



Energie, climat : mondes virtuels & réseaux

Présentation des rapports intermédiaires

14 décembre 2023



Équipe projet



Hugues Ferreboeuf
Chef de projet « Numérique »
The Shift Project



Maxime Efoui-Hess
Coordinateur de projet « Numérique »
The Shift Project



Marlène de Bank
Ingénieure de recherche
The Shift Project



Groupe de travail Mondes Virtuels
8 membres



Groupe de travail Réseaux
6 membres

Le Shift Project, c'est quoi ?



Le think tank de la **décarbonation**



Une association d'intérêt général
guidée par la **rigueur scientifique**

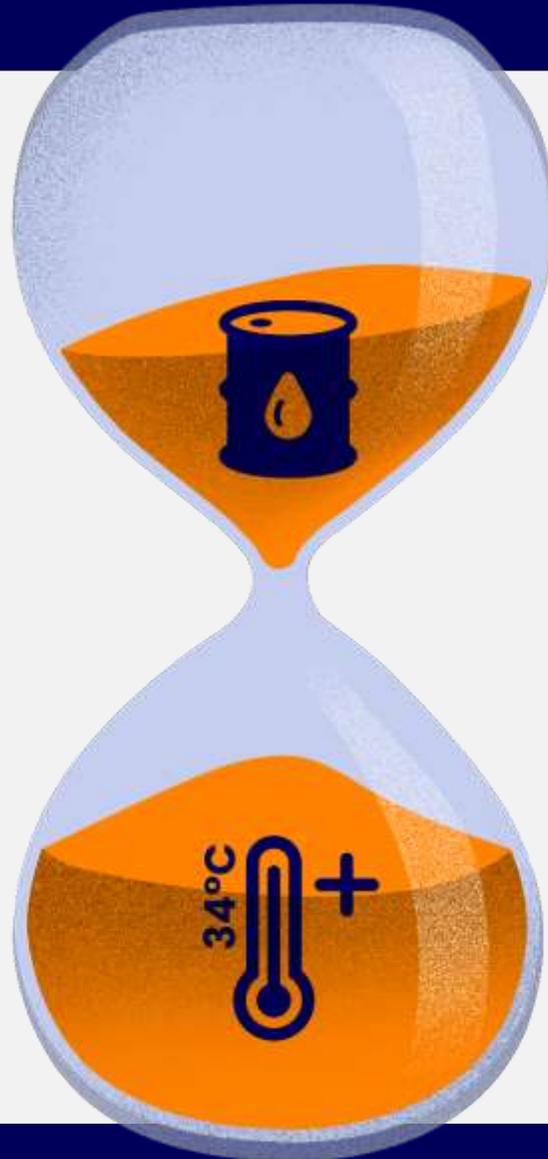


Eclairer & influencer les débats
sur la **transition énergétique**

Pourquoi ? La double contrainte carbone

CLIMAT

D'un côté, le changement climatique nous engage à **réduire nos émissions de gaz à effet de serre** pour réduire son intensité



ENERGIE

De l'autre, la contraction inéluctable de l'approvisionnement pétrolier nécessite de l'anticiper, donc de **réduire la consommation de pétrole** avant qu'elle ne diminue de force

Déroulé

14h00

Présentation des rapports intermédiaires : Mondes virtuels & réseaux

Programme Energie-climat « Numérique »

Mondes virtuels et contrainte carbone

Infrastructures réseaux et contrainte carbone

14h50

Questions-réponses avec le public

(via l'onglet Q&R de Zoom)

15h00

Ateliers collaboratifs

4 ateliers en parallèle :

- Atelier Réseaux mobiles
- Atelier Réseaux satellitaires
- Atelier Matrice « usages - systèmes numériques
- Atelier Scénarios métavers & mondes virtuels

(pour celles et ceux ayant reçu une confirmation et le lien)

17h00

Synthèse des ateliers et questions-réponses avec le public

(via l'onglet Q&R de Zoom)

17h30

Conclusion



L'impact environnemental du numérique

Contexte et approche

Contexte et approche - Sommaire

- Numérique et environnement: un sujet (devenu) politique
- Le programme numérique du Shift Project
- La nécessité d'une approche systémique
- Mondes virtuels et réseaux: anticiper plutôt que constater

Numérique et environnement : un sujet (devenu) politique

2019-2020

Loi AGECE
Feuilles de route CNNum et MTES
Cigref / sobriété numérique
Numeum / Planet TechCare

Data centers : code of conduct

2021-2022

Loi REEN
Mandat Arcep et Arcom

Conseil Européen
« Twin transition »
EGDC

2023

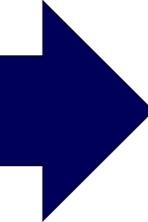
Proposition de feuille de route Art 301
Intégration du Numérique dans la
SNBC3

Energy Efficiency Directive +
Delegated Act : data centers

2024...

SNBC3: trajectoire et politiques
publiques
Ademe, France Stratégie: rapports
« IT for Green »

EGDC: 2eme phase Pilot Project



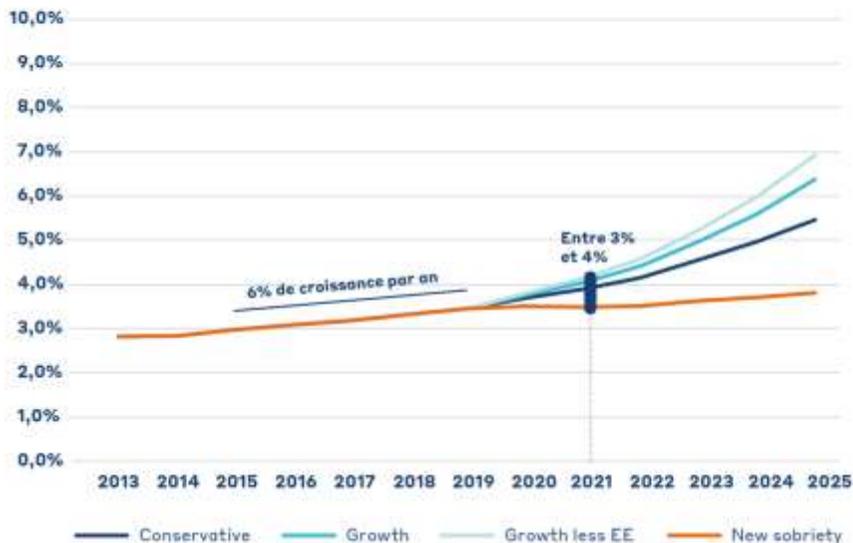
- Le Numérique a une empreinte environnementale significative et en forte croissance
- Cette tendance est structurelle : de forts gains d'efficacité énergétique ne compensent pas le rythme de l'hyperconsommation
- Elle ne pourra pas s'inverser sans mise en place de politiques publiques et sans transformation des modèles d'affaires
- Ces constats sont bien présents en France et en partie en Europe mais très peu en Asie et aux Etats-Unis qui impulsent la dynamique extractiviste du secteur
- L'apport du numérique à la décarbonation d'autres secteurs est possible mais doit être relativisé
- La gestion de la problématique « numérique et environnement » renvoie à la question de la place du numérique dans le modèle de société identifié comme souhaitable

Numérique et environnement : un sujet politique

Tendanciel

Monde

Part du numérique dans les émissions de GES mondiales



France

Empreinte carbone du numérique en projection tendancielle (en Mt CO₂eq)



Transformation
du secteur

Objectifs



- 45 %



- 30 %



Le programme numérique du Shift Project

Lean ICT – Pour une sobriété numérique (2018)

Energie, climat : l'insoutenable usage de la vidéo en ligne (2019)

Déployer la sobriété numérique (2020)

Impacts environnementaux du numérique à 5 ans et gouvernance de la 5G (2021)

Planifier la décarbonation du système numérique en France (2023)

