

Le numérique est-il durable ?



Jean-Claude Derniame

Un peu de vocabulaire

Numérique

Ordinateurs, tablettes, capteurs et autres objets connectés, panneaux solaires, smartphones, réseaux sociaux, 3G, 4G, fibre, monnaies cryptographiques, blockchain, intelligence artificielle, démarches dématérialisées et autres portails web...

Il s'agira ici de la durabilité du numérique en tant qu'activité économique et non pas de la durabilité des supports numériques.

Durable? (en Sustainability)

« Le développement durable est un mode de développement qui répond aux besoins des générations présentes sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs. »

Cf Rapport Brundtland, 1987

Organisation des Nations Unies (ONU)

Pourquoi cette question?

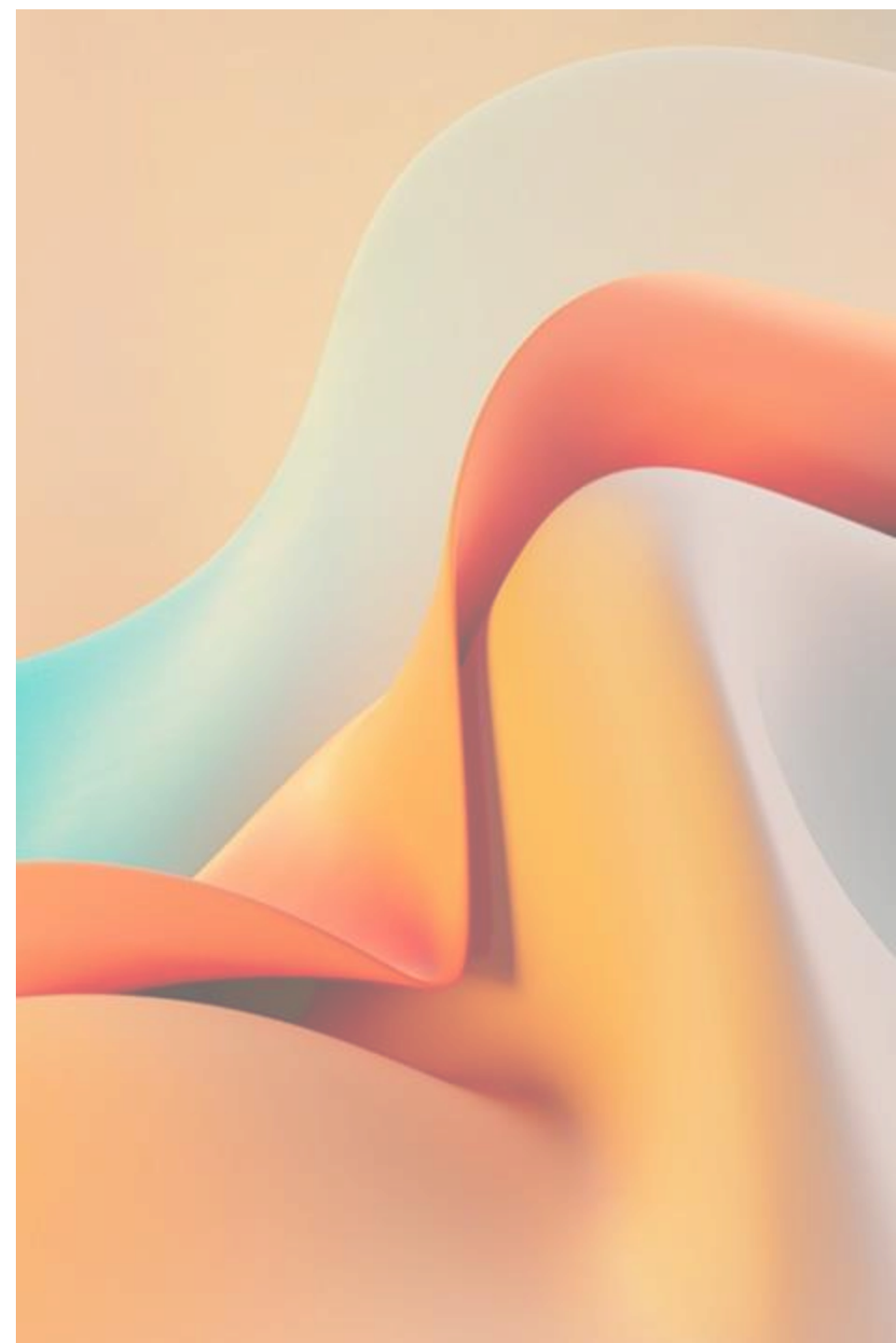
- Quelques faits
- Ralentir
- Ralentir et progresser
- Conclusion ? ? ? ? ?



Quelques faits
Usages
Impacts

- **Internet**
- **IA**
- **Centres de données**

- Le rôle toujours croissant du numérique dans nos vies quotidiennes
- L'accélération de l'IA
- Comment les internautes découvrent les marques et les produits en 2025
- L'ampleur stupéfiante de la vidéo mobile
- Une évolution du shopping en ligne
- La TV "classique" est loin d'être morte
- Une croissance dans les dépenses publicitaires



Quelques nombres 2024

8,20 milliards d'êtres humains sur Terre, **+ 0,9%**

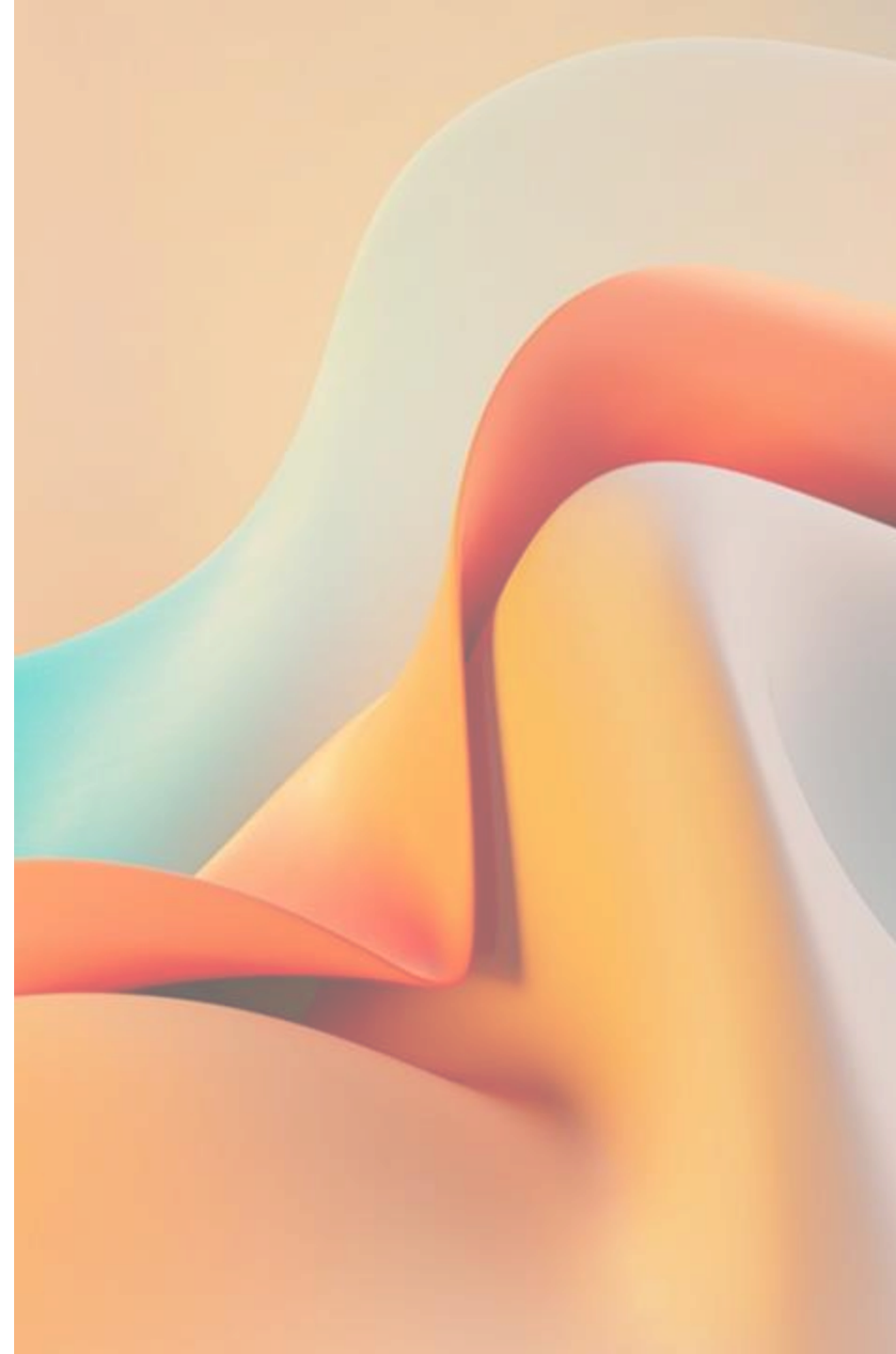
- 58,1 % vivent désormais dans des centres urbains,

