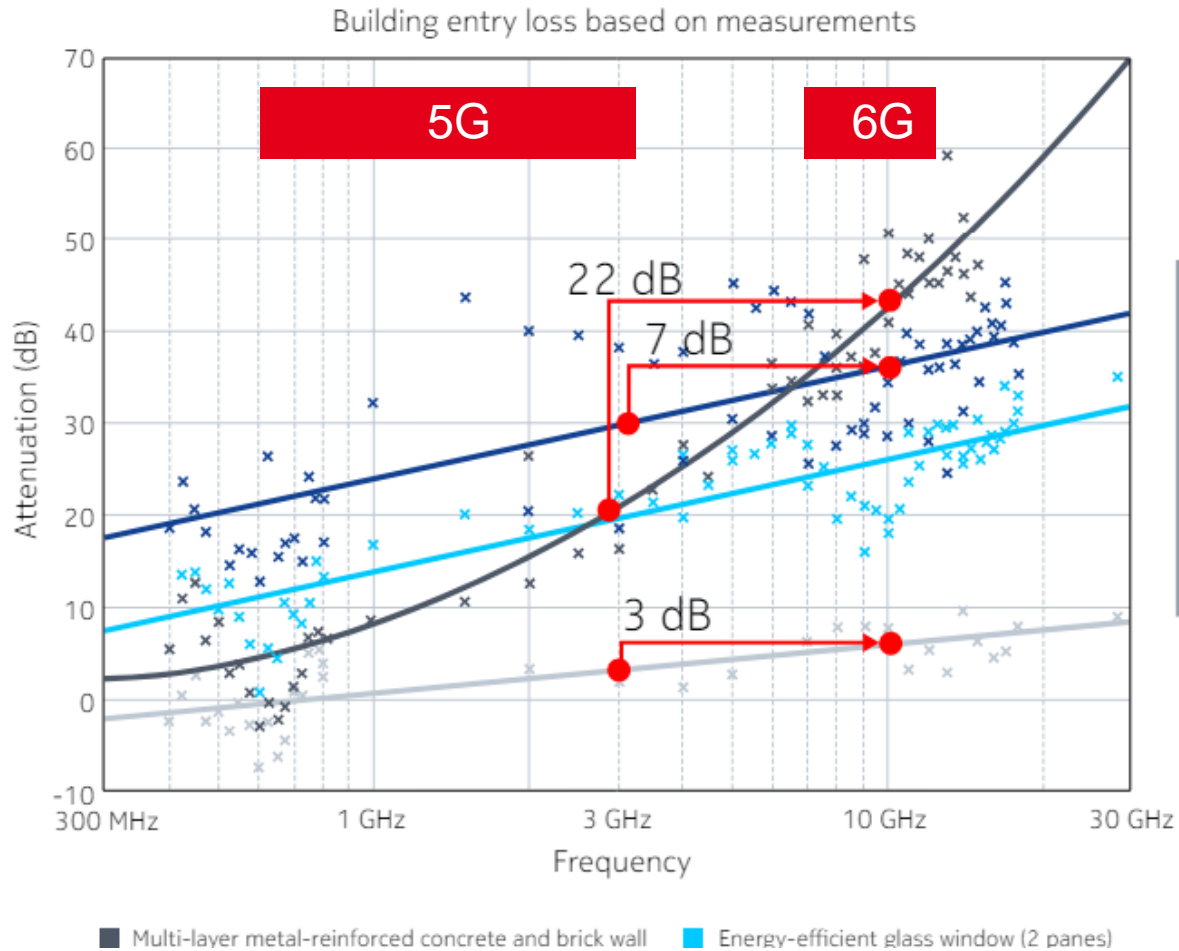
6G Band



Source NOKIA

- Indoor penetration loss increases from 3 to 10 GHz
- Standard clear glass: 3 dB → x 2
- Energy efficient glass: 7 dB → x 5
- Reinforced concrete: 22 dB → x 159

6G Band



Source NOKIA

- Indoor penetration loss increases from 3 to 10 GHz
- Standard clear glass: 3 dB → x 2
- Energy efficient glass: 7 dB → x 5
- Reinforced concrete: 22 dB → x 159