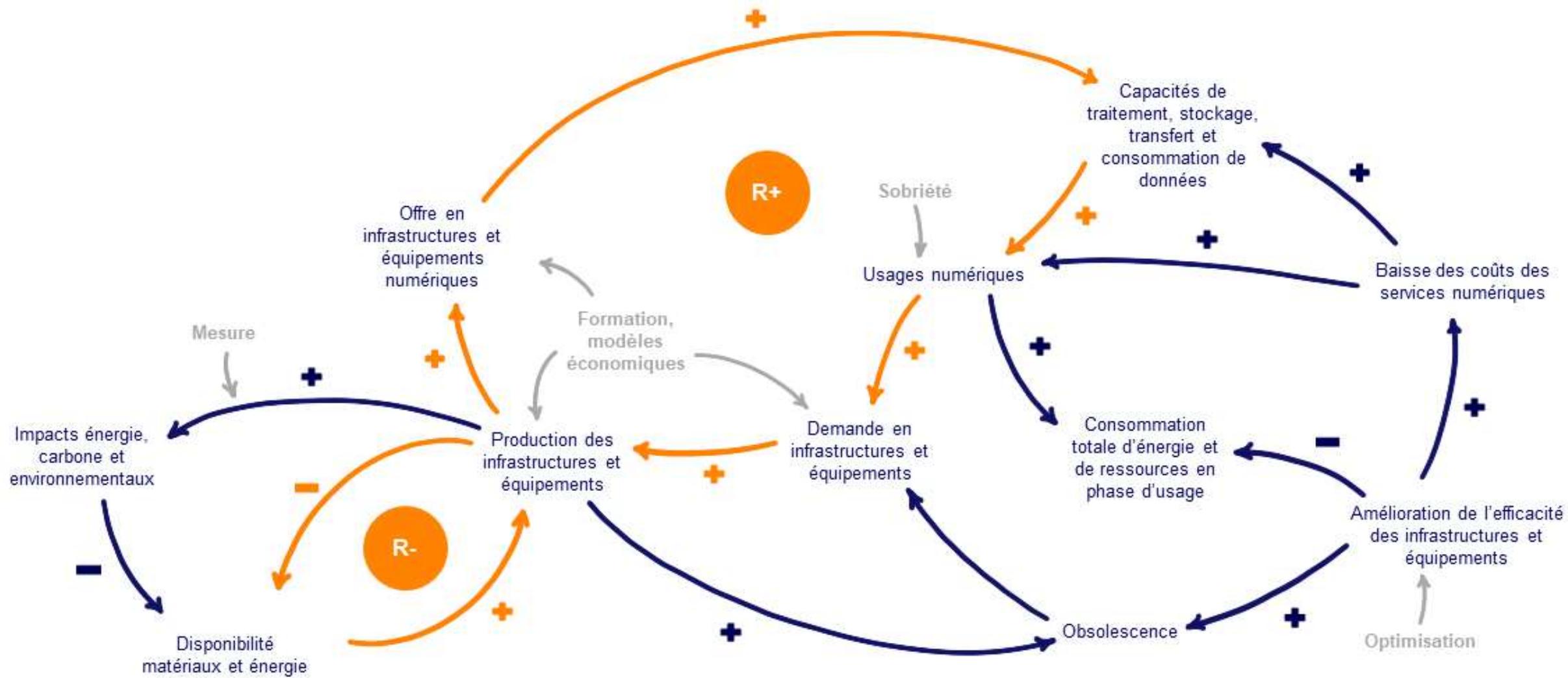
Etudes et recherche

- Rester pertinent / évolutions technologiques
- Innovations « early stage » à fort impact
- 2023 : métavers/mondes virtuels, 6G/réseaux
- 2024 : IA/puissance de calcul, numérique contributif

Portage et lobbying

- Comités permanents
- Media
- Initiatives gouvernementales ou parlementaires ou associatives
- Communauté scientifique spécialisée
- Ecosystème communautaire

La vision physique du numérique



Source : The Shift Project (2023)

Mondes virtuels et réseaux : anticiper plutôt que constater

Les technologies-cœur des mondes virtuels murissent mais le métavers reste à définir

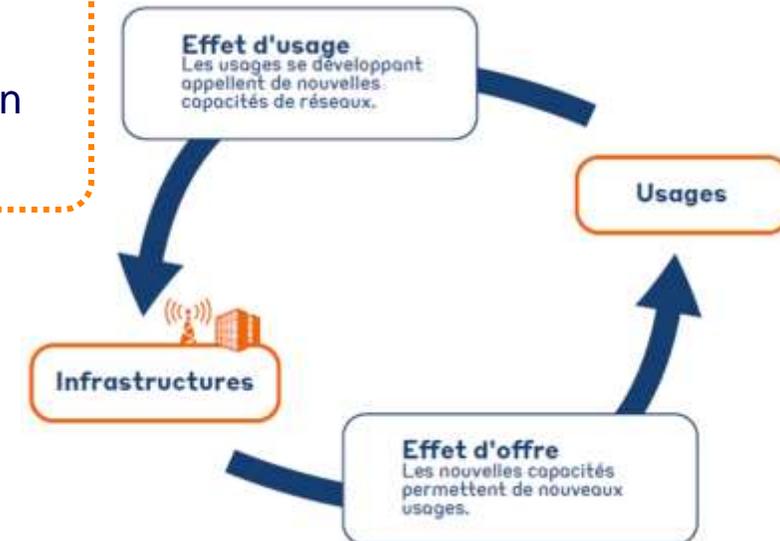
- Éclairer les conséquences des choix possibles: quels mondes virtuels pour quel monde réel ?
- Modéliser pour outiller la réflexion au sein des entreprises et de l'Etat / de la Commission Européenne
- Recommander des stratégies d'adoption (ou de non-adoption...)



Intégrer la contrainte environnementale dans les réseaux du futur (2030)

- Confirmer l'impasse environnementale des stratégies actuelles de déploiement
- Modéliser pour outiller la réflexion dans le contexte français (SNBC) et européen
- Identifier les modalités (techniques, usages, réglementation etc..) à privilégier

Deux études coordonnées car les scénarios de mondes virtuels sont structurants pour concevoir les réseaux du futur (et réciproquement)





Mondes virtuels et contrainte carbone

Contexte

- Engouement suite aux investissements massifs et à l'annonce de Meta
- Développements en cours, structuration de l'écosystème numérique
- Une proposition de nouveaux usages de mondes virtuels pour un système numérique déjà soumis dans son ensemble à l'épreuve de la contrainte énergétique et climatique

Questions de recherche

L'offre mondes virtuels a-t-elle une conséquence sur la consommation électrique et l'empreinte carbone du système numérique ?

Selon les caractéristiques des mondes virtuels, notre système numérique peut-il être sobre et résilient ?

**Comment la double-contraainte carbone nous impose d'arbitrer entre les différentes options de développements technologiques ?
Et quelles questions se poser lors de cet arbitrage ?**

→ « Orienter nos choix technologiques vers la sobriété numérique »

Sommaire

- Définition et approche duale des mondes virtuels
- Effets des mondes virtuels induits sur le système numérique et conséquences énergétiques et climatiques : la matrice
- Etude de cas « La méta-conférence »

Caractéristiques des mondes virtuels

*Options de développements
technologiques*

**« Cas d'usage » des mondes
virtuels**

Approche duale des mondes virtuels

Caractéristiques des mondes virtuels

Options de développements technologiques

Caractéristiques	Définition
Coexistence physique et numérique	interaction virtuel – monde réel
Immersion	coexistence physique et numérique pour êtres humains
Simultanéité	rapidité des interactions
Localisation	lieu d'accès
Persistance	sans l'utilisateur, le monde virtuel continue d'exister
Virtualisation et remplissage	richesse, complexité et contenus des mondes virtuels
Commercialisation	outils : collecte de données, publicité ciblée
Taille importante requise	pour rendre les services annoncés