- 70,5 % utilisent un téléphone mobile **+ 2%**

- 67,9 % utilisent Internet **+ 2,5%**

Nombre d'identités 63,9 % /population mondiale. **+ 4,1 %**

de la publicité sur supports numérique **+ 7,5%**



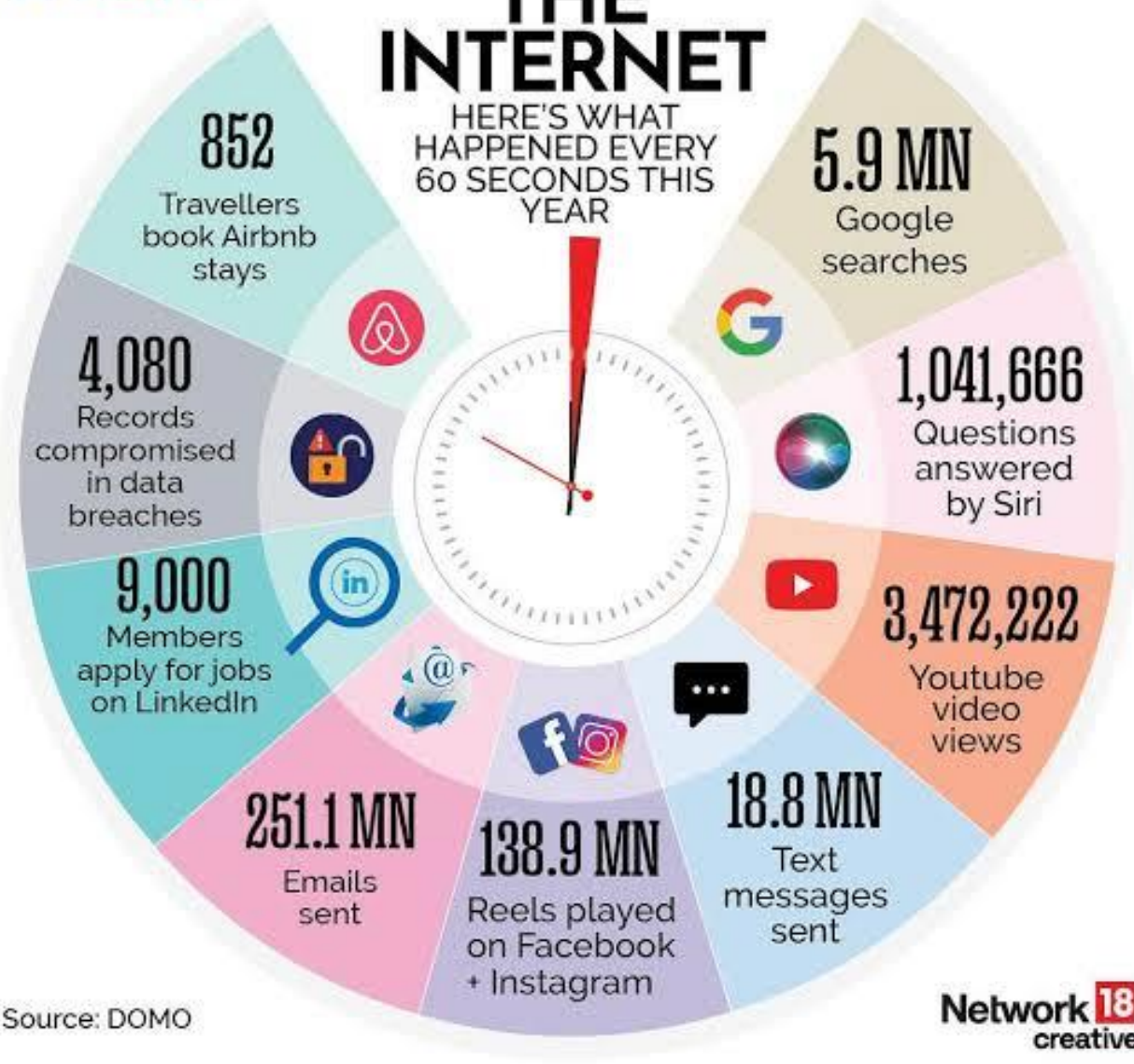
Usages d' Internet en France 2024 (Credoc)

- 63,4 millions de français-es utilisent Internet : **92%**
- 50,4 millions sur les réseaux sociaux : **75,7%**
- > 2H / jour sur leur téléphone **44 %**
- L'app mobile la plus téléchargée en France fin 2024 est
ChatGPT, suivie par Temu et Threads
- 17,7 millions font des courses alimentaires en ligne **26 %**