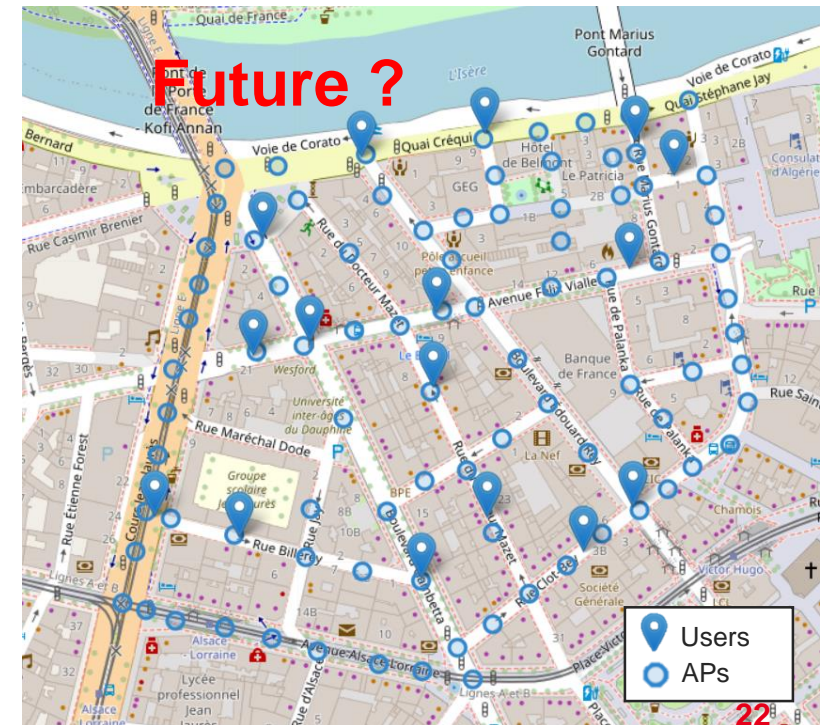
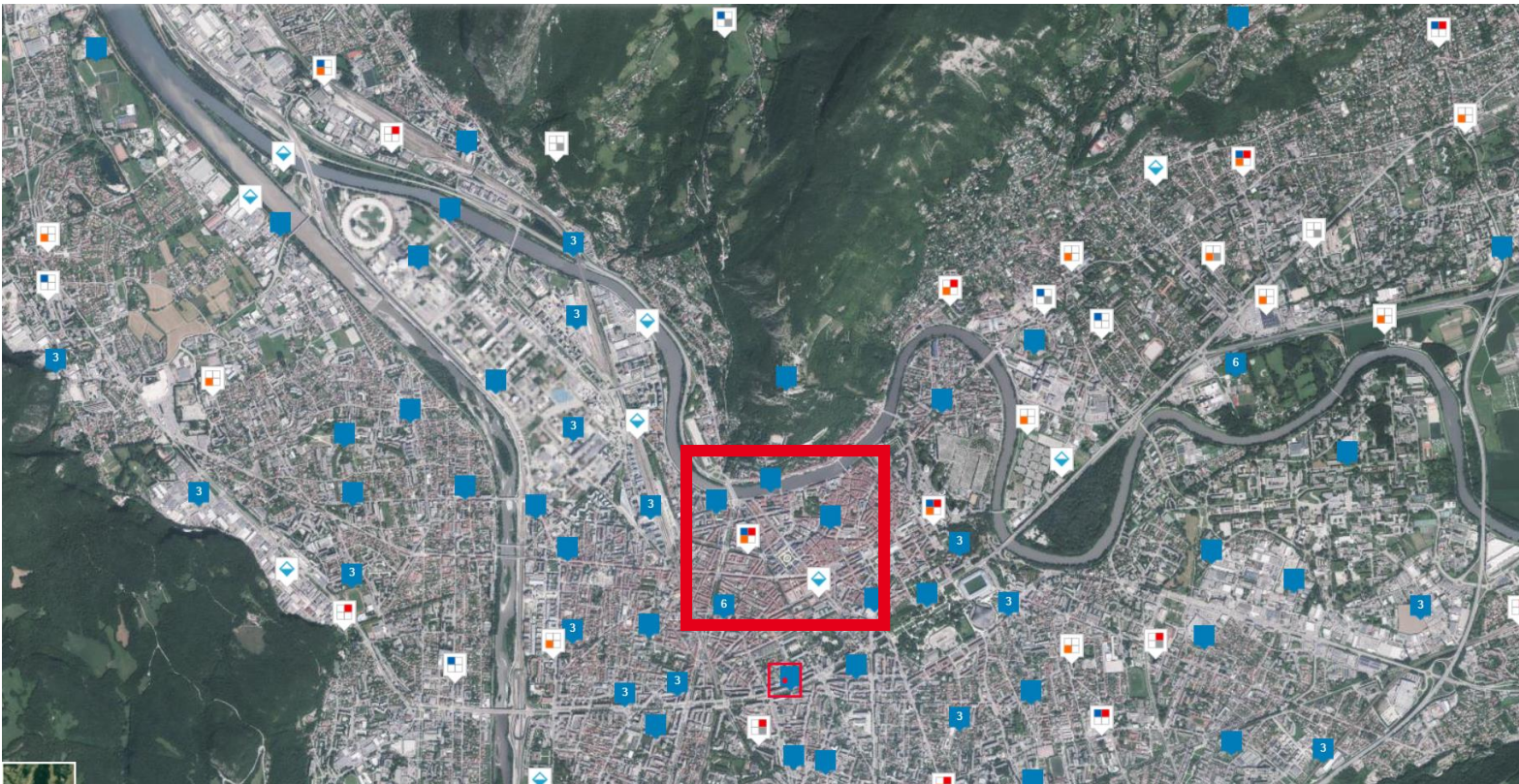
➔ Increasing EIRP is not an option