« Cas d'usage » des mondes virtuels

Approche duale des mondes virtuels

Caractéristiques des mondes virtuels

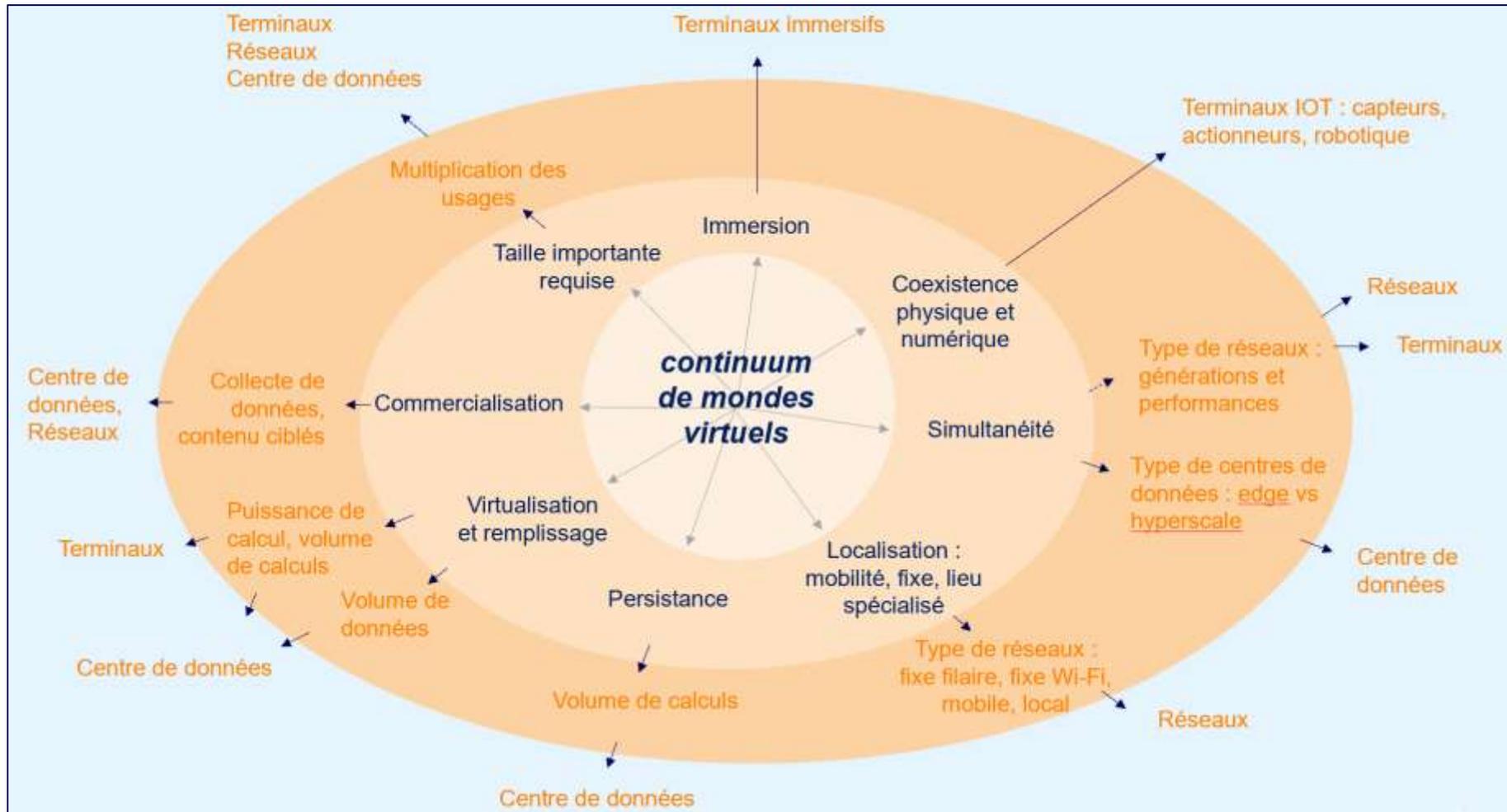
Options de développements technologiques

Caractéristiques	Définition
Coexistence physique et numérique	interaction virtuel – monde réel
Immersion	coexistence physique et numérique pour êtres humains
Simultanéité	rapidité des interactions
Localisation	lieu d'accès
Persistance	sans l'utilisateur, le monde virtuel continue d'exister
Virtualisation et remplissage	richesse, complexité et contenus des mondes virtuels
Commercialisation	outils : collecte de données, publicité ciblée
Taille importante requise	pour rendre les services annoncés

« Cas d'usage » des mondes virtuels

« Cas d'usage »
Les conférences et réunions en ligne
Les jeux vidéo (selon la localisation)
Les réseaux sociaux
Les achats en ligne
Les jumeaux numériques
Les expériences culturelles (selon la localisation)
La pornographie
La formation et l'apprentissage
La santé
L'administration et les services en ligne

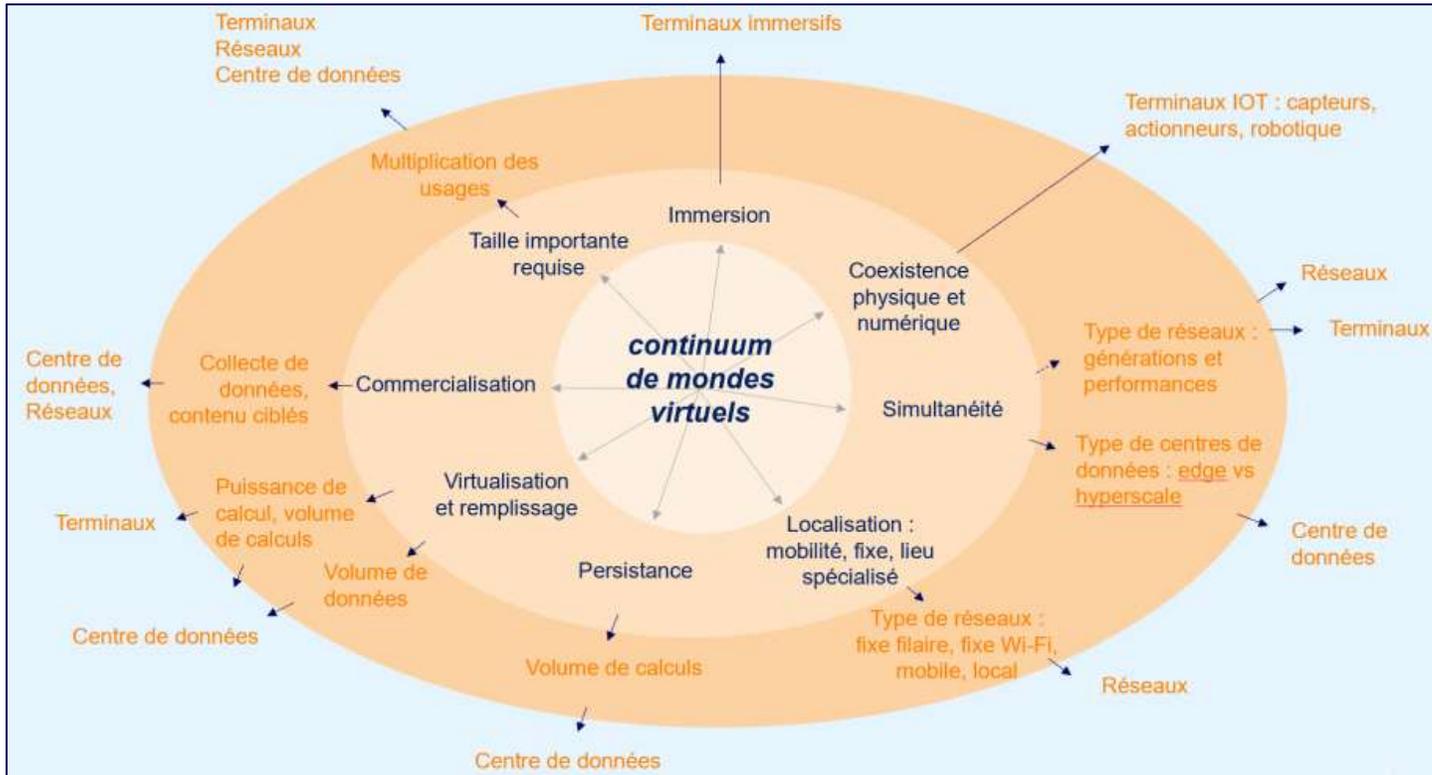
Choix technologiques et effets induits sur le système numérique : La matrice