FLASHBACK
2024

1 MINUTE ON THE INTERNET

HERE'S WHAT
HAPPENED EVERY
60 SECONDS THIS
YEAR



Source: DOMO

Network 18
creative

6 M recherches Google

1M réponses de Siri

3,5 M Video Youtube

19 M messages

250 M mails

9000 rech. de Job LinkedIn

Les intelligences artificielles

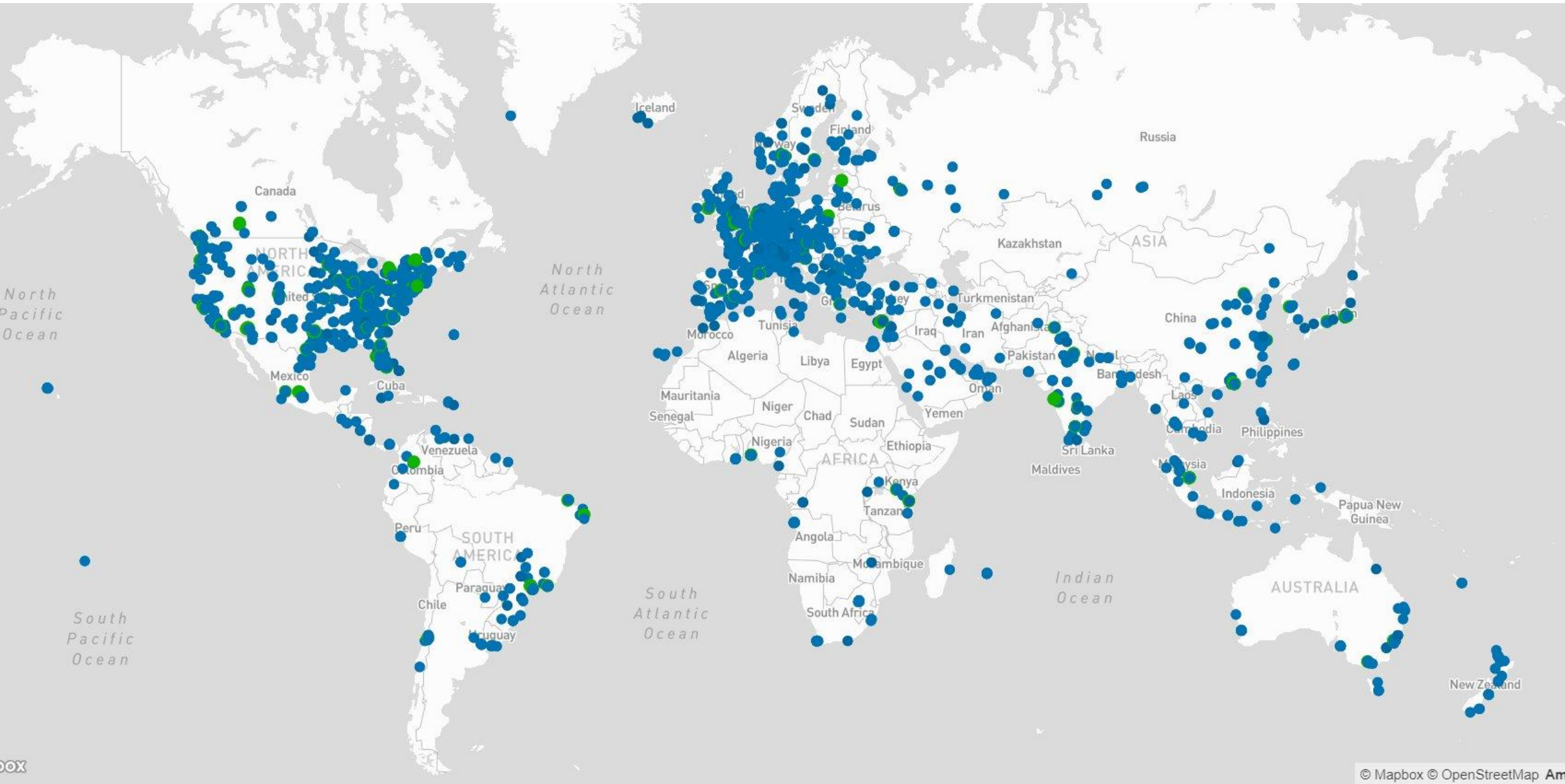
- *moteurs de règles, systèmes experts, [diagrammes de connaissances](#) , les agents ou IA symbolique.*
- Les modèles MachineLearning sont « entraînés » en appliquant leurs cadres mathématiques à un échantillon de données qui servent de base aux futures prédictions
- **Les grands modèles de langage (LLM) tels ChatGPT, Google Gemini, Microsoft CoPilot, Meta AI, et autres LLM, pour « Large Language Models**
- À mesure que les outils d'IA deviennent de plus en plus complexes et polyvalents, leur formation et leur exécution nécessitent des quantités de données et une puissance de calcul de plus en plus énormes.

L'IA dans notre quotidien

Des milliers d'outils à base d'IA

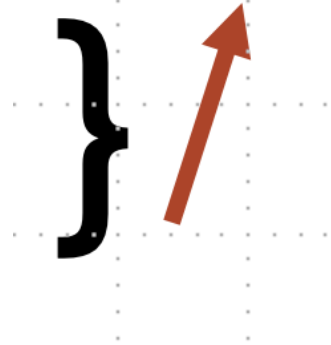
- **Générateurs** de texte, d'images, de voix, de vidéos, de musique, de programmes, d'applications Web, de diaporamas, de dessins, de modèles 3D, de vêtements, etc. etc.
- **Moteurs de recherche**, traducteurs, optimiseurs, aides à la décision etc
- Qui nécessitent **des milliers de datacenters**

Répartition des datacenters selon Cushman& Wakefield 2023



Centres de données *datacenters*

- **80 000** centres de données dans le monde en 2025
- ~ 56 000 USA
- 11 800 Europe
- 322 en France
- 3 Nancy
 - 2 Maxéville Adista (2014) jamais arrêtés depuis
 - 1 Vandoeuvre Data center commun
 - UL -CHRU-Métropole, INRIA? CNRS, INSERM (2026)
 - dans le cadre du projet ENACT





Quelques faits

Usages

Impacts

*Épuisement de ressources
naturelles*

Acidification, écotoxicité,
radiations, particules fines

Changement climatique

Ozone photochimique

*Déchets *

*Consommation d'énergie *

Épuisement des ressources naturelles : métaux

Un écran

Argent, étain, germanium, platine, palladium, tantale, etc.

Une batterie lithium-ion

Aluminium, cobalt, cuivre, lithium, manganèse, nickel

Une carte mère

Aluminium, antimoine, argent, cuivre, nickel ou or

Un Smartphone 50 métaux différents. [Rahul Himkar/Unsplash](#), [CC BY-SA](#)

Parmi eux , **5 métaux dits « critiques »** :

- **l'étain (Chine 30%), l'argent,(Mexique 24%) le ruthénium (Afrique du sud 90%), le nickel (Indonésie 48%) et l'antimoine 54%,**

Epuisement des ressources naturelles : Eau

Un centre de données ou de traitement = des (centaine de) milliers de puces

→ chaleur → Evacuée par un circuit de refroidissement à eau (perdue)

Qui consomme 50% de l'électricité totale

~ **5 milliards de mètres cubes d'eau**, pour
l'ensemble des centres de données
équivalent Royaume Uni

Consommation d'énergie

- Retenons qu'une requête sur ChatGpt demande 10 fois plus de ressources que la même par Google
- Mais ce n'est pas cela le plus important

L'IA n'est pas juste de la matière grise matérielle, c'est aussi une industrie lourde, à l'ancienne, d'une voracité jamais vue, qui nécessite des infrastructures démentiellees...

Selon l'agence internationale de l'énergie, aujourd'hui, l'IA absorbe autant d'électricité que le Japon et ses 124 millions d'habitants

+ quantités d'eau industrielles pour réfrigérer les Centres de Données.

Déchets



Déchets

= tous les équipements électroniques obsolètes.

matériaux toxiques tels que le plomb, le mercure, et le cadmium.

62 millions de tonnes de déchets électroniques sur Terre en 2022

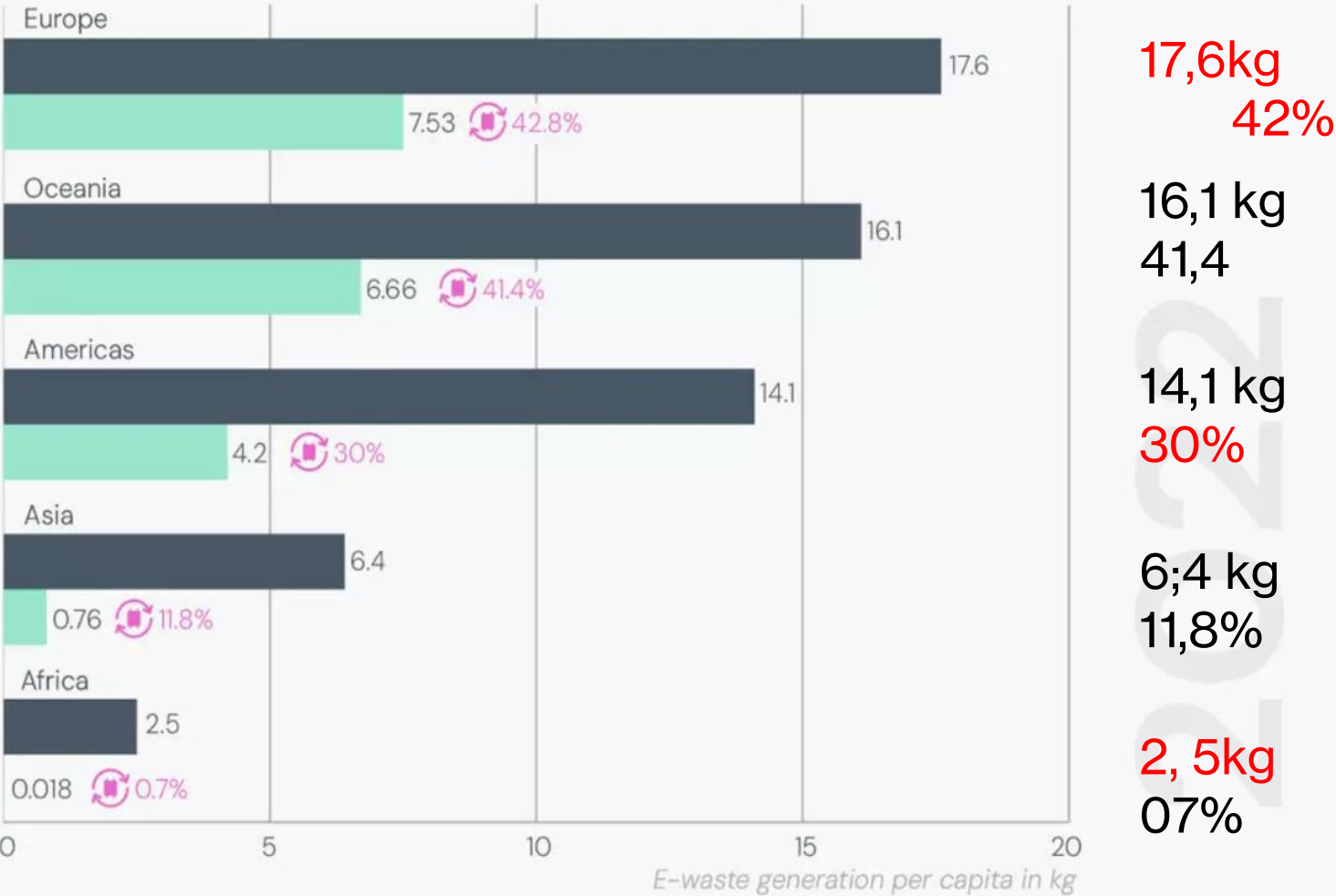
[Rapport des Nations unies sur les e-déchets](#), du 20 mars 2025