➔ Increasing density

Increasing density

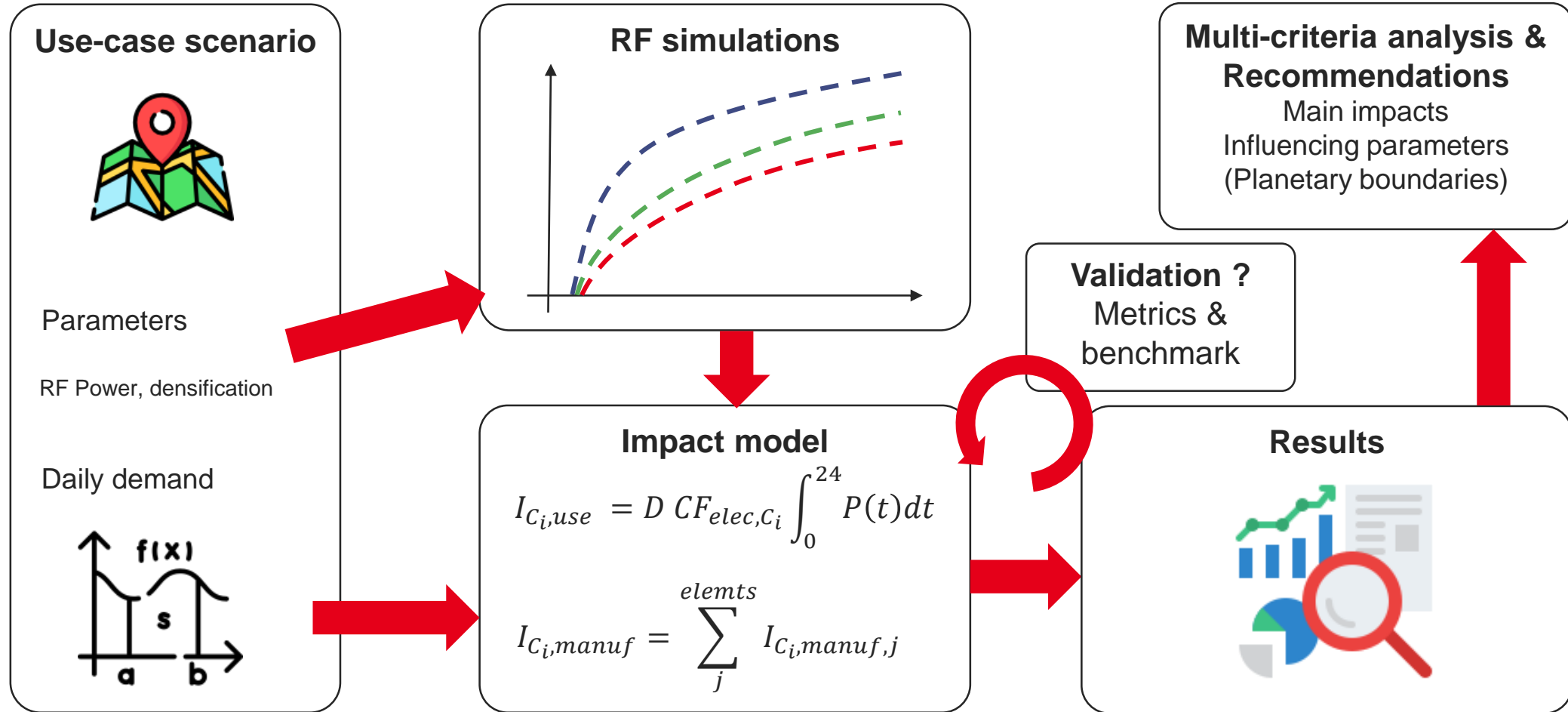


<https://www.cartoradio.fr/>



Can densification be sustainable ?

Methodology - overview



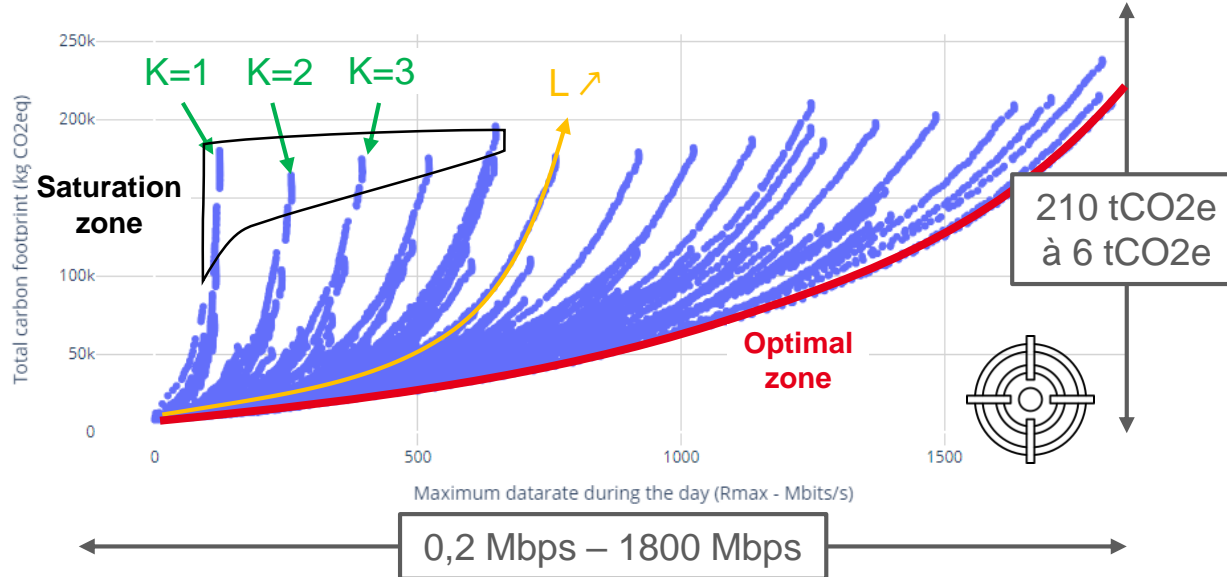
Disclaimer

- Results only valid for the **above model** and associated **scenario** and **perimeter**.
 - Figures represent **10 years of use** and consider the **daily mobile demand profile**
 - Electricity mix : **EU**
 - Model **precision is limited** (cf exclusions and limits)
- **We do not know yet if densification is feasible** from a technological point of view, and **no deployment are existing** so far.
- Those results **cannot be extrapolated to other situations**