Version provisoire de la matrice « usages – systèmes numériques »

Présentation du rapport intermédiaire « Quels mondes virtuels pour quel monde réel ? » le 14 décembre 2023

Choix technologiques et effets induits sur le système numérique : La matrice



Version provisoire de la matrice « usages – systèmes numériques » - Présentation du rapport intermédiaire « Quels mondes virtuels pour quel monde réel ? » le 14 décembre 2023

Un outil pour **inscrire des choix de développement technologique** dans une dimension **infrastructurale** et de **long-terme** en les reliant aux dynamiques énergétiques et répondre aux questions :

- Quelles directions technologiques nous entraînent vers une consommation accrue de terminaux (et donc une dépendance) ?
- Quelles directions technologiques sont des rouages de l'inflation des volumes de données ?
- Quelles directions technologiques exercent une pression sur l'extension des infrastructures réseaux ?

Empreinte énergie-climat du cas d'étude « La méta-conférence »

Etape n°1

Décrire le « cas d'usage » étudié, le scénario de référence, le contexte d'implémentation

Etape n°2

Evaluer les caractéristiques présentées et les impacts énergétiques et climatiques

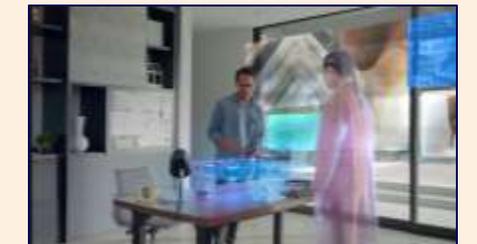
Etape n°3-1

Discuter l'apport et la nécessité de chaque caractéristique face à son coût énergétique

Etape n°3-2

Discuter les conditions de pertinence du « cas d'usage »

« La méta-conférence »



2023

2030 et +

Références et sources disponibles dans notre rapport intermédiaire « Quels mondes virtuels pour quel monde réel » ? Présenté le 14 décembre 2023

Empreinte énergie-climat du cas d'étude « La méta-conférence »

Etape n°1

Décrire le « cas d'usage » étudié, le scénario de référence, le contexte d'implémentation

Etape n°2

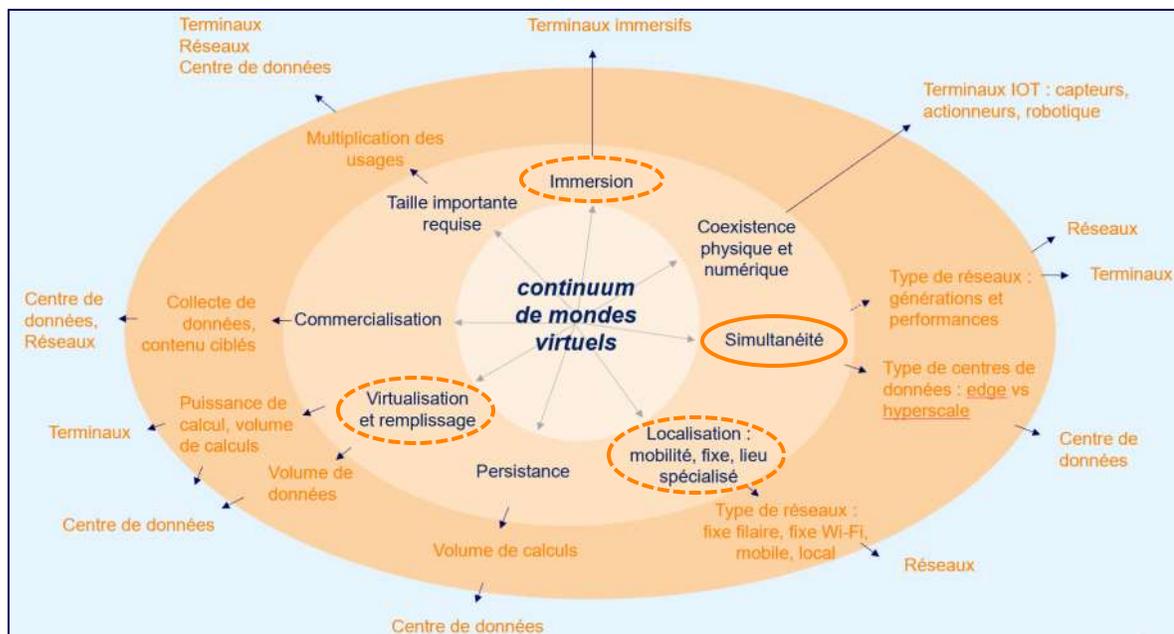
Évaluer les caractéristiques présentées et les impacts énergétiques et climatiques

Etape n°3-1

Discuter l'apport et la nécessité de chaque caractéristique face à son coût énergétique

Etape n°3-2

Discuter les conditions de pertinence du « cas d'usage »



- **Terminaux** : immersion, virtualisation, simultanéité
- **Réseaux** : simultanéité, immersion, mobilité
- **Centres de données** : mobilité, virtualisation

Version provisoire de la matrice « usages – systèmes numériques » -
Présentation du rapport intermédiaire « Quels mondes virtuels pour quel monde réel ? » le 14 décembre 2023

Empreinte énergie-climat du cas d'étude « La méta-conférence »

Etape n°1

Décrire le « cas d'usage » étudié, le scénario de référence, le contexte d'implémentation

Etape n°2

Evaluer les caractéristiques présentées et les impacts énergétiques et climatiques

Etape n°3-1

Discuter l'apport et la nécessité de chaque caractéristique face à son coût énergétique

Etape n°3-2

Discuter les conditions de pertinence du « cas d'usage »

Contribution aux émissions de GES du secteur numérique :

- **Analyser les contreparties de chaque direction technologique face à son coût énergétique et climatique :**
 - La direction ***immersion*** : casques ou lunettes additionnels pour les terminaux
 - La combinaison des directions (***simultanéité* x *immersion***) : faibles latences et haut-débit pour les réseaux
 - Qu'apporte la simultanéité ? Qu'apporte l'immersion ? Quelles alternatives ?

Empreinte énergie-climat du cas d'étude « La méta-conférence »

Etape n°1

Décrire le « cas d'usage » étudié, le scénario de référence, le contexte d'implémentation

Etape n°2

Evaluer les caractéristiques présentées et les impacts énergétiques et climatiques

Etape n°3-1

Discuter l'apport et la nécessité de chaque caractéristique face à son coût énergétique

Etape n°3-2

Discuter les conditions de pertinence du « cas d'usage »

Contribution à la décarbonation hors chaîne de valeur numérique :

- L'analyse doit être **systematique** et **exhaustive**
- Identifier les **conditions de pertinence du cas d'usage** : effets rebonds de mobilité, logement, bâtiment, relocalisation...
- Par rapport à quel scénario : mobilités carbonées ou mobilités en décarbonation ?
- Identifier les **conditions de pertinence en termes de mécanisme de substitution** : la conférence immersive attire-t-elle de nouveaux utilisateurs vers le travail à distance ?

Ateliers

Atelier Matrice « usages - systèmes numériques »

Un outil pour évaluer les dynamiques dans lesquelles s'intègre un choix technologique : bénéfiques, délétères, conditions de pertinence. Pour plusieurs usages possibles de mondes virtuels, quelles sont les spécificités techniques des systèmes numériques induites par leurs développements ?

Atelier Scénarios métavers & mondes virtuels

Comment l'élaboration de scénarios permet de décrire les possibles systèmes techniques et d'usages des mondes virtuels ? Quels impacts et quelle place dans la société transformée ? Quels effets indirects (émissions évitées, effet rebond, ...) ?