Moins d'un quart collecté et recyclé

Déchets

The Global E-waste Monitor 2024

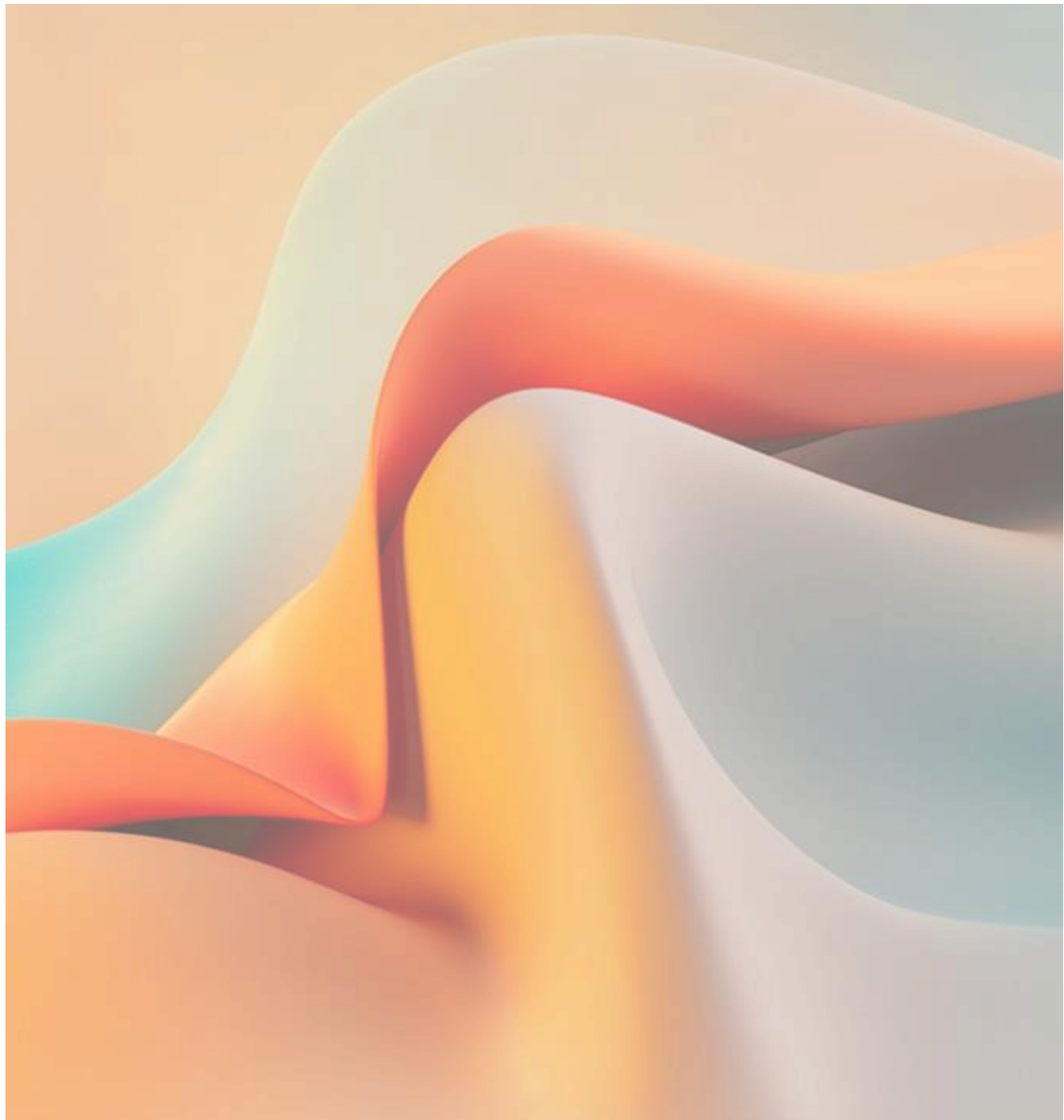
Amount of E-waste Generated and Collected per capita



■ E-waste generated per capita in kg ■ E-waste documented to be collected and recycled per capita in kg
🔄 Annual average formal collection and recycling rate
Minor inconsistencies may have occurred due to rounding of values during the calculations.