Tendencies on total global warming

K	#users / time slot
L	#APs (Access Points)
M	#Antennas / AP
P	Transmitted power / AP

Global warming of the CF-mMIMO network, 10yrs, EU mix



Empirical optimal combinations in case of optimal zone for carbon indicator

L	1-22	6-16	12-31	13-87
K	4-15	10-13	13	15
M	4	16	16	32
P_{RF} (dBm)	20-23	23	23	20
Rmax network (Mbps)	25-460	460-750	750-980	980-1800
Rmax/user (Mbps)	6,2-31	46-57	58-75	65-120
W	1-3	3-16	6-16	13-87
tCO2eq	8-27	27-42	27-62	62-210

- Going toward right side = densifying the network
- A wide range of possibilities
- **Saturation zone** : while K, L, M, P \nearrow => impact ++ & perf ++
- **Optimal zone** : limited number of environmentally relevant parameters

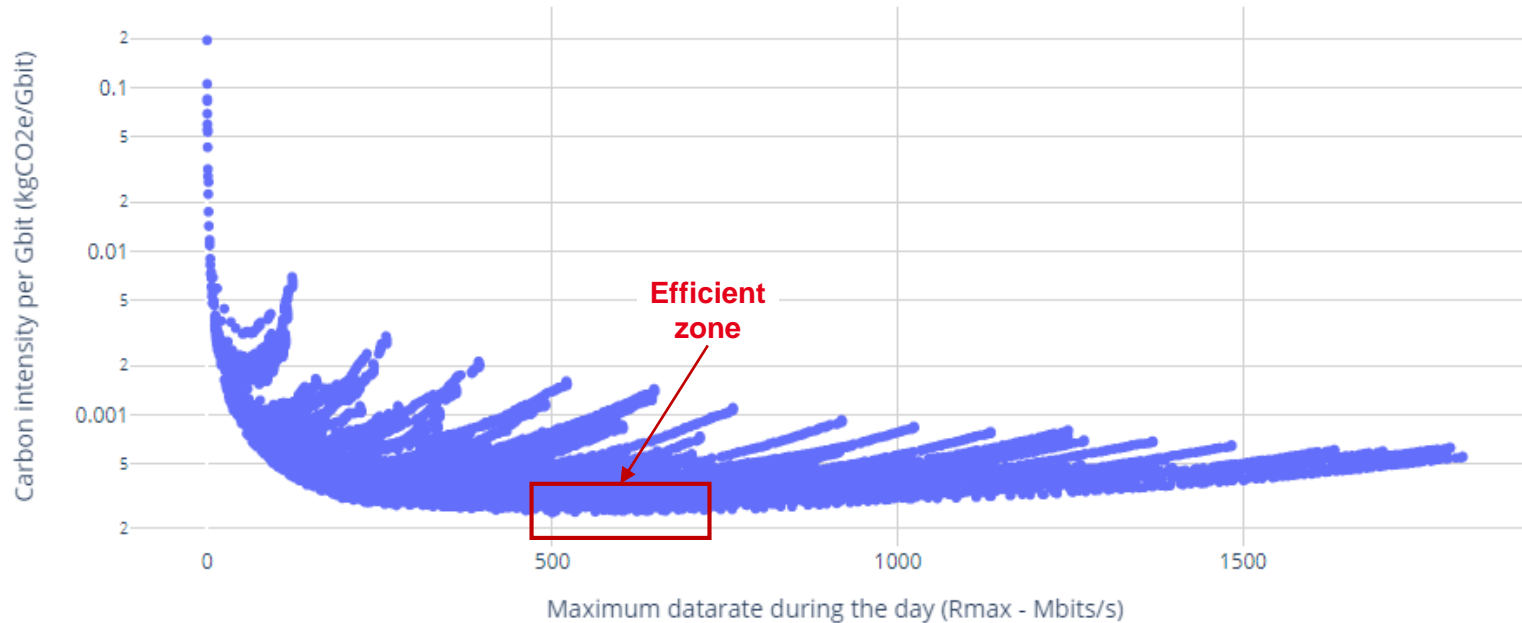


Compromise to find between impacts and performances

Intensity metrics

K	#users / time slot
L	#APs (Access Points)
M	#Antennas /AP
P	Transmitted power /AP

Intensity metrics of the work (averaged based on daily demand)



Parameters matching with **best intensity metrics**

	K	L	M	P_{RF} (dBm)	value
Best Eib (kWh/Gbit)	15	37 [23-40]	4	20	$4,2E-4$
Best Cib (kgCO2e/Gbit)	10 [10-13]	8 [8-12]	16	23	$2,5E-4$
Best material/GB	15 [10-15]	2 [1-4]	32	26 [23-26]	$6,4E-5$

In **bold** the best value, in brackets [] the range of the 10 best values.