Suite des travaux

Quantifier les empreintes énergétiques et climatiques de différentes offres et contextes d'utilisation de mondes virtuels

En déclinant la méthodologie proposée sur de nouveaux cas

Identifier les conditions de pertinence dans lesquelles certaines typologies de mondes virtuels seraient compatibles de la double contrainte carbone ou à dissuader

Via l'identification des caractéristiques ou des combinaisons de caractéristiques de mondes virtuels et l'étude de conditions de pertinence

Comment permettre l'inflexion des volumes de données et de terminaux via les offres futures et le dimensionnement de notre système numérique pour maîtriser notre consommation énergétique ?



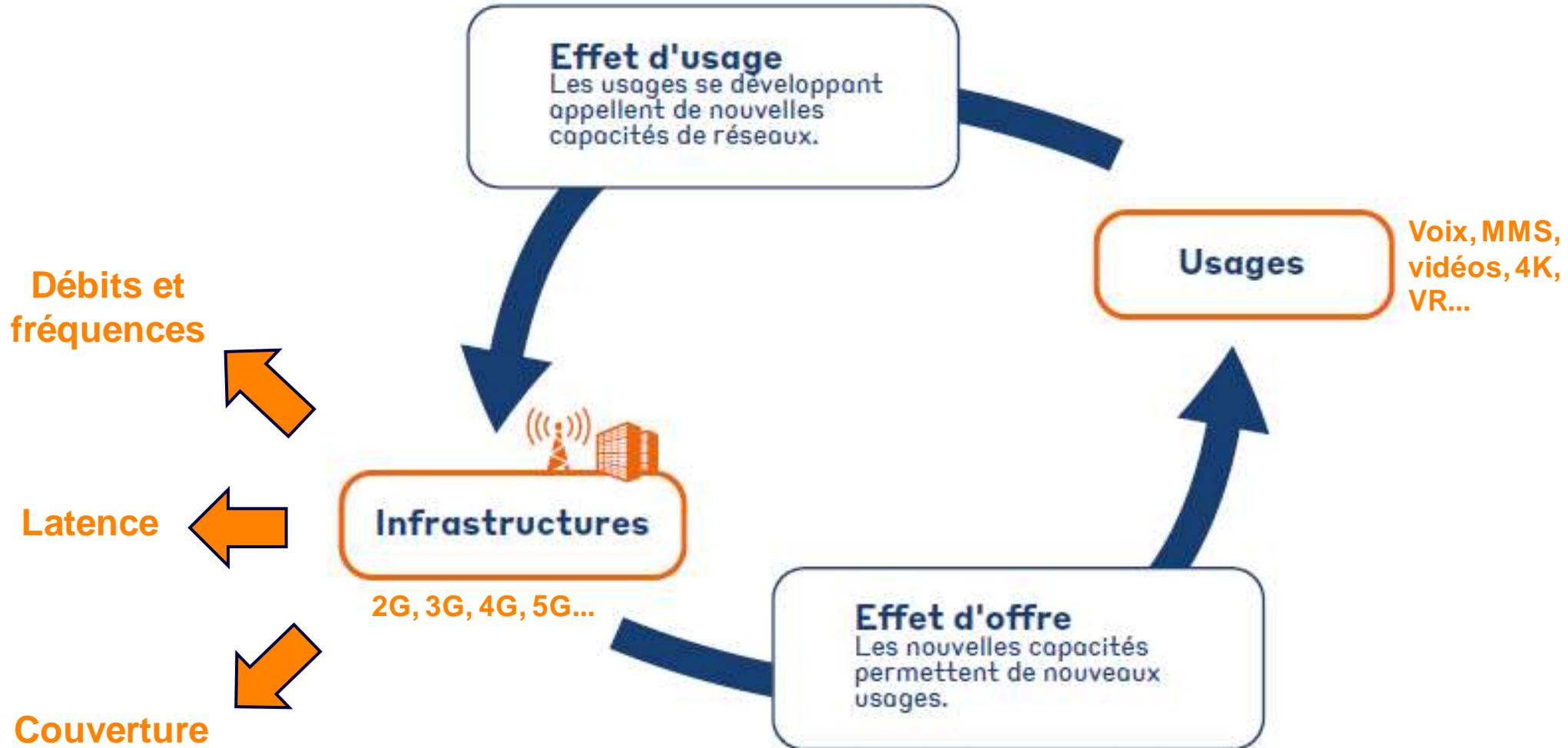
Infrastructures réseaux et contrainte carbone

Pourquoi l'impact carbone des réseaux ?



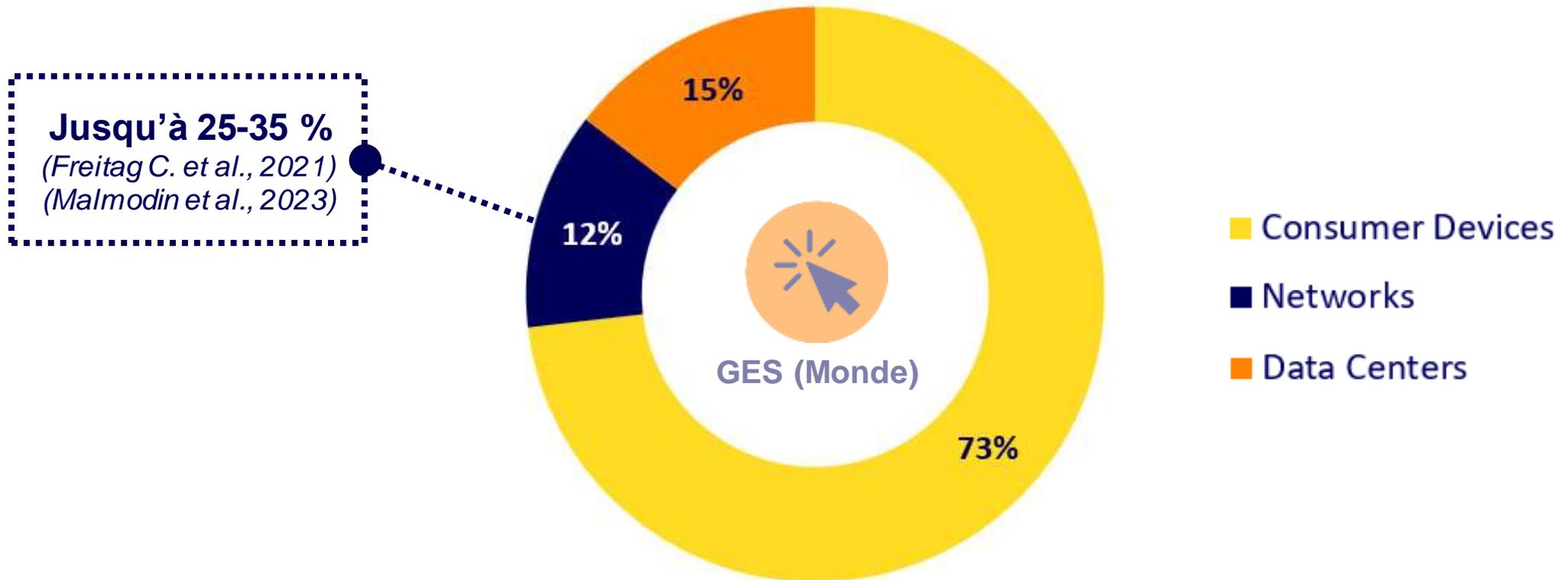
Source : The Shift Project (2021)

Pourquoi l'impact carbone des réseaux ?