Source: The Global E-waste Monitor 2024

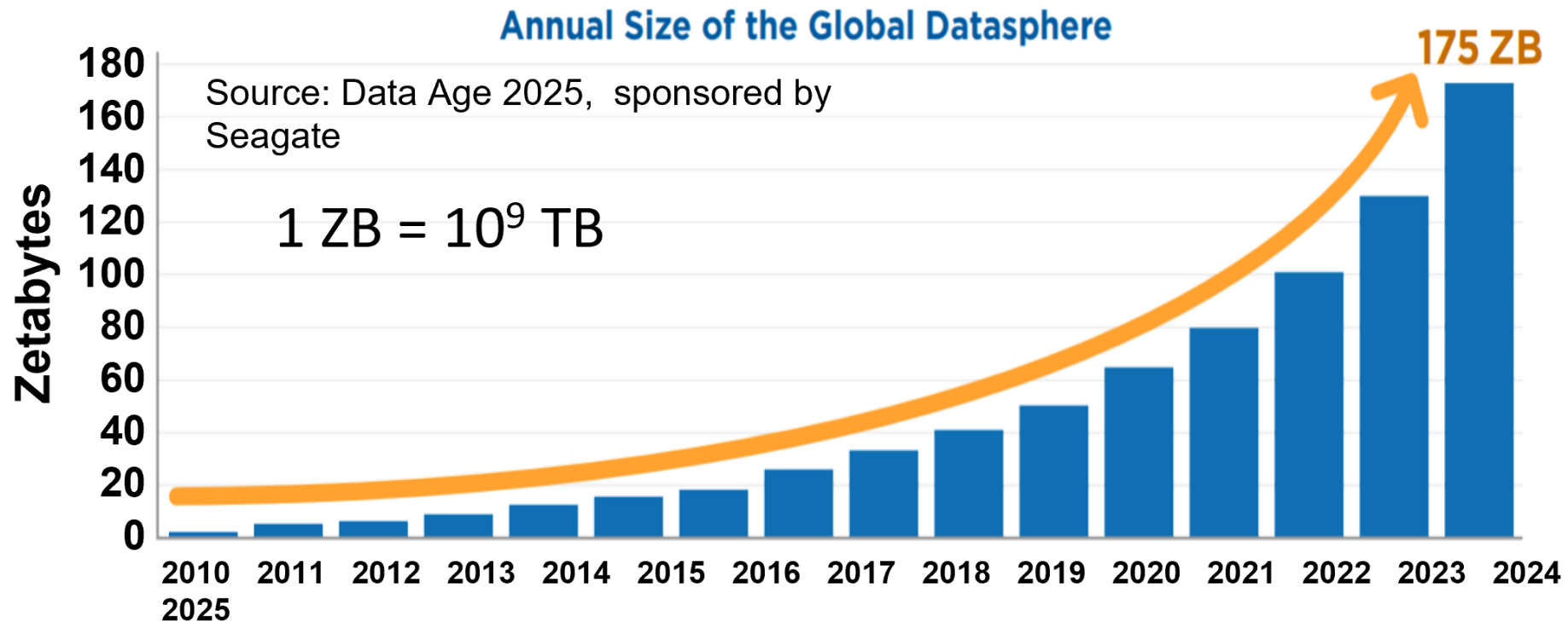
Croissance alarmante



Un monde digital : un impact majeur

**90 % des données dans le monde
ont été générées
durant les 2 dernières années**

Cf Brève (ALS) de Stéphane
Mangin en juin 2025

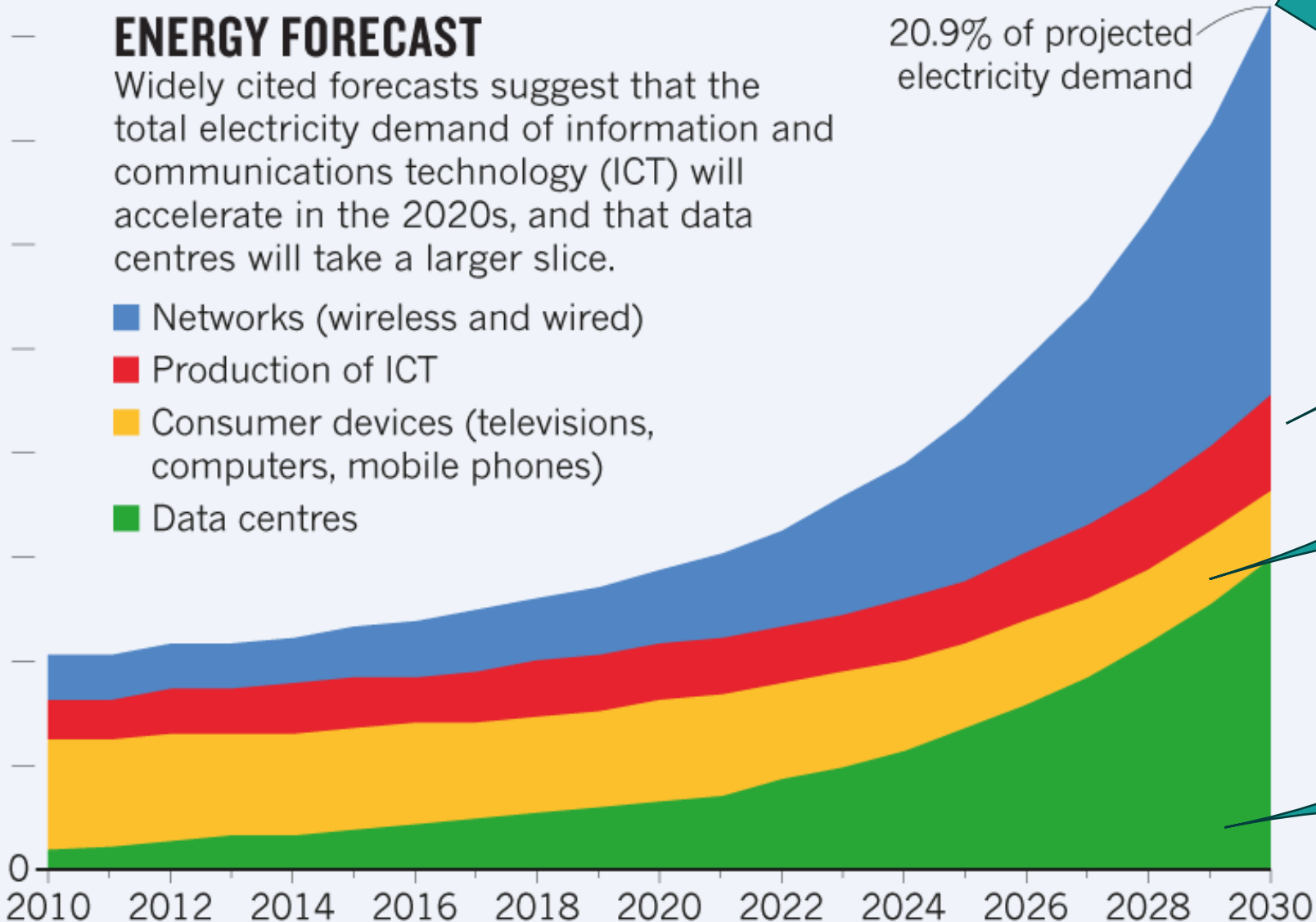


9,000 terawatt hours (TWh)

ENERGY FORECAST

Widely cited forecasts suggest that the total electricity demand of information and communications technology (ICT) will accelerate in the 2020s, and that data centres will take a larger slice.

- Networks (wireless and wired)
- Production of ICT
- Consumer devices (televisions, computers, mobile phones)
- Data centres



30% de la demande totale en 2035

Production appareils

consommation des des appareils

Part importante des centres de données

- utilisation des appareils technologiques, ce sont surtout les recharges et les connexions aux réseaux qui sont énergivores.
- Derrière chaque message, texte, photo partagée, vidéo visionnée ou téléchargée, ou utilisation d'IA il y a un

centre de données impliqué

Google reconnaît dans son dernier rapport environnemental : « *En comparaison avec 2022, nos émissions [...] [de 2023] ont augmenté de 37 % malgré les efforts considérables et les progrès concernant les énergies renouvelables. Cela s'explique par la consommation d'électricité de nos centres de données, qui dépasse notre capacité à développer des projets d'énergie renouvelables.* »

Croissance de l'IA

Avant et depuis Chat-GpT, qui a pénétré tous les secteurs d'activité,

- de nombreux modèles d'IA se sont développés, raisonnement, agents, statistiques, etc...
- et de nombreux modèles spécialisés sur un domaine de données ou sur une activité.
- et surtout la **maitrise de l'orchestration pour organiser la coopération des outils dans une interface unique.**

Ex Amazone

- sa plus grande transformation depuis son lancement en 2014

Ce type d'avancées permet désormais

de

naturels et

effectuer des actions concrètes au nom de l'utilisateur, à l'aide
d'un système complexe de 70 IA et des robots

De la commande à la mise en cartons

Licenciement massif 14000 emplois le 29 octobre

Croissance très alarmante

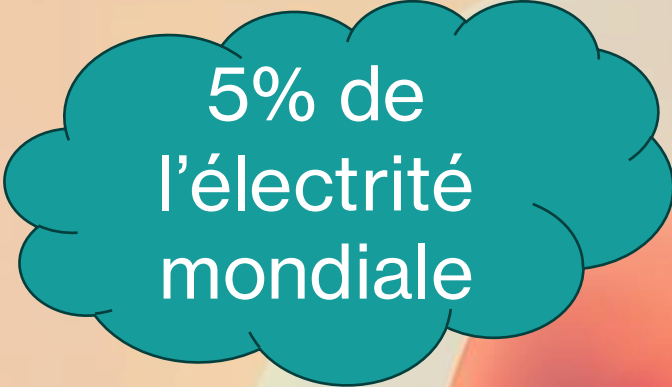
- Consommation de minerais
- d'eau et d'électricité

Transition

numérique OU écologique

Ou

numérique ET écologique ??