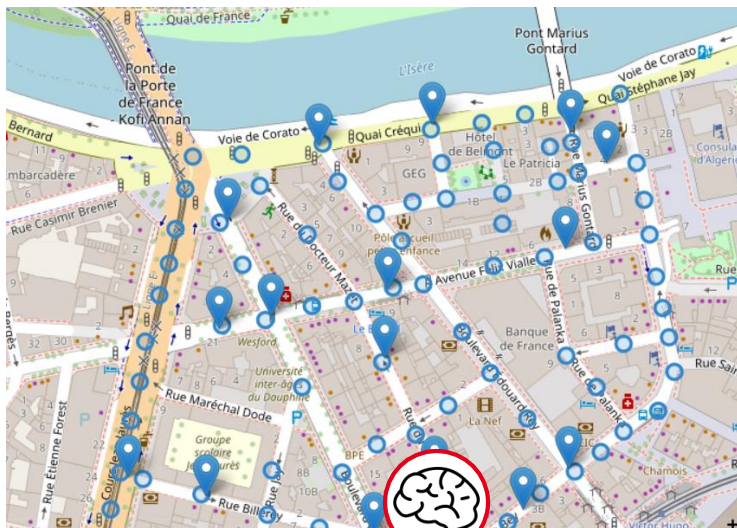
- We observe a **U-shape**
 - On the left : densification for more efficiency
 - On the right : densification leads to higher datarate performance but poorer efficiency
- The U-shape is **indicator-dependent** (see table), but also €, others impact categories and use-cases.



- There is an efficient zone for every situation
- Focusing only on energy cannot lead to the best sustainable solution (other indicators existing)

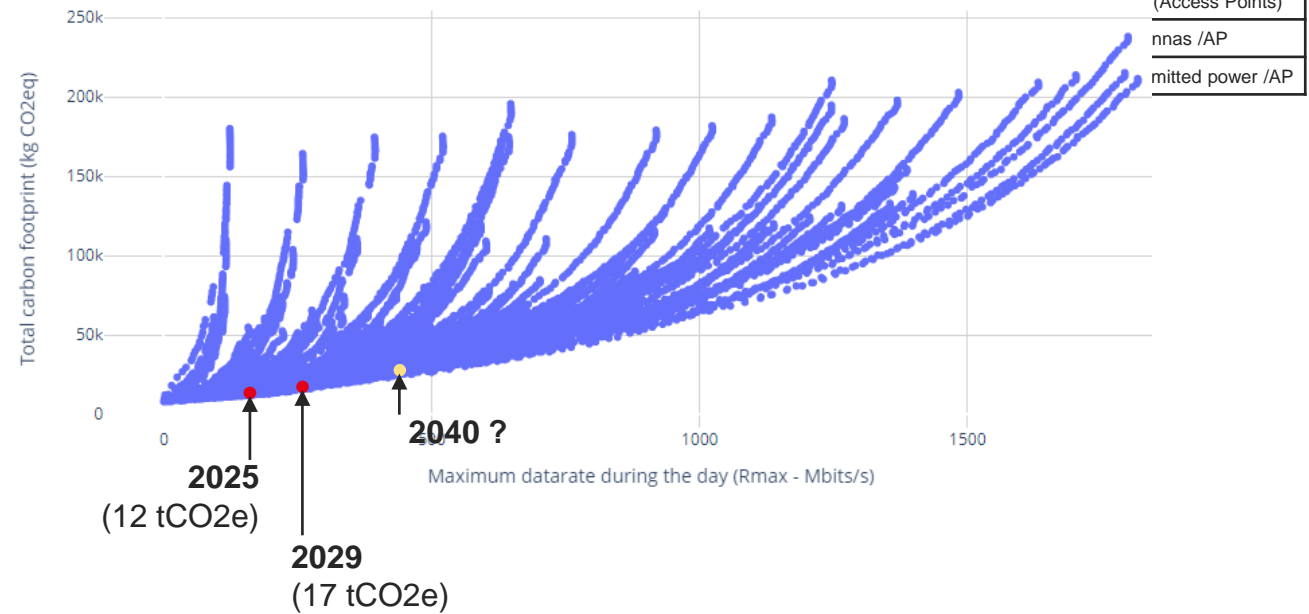
Grenoble use-case

- Grenoble dense urban area 0,13 km²
- 9000 pers/km² => 1200 pers
- Data plan 2025 : 29,3 GB/month/pers
- Data plan 2029 : 48,9 GB/month/pers