Source : The Shift Project (2021)

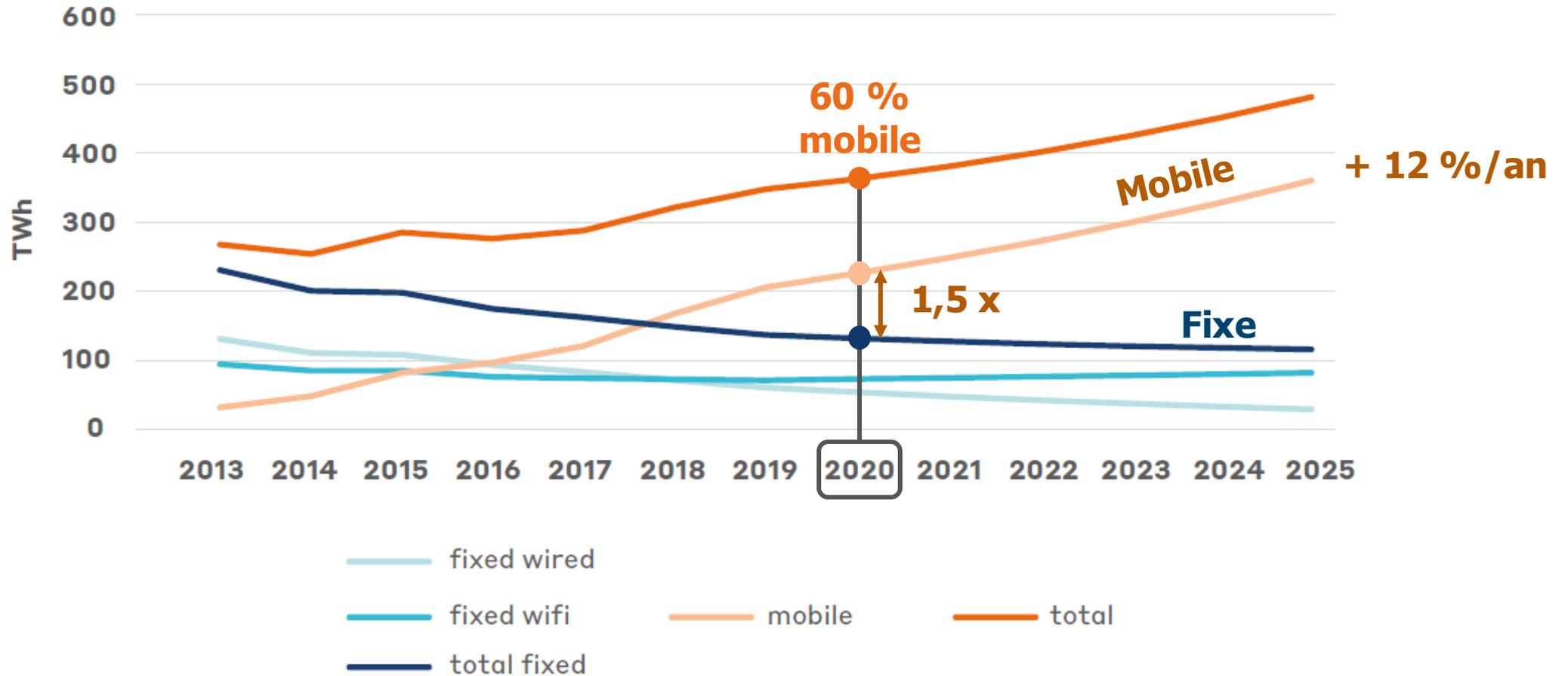
Impact carbone mondial du numérique



Source : The Shift Project (2021) – en kgCO₂e/an, données 2019

Pourquoi l'impact carbone des réseaux mobiles ?

Consommation électrique des infrastructures réseaux



Source : The Shift Project (2021)



Périmètre géographique

Périmètre France

Cas d'étude pour la construction du modèle



Autre pays

Modèle modulaire applicable à d'autres situations géographiques à terme



Périmètre EU et Monde

A terme, éclairer les trajectoires et décisions stratégiques du niveau EU *a minima*



Méthodologie appuyée sur trois piliers :

Construction de scénarios

Pour mettre en évidence les variables clés

Approche prospective en « backcasting »

Développer une infrastructure sous contrainte énergie-climat

Méthode de modélisation « conséquentielle »

Modéliser les conséquences des choix stratégiques

Réseaux mobiles – Construction des scénarios

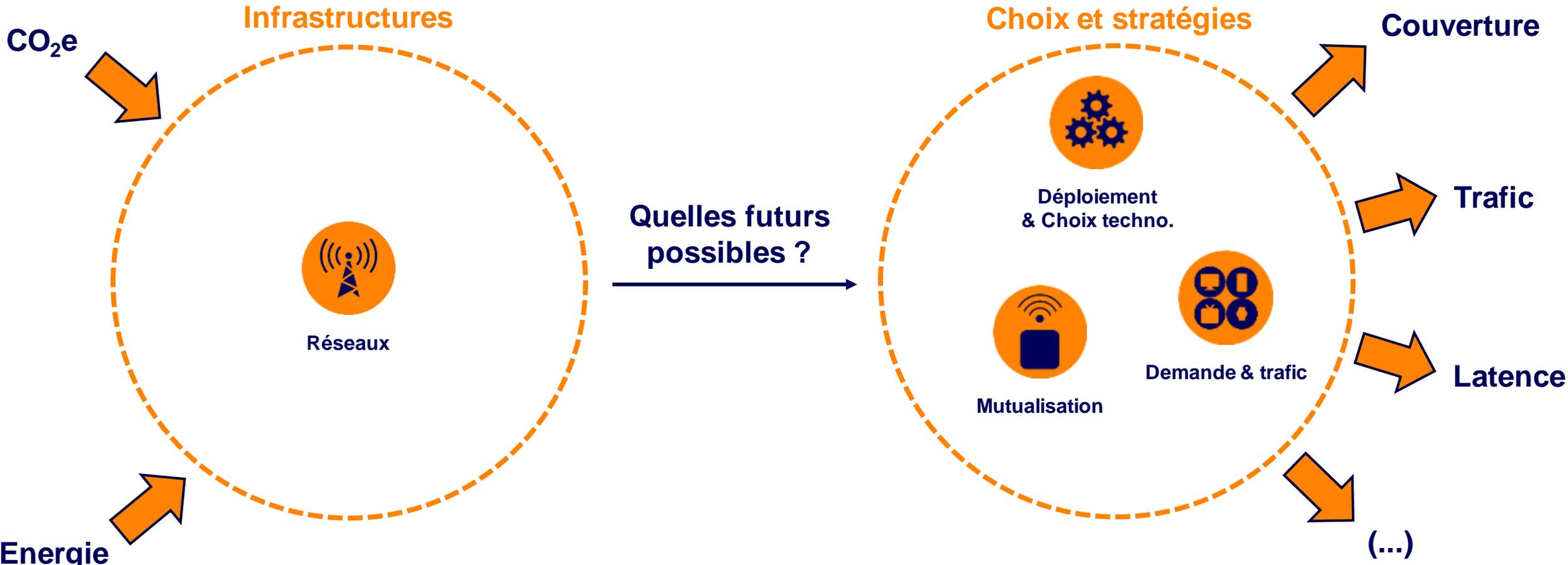
Scénarios réseaux mobiles						
	Maximaliste	Cahier des charges actuel	Zéro zone blanche	Urbain	Mutualisé	Un sobre
Stratégies de déploiement et enjeux sociétaux Objectifs des déploiements :	Totalité du territoire Tous les usages	Selon priorités du cahier des charges Arcep 5G	Priorité aux zones d'habitation (devant routes etc.)	Priorité aux zones urbaines Usages intenses	Selon priorités du cahier des charges Arcep 5G	Recentrage sur les zones déjà identifiées prioritaires
Offre Dynamiques de mutualisation :	Dynamiques actuelles	Dynamiques actuelles	Dynamiques actuelles	Dynamiques actuelles	Mutualisation intense	Mutualisation intense
Demande et panier de services Objectifs du dimensionnement réseau :	Service optimal pour tous les nouveaux usages	Dynamiques actuelles	Dynamiques actuelles	Service optimal pour tous les nouveaux usages	Dynamiques actuelles	Résilience des usages essentiels.