5% de
l'électricité
mondiale

Première conclusion

**Ralentir
ou
Périr**

Ralentir:

sobriété

initiatives institutionnelles

SOBRIÉTÉ

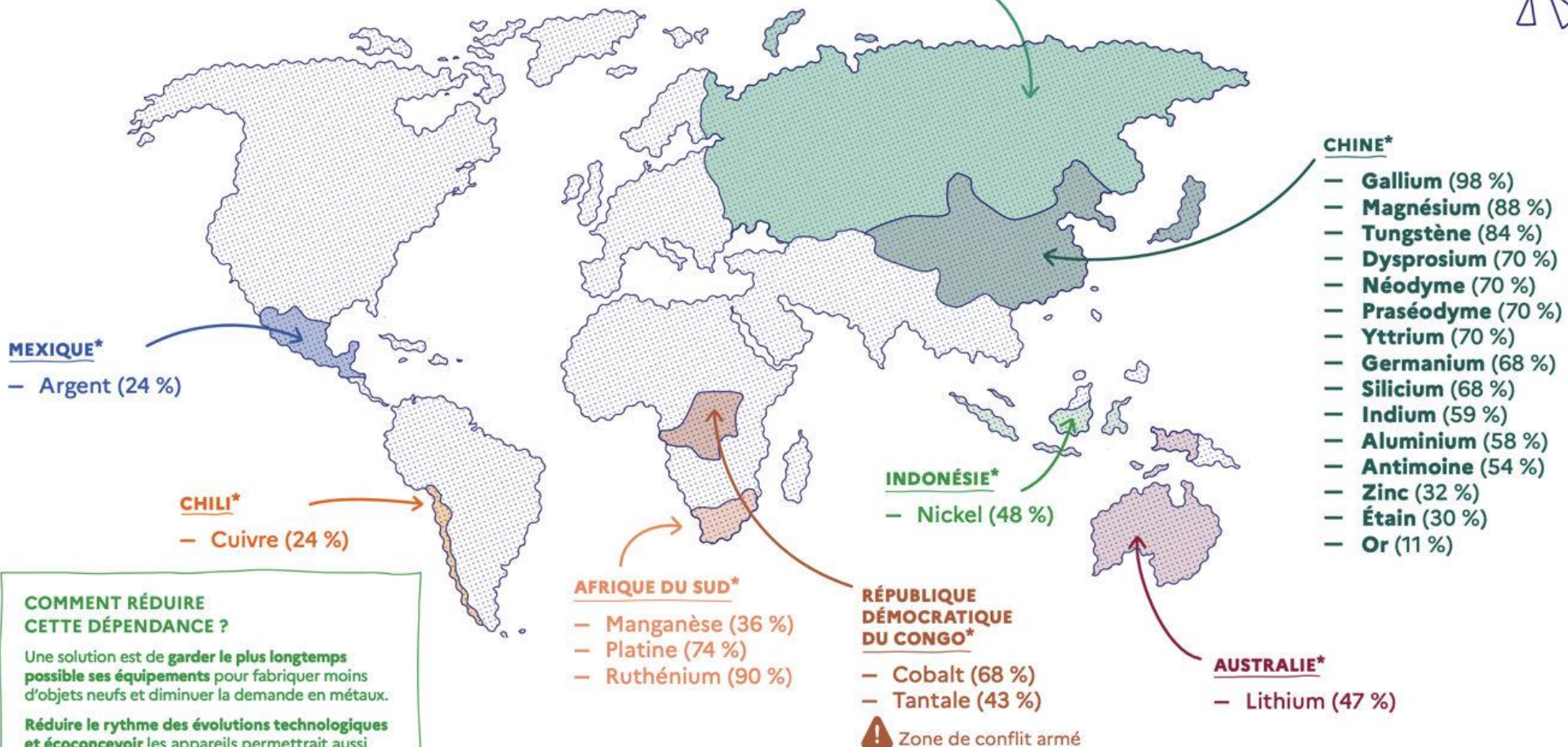
- APPRENDRE à mieux utiliser
- Recherche par ChatGpt
- (MOOC CHEZ LES LEARNING LAB'S
- AGIR
- diminuer Temps DE CONNECTION tél
(15% des 15-16 ans 5h par jour ou plus)

Maîtriser l'usage des nuages

- Audiovisuel
- GARDER LE MATÉRIEL PLUS LONGTEMPS
- CONCEVOIR les matériels AUTREMENT
(impacts, environnementaux matériels réparables, recyclables
- **Améliorer les réseaux**

LA DÉPENDANCE DE LA FRANCE AUX MÉTAUX STRATÉGIQUES

Une grande partie de nos appareils numériques sont fabriqués à l'étranger et utilisent des métaux dont la production est limitée à certains pays. Cela rend la France extrêmement dépendante de la stabilité économique et politique de quelques pays qui concentrent une grosse partie de la production.



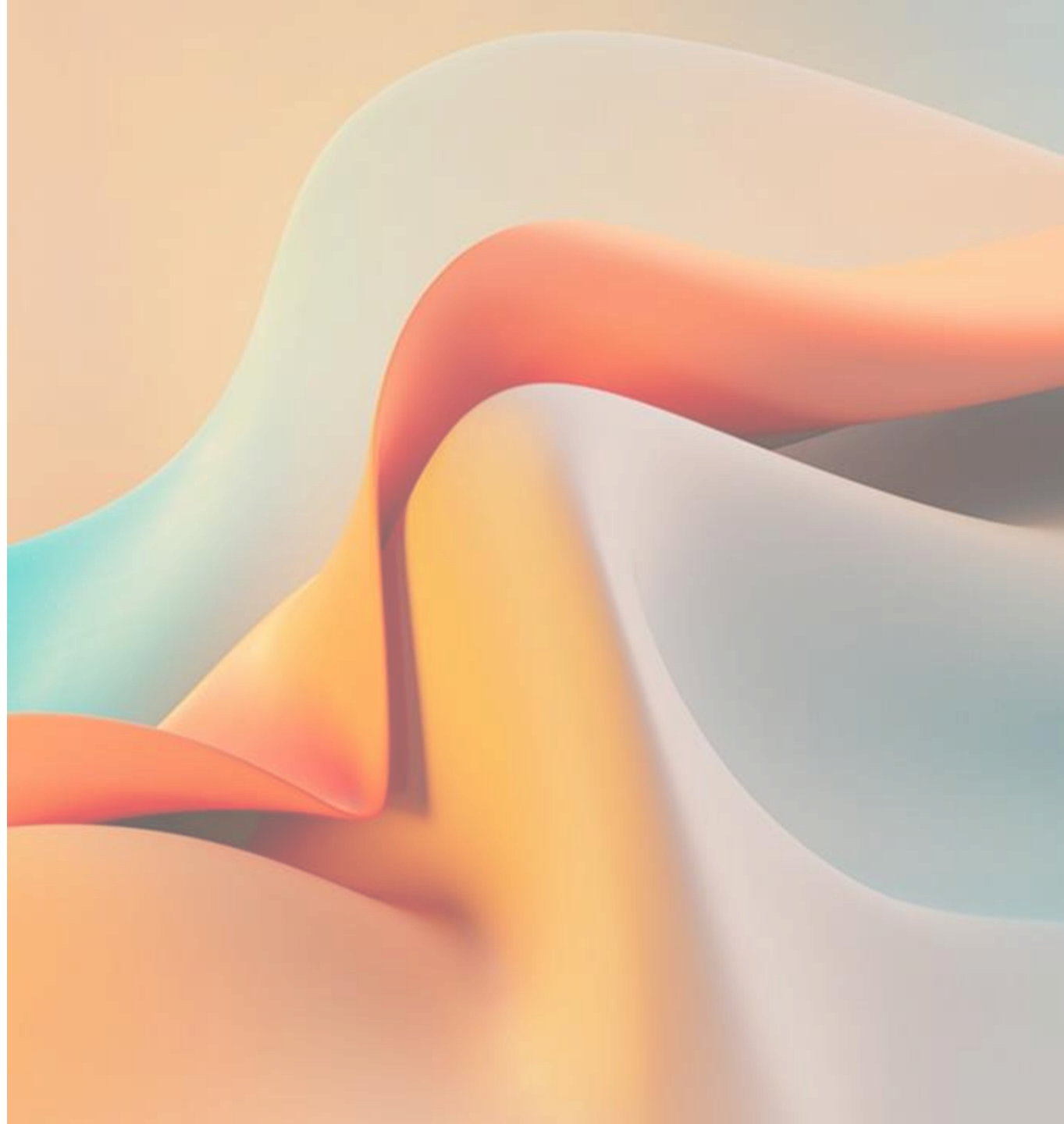
* Les valeurs concernent la production mondiale de métaux en 2022. Source : Cartographie mondiale de l'extraction des métaux stratégiques pour le secteur numérique (Deloitte, d'après diverses sources dont USGS).