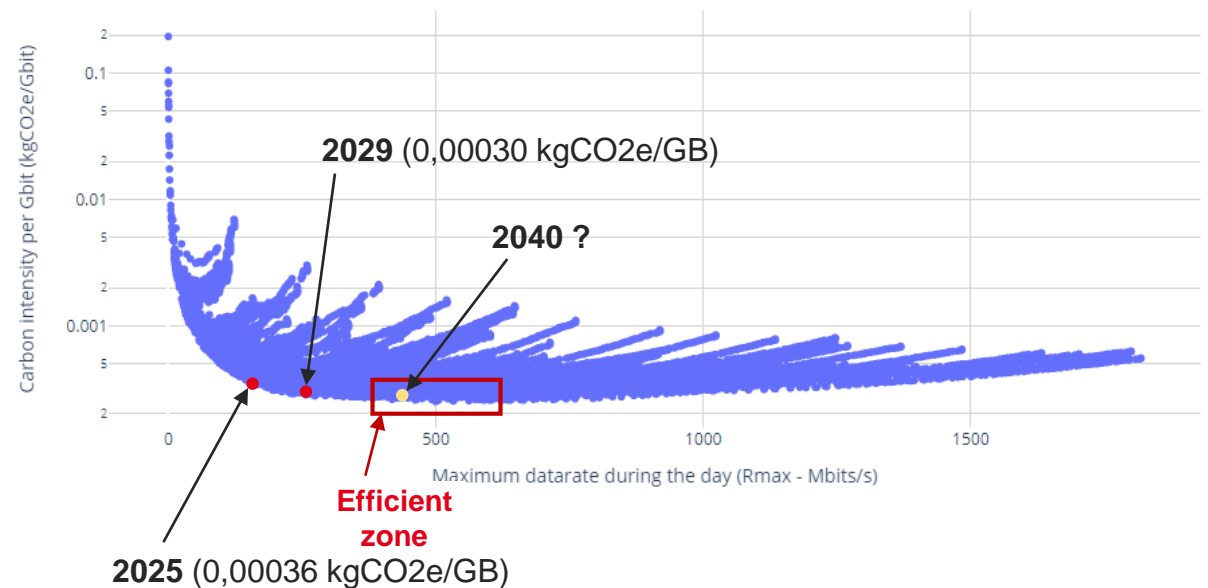


In 2030, the estimated needs will not reach the efficient zone. Deployment would just be starting with many other bands available.

Environmental impact of the CF-mMIMO network for 10 years : zoom on Total_CF_mMIMO



Intensity metrics of the whole CF-mMIMO network for 10 years



Grenoble use-case

- Historical infrastructure => will 6G **come on top** or be **replacing** previous technology ?
 - If on top, this will only increase the impacts
 - If replacing partially the current network => what are the impacts ? On what conditions this is sustainable ?



- New architecture could be a candidate to **fit with the demand evolution**
- But there is a **high risk of rebound impact**
- Choice of **deployment** is of prior importance



4. ■ Concluding remarks

Towards reduction of environmental impacts of ICT



Will the 6G be ...

Part of the problem ?

- Accumulation of networks
- Rebound effects



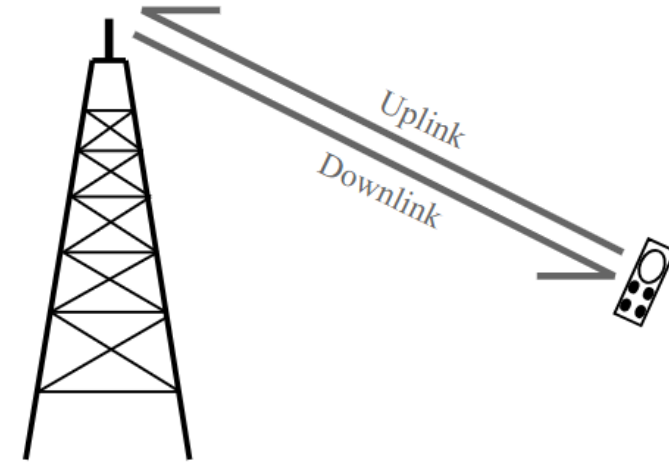
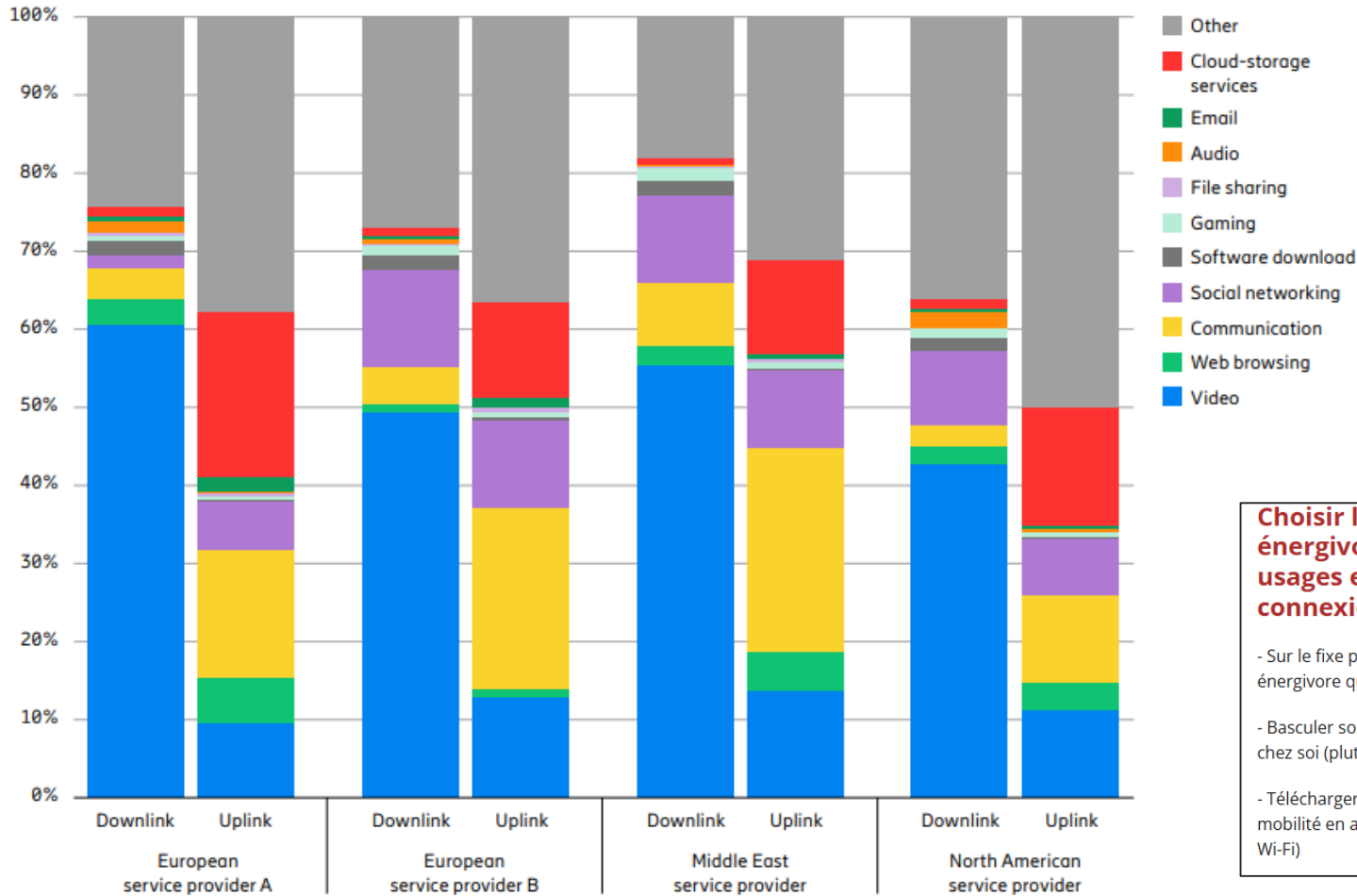
Part of the solution ?