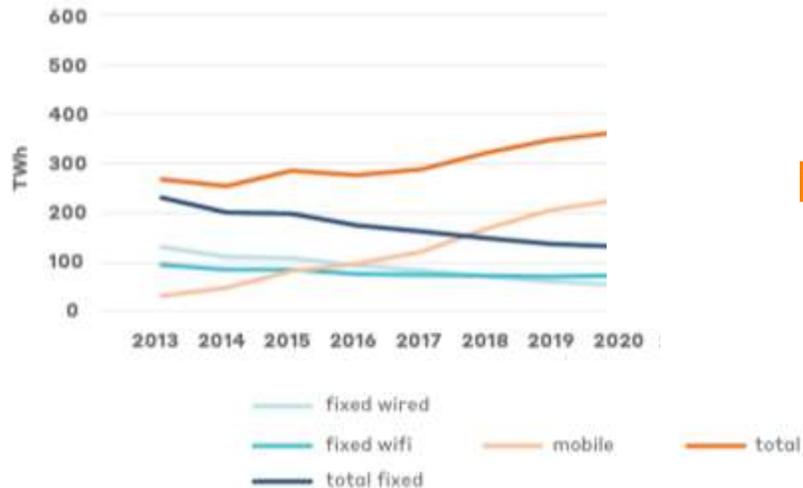
Paramètres des scénarios

Stratégies de déploiement et enjeux sociétaux Objectifs des déploiements :	Calendrier de déploiement, adéquation technologique	Couverture - Nombre sites, population, superficie	Couverture - Routes, autoroutes, axes ferro.	Services différenciés (indus., pro.)	Agriculture connectée aux réseaux mobiles
Offre Dynamiques de mutualisation :	Passive (partage de pylônes)	Active (partage de fréquences)			
Demande et panier de services Objectifs du dimensionnement réseau :	Trafic - performances	Trafic - quantité	Trafic - IoT, IIoT	Gestion de la variabilité temporelle	

Réseaux mobiles – Approche « backcasting »



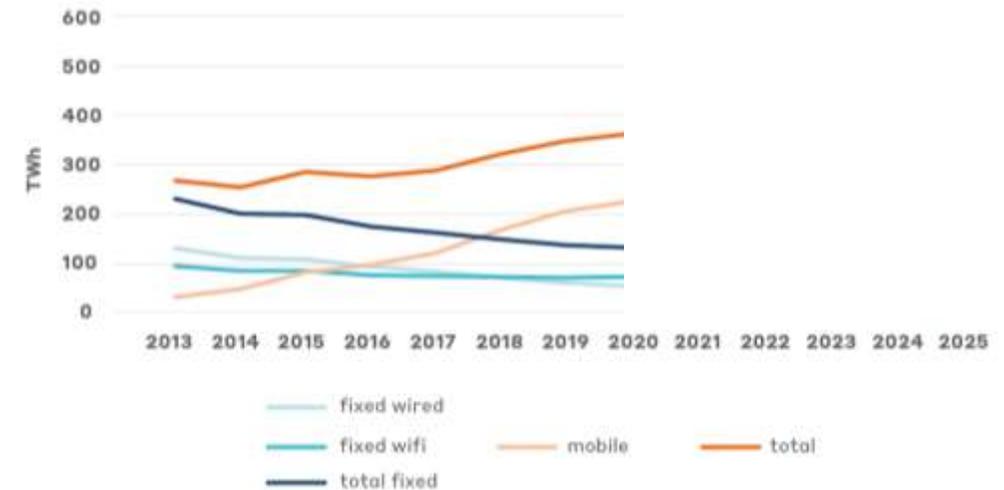
Méthode tendancielle : The Shift Project 2018-2021



kWh/GB
(incluant la part fixe)



Efficacité énergétique
etc.



Objectif de la méthode :

Décrire les liens en tendance entre les volumes (demande) et le déploiement des infrastructures (offre).

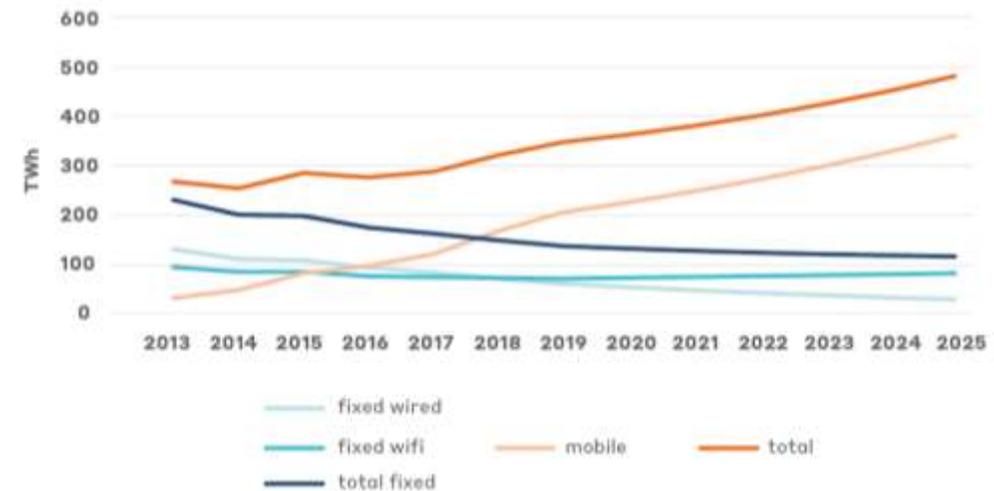
Nouvelle méthode de « modélisation conséquentielle »

Choix et stratégies



Inventaire des équipements

Spéc. techniques
Conso. fixe et variable
etc.



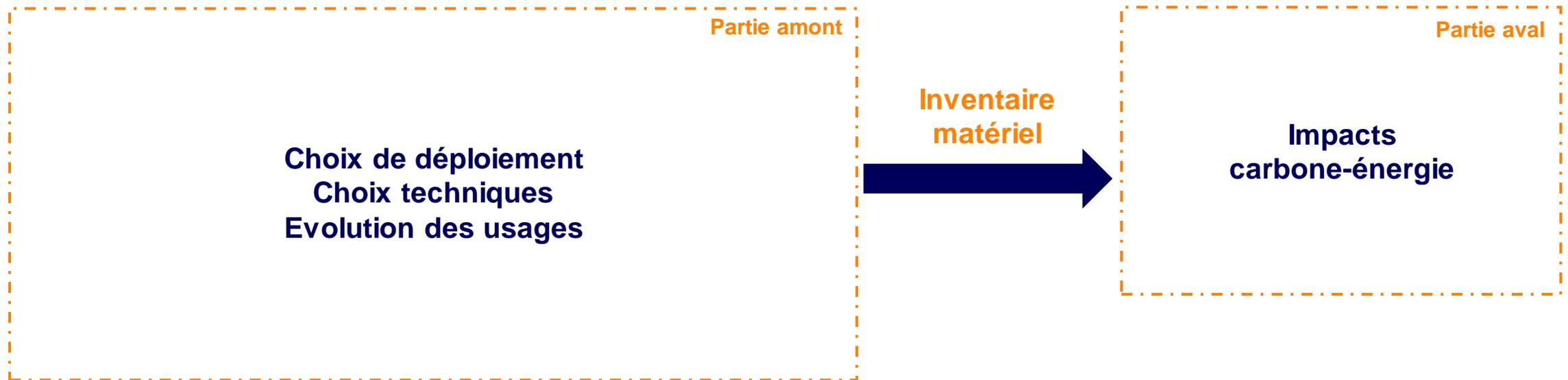
Objectif de la méthode :

Directement éclairer la prise de décision stratégique

Réseaux mobiles – Structure du modèle

Question de recherche :

« Quelles sont les conséquences des choix de déploiement et de spécifications techniques sur les impacts carbone et énergie des réseaux mobiles, ainsi que sur leur capacité à adopter une trajectoire compatible avec l'objectif de réduction des émissions du secteur à 2030 ? »