Changer d'ordinateur moins souvent

- **Énergie grise**

> consomme >10 fois plus
d'énergie que l'utilisation
d'une ordinateur-tour

- 50 fois pour un portable





**Consulter
negawatt.org**

Modifier ses habitudes en ligne

- Nettoyer régulièrement sa boîte mail, en supprimant des emails (les spams notamment)

En effet, un mail standard génère environ 4 g de CO₂ et 50g de CO₂ avec une pièce jointe, ce qui par an représente 410 millions de tonnes de CO₂ environ.

- Limiter ses emails (en réduisant le nombre de personnes en copie par exemple)
- Vider régulièrement le cache des applications utilisées (sur son navigateur)
- Se désabonner des newsletters que vous ne lisez pas
- Mettre à jour vos applications
- Avoir un moteur de recherche éco- friendly, comme Ecosia/ex

A close-up photograph of several lavender flower spikes against a blurred green background. The flowers are small, purple, and arranged in clusters along thin green stems. The lighting is soft, creating a gentle bokeh effect in the background.

**Ralentir
et
progresser**

*The future of sustainable digital
infrastructures: A landscape of solutions,
adoption factors, impediments, open
problems, and scenarios*

*Roberto Verdecchia,
Patricia Lago,
Carol de Vries*

Solutions

techniques

sociales

Environnementales

Paradigme“

L Verdecchia et al

Optimisation énergétique du logiciel

Optimisation énergétique du logiciel

Gestion heuristique des hyperharware

Infrastructures intégrées

Energie verte

Aller vers le “Cloud “

H1

H2

Solutions

L Verdecchia et al

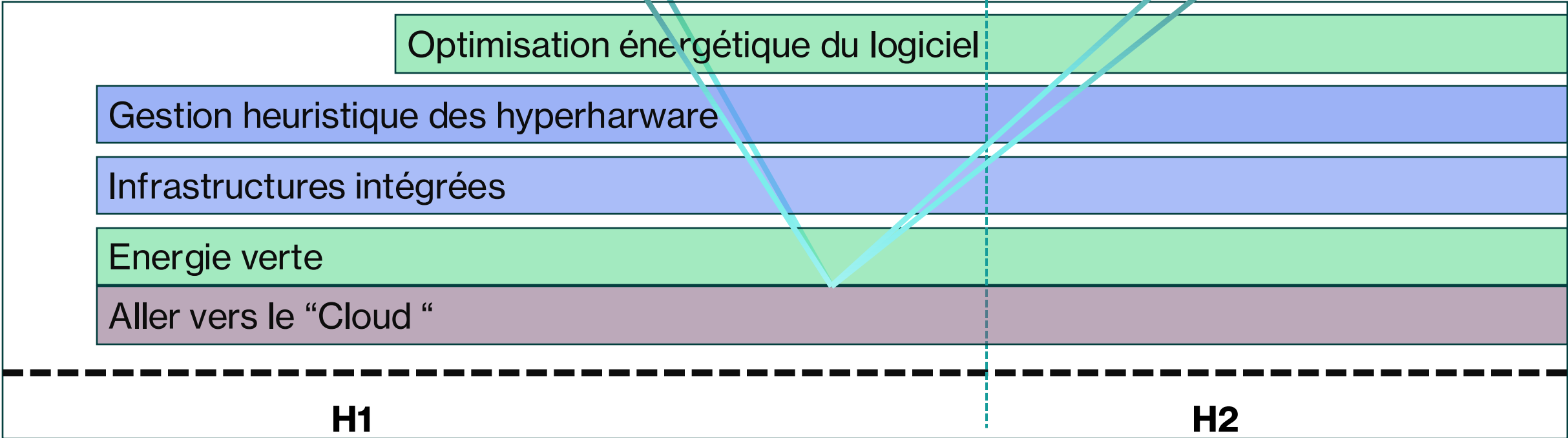
techniques

sociales

Environnementales

Paradigme

Aller vers le “Cloud “



Cloud et Edge computing

nuage et calcul proche

1. Ex Ds une usine de fabrication moderne., les capteurs de **l'Intranet des objets (IoT)** génèrent un flux continu de données qui peuvent être utilisées pour éviter des interruptions et améliorer l'exploitation. On estime qu'une usine qui compte 2 000 équipements peut générer **2 200 téraoctets de données par mois.**
2. Le traitement de cette mine de données près de l'équipement est plus rapide et moins onéreux que lorsqu'il faut d'abord les transmettre à un centre de données distant.
3. Mais il reste nécessaire de lui transmettre infos de synthèse, pour maintenance, amélioration pour administration et pour les sites analogues

Deuxième conclusion



On ne voit
pas loin

Conception pour la réutilisation

Stratégies de localisation des infrastructures

consommation d'énergie optimisée

Services logiciels et allocation de ressources dynamiques

"conscience des développeurs de logiciel et utilisateurs

Energie distribuée

Gestion de données "désagrégées" flexible

Compétences durables

Hardware spécialisés (IA/ex)