- *More energy efficient per GB w.r.t 3G, 4G, 5G*

Wireless mobile market



Figure 11: Share of traffic volume in downlink and uplink per application category



Average monthly mobile data usage per smartphone is expected to reach **56 GB** in 2030, rising from **21GB** at the end of 2023.

Choisir le réseau le moins énergivore en fonction de ses usages et privilégier une connexion internet fixe

- Sur le fixe par exemple, la fibre est moins énergivore que le cuivre
- Basculer son téléphone en mode Wi-Fi une fois chez soi (plutôt que de rester en 3G ou 4G)
- Télécharger ses contenus consommés en mobilité en avance chez soi sur un réseau fixe (via Wi-Fi)

Utiliser le Wi-Fi à la maison pour ses usages sur téléphone mobile, c'est un geste de sobriété énergétique !

Prolonger au maximum la durée de vie des équipements / terminaux

- Ne changer de smartphone que lorsqu'il n'est plus fonctionnel (même chose pour les autres terminaux : ordinateurs, écrans, tablettes, etc...)
- Privilégier les terminaux recyclés et recycler son téléphone en fin de vie

[1] Etienne Lees Perasso, Caroline Vateau, et Firmin Domon, « Etude Numérique et Environnement - Analyse prospective 2030 et 2050 », Étude réalisée pour le compte de l'ADEME et l'Arcep par : LCIE Bureau Veritas, IDATE, janv. 2023.



October 2024

New consumption peak record in France

October 2024 New consumption peak record in France

Update Call of Duty



11:30 B. 8.00 KB/S 26%

pour que cette quantité de trafic puisse être absorbée. Ça comme un hic !

Christian Gacon · 2e
Vice President, Broadband Networks at ...
4 j · 🌐 [Se connecter](#)

Call of Duty envoie le trafic internet dans la stratosphère.

Le 21 octobre 2024 a vu le pré-lancement de "Call of Duty: Black Ops 6". Concrètement, tous les joueurs de Call of Duty ont téléchargé automatiquement une mise à jour qui pèse entre 80 Go et 300 Go selon les configurations. Il ne restait plus ensuite qu'à télécharger un petit complément le 25 octobre, jour de la sortie commerciale, pour les joueurs qui ont acheté la licence

En France, ces téléchargements ont commencé à partir 18H et se sont réalisés pendant la soirée. Ils ont donc eu lieu pendant la période où les réseaux sont les plus sollicités. En effet, "l'heure de pointe" des réseaux télécoms est en début de soirée lorsque les clients se connectent sur les plateformes de streaming pour regarder une série, un replay ou un film.

Le réseau d'Orange a donc battu ce soir-là un nouveau record de trafic internet. Selon un article publié dans [Light Reading](#), il en a été de même pour [Comcast](#) (voir commentaire).

A noter que le précédent record datait du 1er mai 2024 et correspondait à une autre mise à jour de Call of Duty qui coïncidait avec un match de football de ligue des champions (demi-finale aller PSG-Dortmund).

Cette fois-ci, l'énormité de la mise à jour et l'horaire choisi pour sa mise à disposition auront permis à Call of Duty de battre le record sans avoir besoin de l'aide d'un match de football à forte audience.

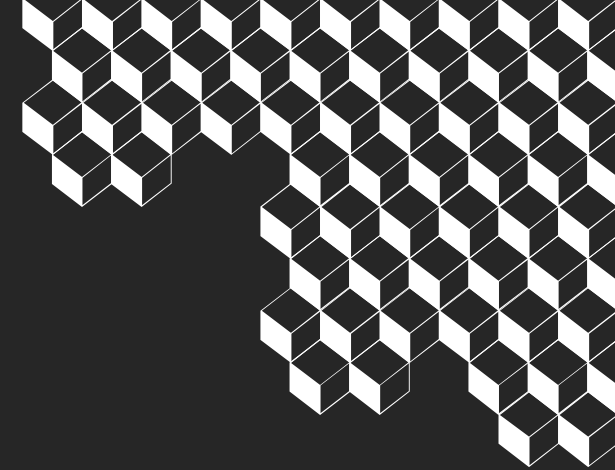
Heureusement, le réseau d'Orange est suffisamment solide pour absorber un tel événement.