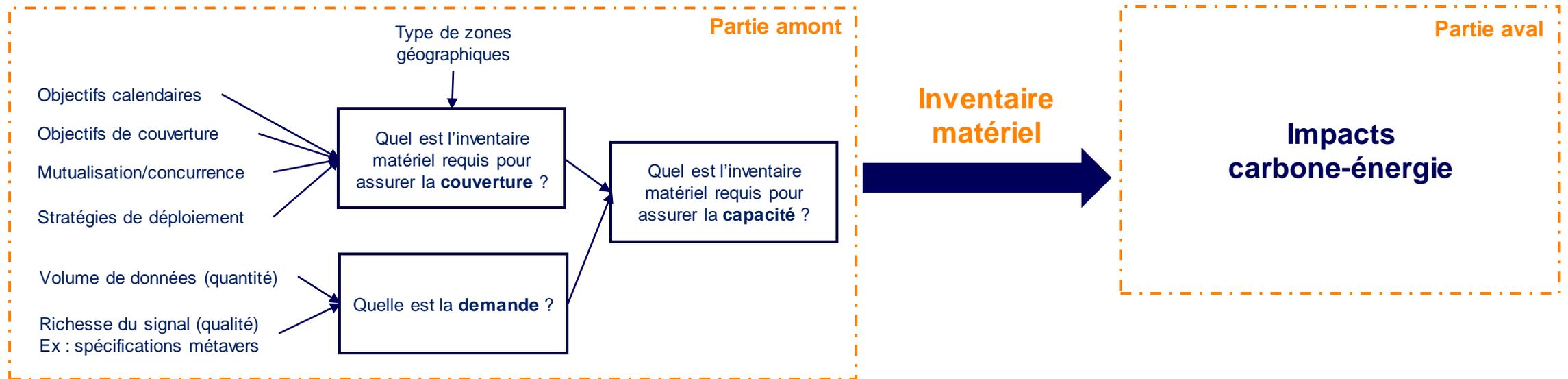


Mondes
virtuels

Réseaux mobiles – Structure du modèle

Question de recherche :

« Quelles sont les conséquences des choix de déploiement et de spécifications techniques sur les impacts carbone et énergie des réseaux mobiles, ainsi que sur leur capacité à adopter une trajectoire compatible avec l'objectif de réduction des émissions du secteur à 2030 ? »



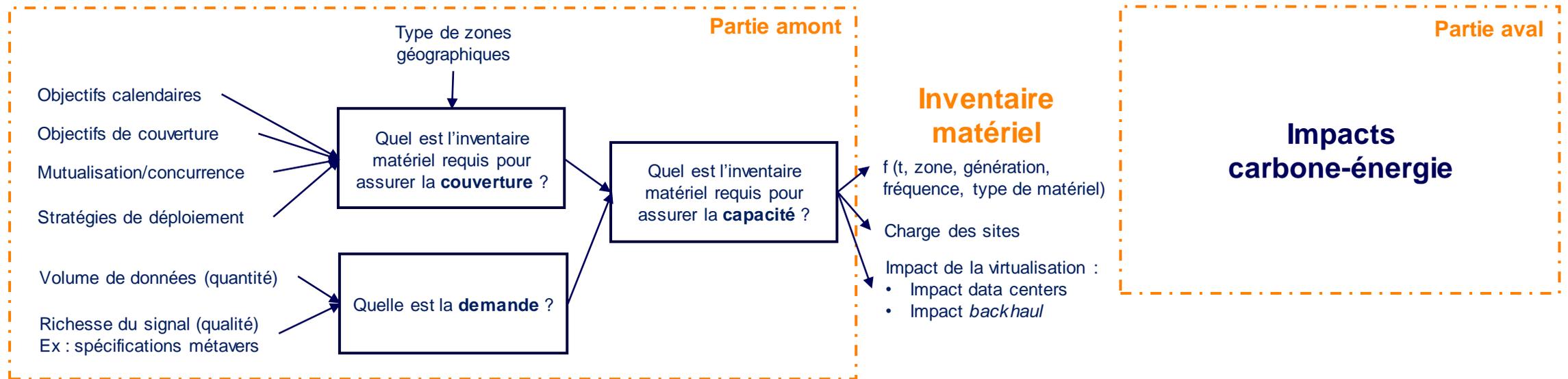
Mondes
virtuels



Réseaux mobiles – Structure du modèle

Question de recherche :

« Quelles sont les conséquences des choix de déploiement et de spécifications techniques sur les impacts carbone et énergie des réseaux mobiles, ainsi que sur leur capacité à adopter une trajectoire compatible avec l'objectif de réduction des émissions du secteur à 2030 ? »



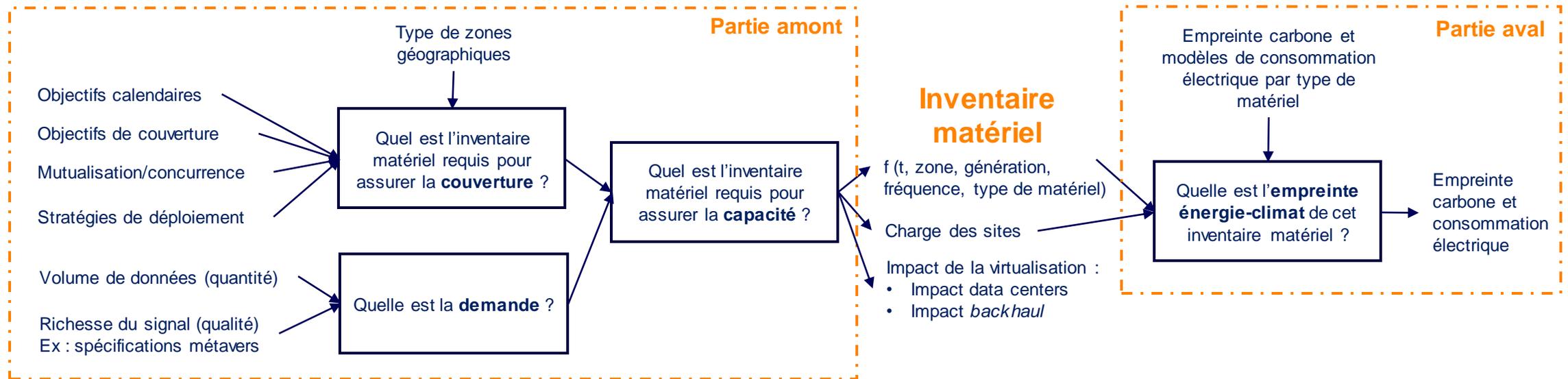
Mondes virtuels



Réseaux mobiles – Structure du modèle

Question de recherche :

« Quelles sont les conséquences des choix de déploiement et de spécifications techniques sur les impacts carbone et énergie des réseaux mobiles, ainsi que sur leur capacité à adopter une trajectoire compatible avec l'objectif de réduction des émissions du secteur à 2030 ? »



Mondes
virtuels



Suite des travaux

Modéliser les trajectoires selon les choix stratégiques

Résultats quantitatifs au niveau France

Produire une méthodologie et des outils

Applicables sur d'autres zones géographiques (à terme : niveau EU)

Produire des recommandations stratégiques

Pour aguiller les parties prenantes (opérateurs, ESN, équipementiers, public, régulateurs etc.)

Ateliers collaboratifs

Atelier « Réseaux mobiles »

Un cahier des charges pour les réseaux compatible avec la double contrainte carbone ?
Un nécessaire arbitrage entre déploiement, richesse du signal et quantité de trafic ?

Atelier Réseaux satellitaires

Les constellations de satellites : quel coût environnemental pour quelle utilité marginale ?
Quelles conditions de pertinence ?
Empilement ou substitution ?

Merci de votre attention !

www.theshiftproject.org

www.ilnousfautunplan.fr



Au plaisir de répondre à vos questions !

Contacts :

Maxime Efoui-Hess

Coordinateur du programme « Numérique »
maxime.efoui@theshiftproject.org

Ilana Toledano

Responsable communication

Hugues Ferreboeuf

Chef de projet « numérique »

Marlène de Bank

Ingénieure de recherche
marlene.debank@theshiftproject.org