Cependant, on peut se demander si l'éditeur de Call of Duty se permettrait d'envoyer des mises à jour de 300 Go, à des joueurs qui n'achèteront peut-être jamais le jeu, à une heure de "grande écoute", alors que cela pourrait être fait à des horaires beaucoup moins problématiques, s'il payait au juste prix le trafic qu'il envoie aux opérateurs

Pour mémoire, Call of Duty est un jeu produit par [Activision Blizzard](#), société achetée par [Microsoft](#) en 2023.

[#gafam](#) [#internet](#) [#telecom](#)

A set of three mobile navigation icons: a hamburger menu icon, a square icon, and a back arrow icon.



Jean-Baptiste Doré – CEA-Leti

jean-baptiste.dore@cea.fr

Laura Vauche – CEA-Leti

laura.vauche@cea.fr

Peralta Maxime – CEA-List

maxime.peralta@cea.fr

Acknowledgments



anr[®]



pepr-futurenetworks.fr



Symposium pour l'électronique & le numérique durables

Le 12 décembre 2024, Grenoble

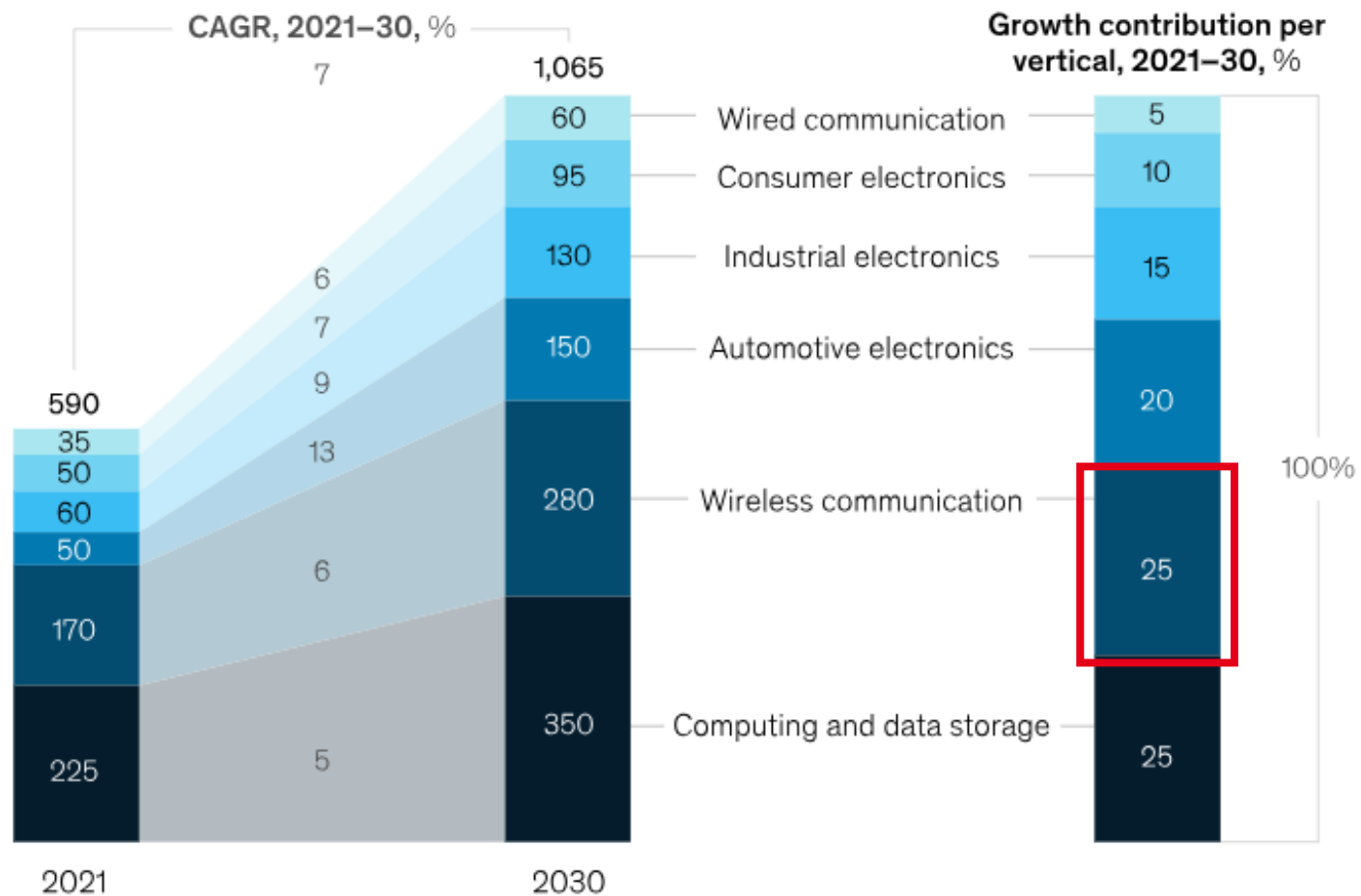
AVEC
tech&fest



Wireless mobile market



Global semiconductor market value by vertical, indicative, \$ billion



Note: Figures are approximate.