Conception pour la réutilisation

Stratégies de localisation des infrastructures

consommation d'énergie optimisée

Services logiciels" et allocation de ressources dynamiques

Stratégies de localisation des infrastructures

utilisateurs

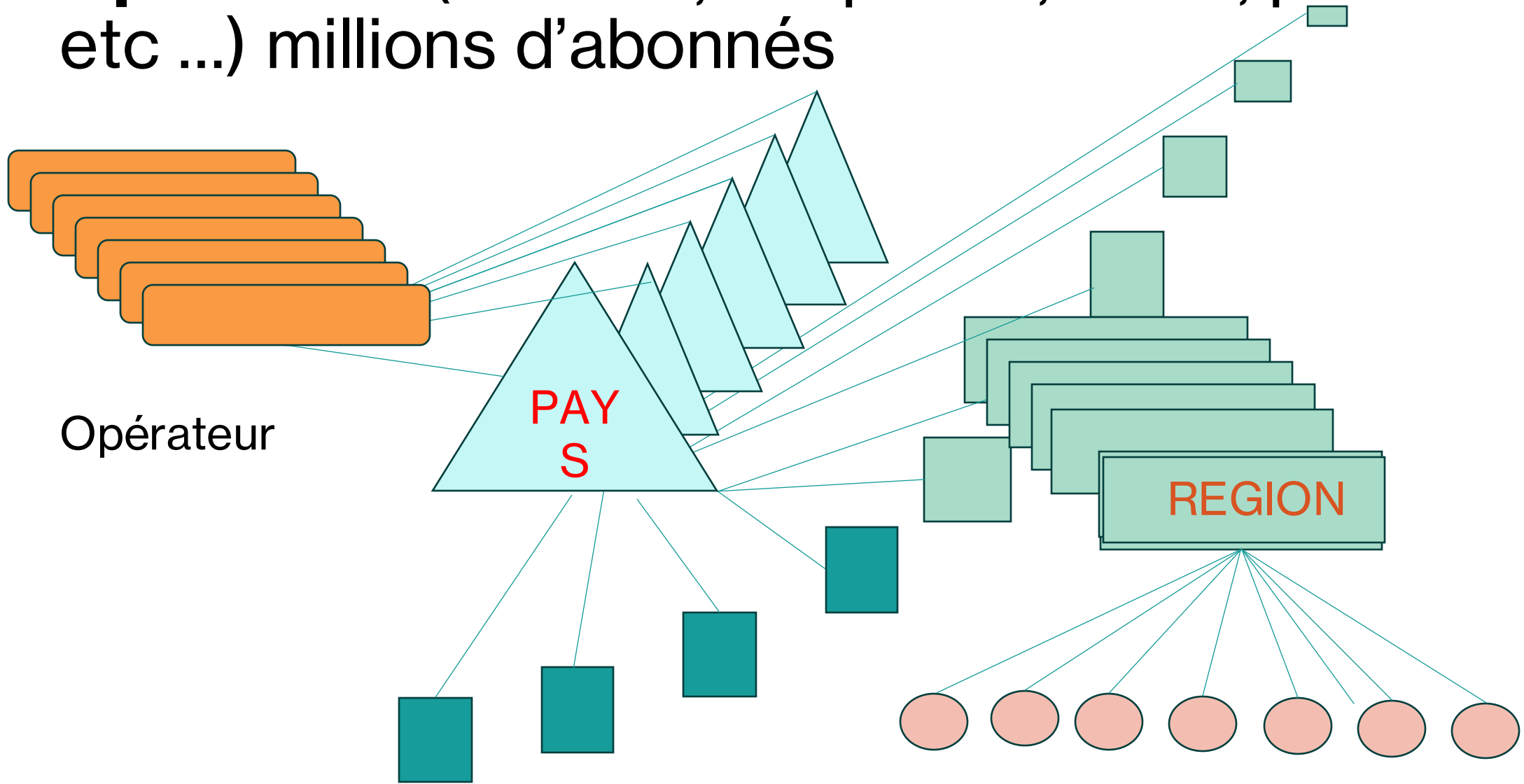
Energie distribuée

Gestion de données "désagrégées" flexible

Compétences durables

Hardware spécialisés (IA/ex)

Opérateur (internet, téléphone, vidéo, podcast, etc ...) millions d'abonnés



Opérateur

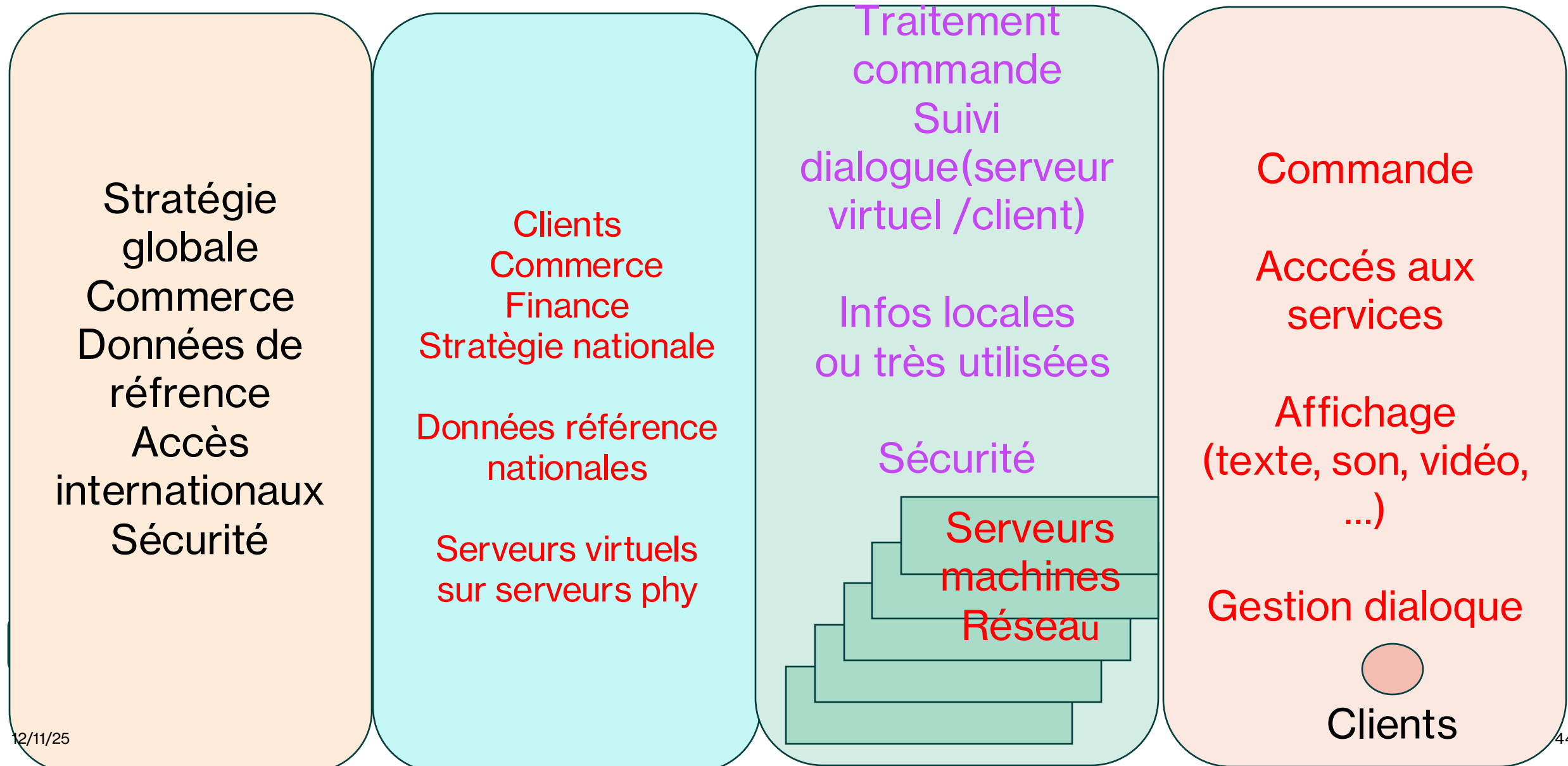
PAYS

REGION

Client (Ordi, tel, Décodeurs

Opérateur (internet, téléphone, vidéo, podcast, etc ...)

Distribution du logiciel



Conception pour la réutilisation

Services logiciels“ et allocation de
ressources dynamiques

frastructures

Conception pour la réutilisation

e ressources dynamiques

el et utilisateurs

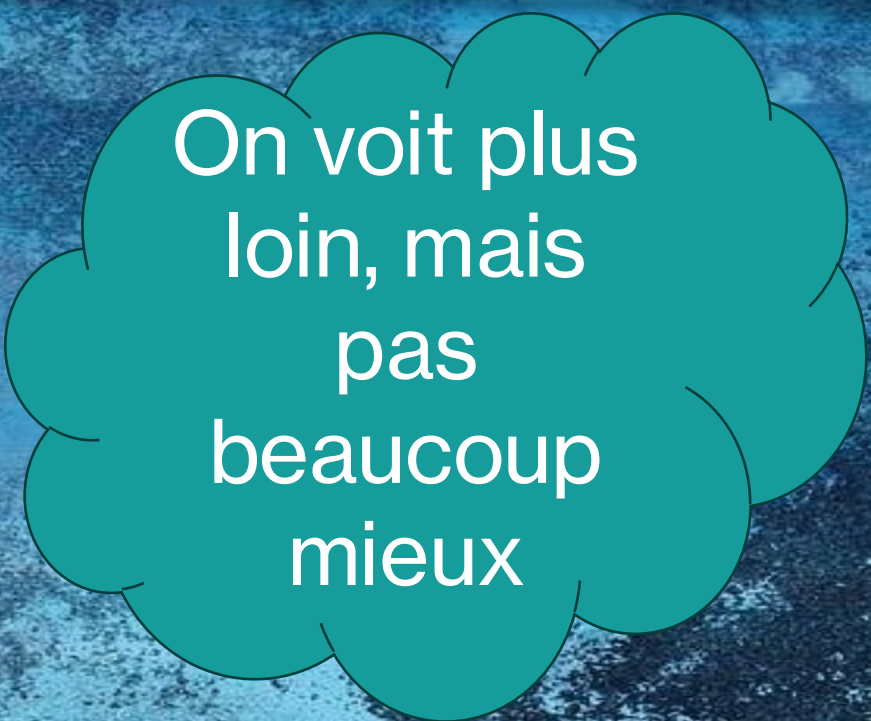
Energie distribuée

Gestion de données “désagrégées“ flexible

Compétences durables

Hardware spécialisés (IA/ex)

Troisième conclusion



On voit plus
loin, mais
pas
beaucoup
mieux

The background is a soft, abstract watercolor wash in various shades of pink, from light blush to deep magenta. The colors blend together in a textured, painterly style. Centered on this background is the text "Reculer pour mieux sauter" in a bold, black, sans-serif font.

Reculer pour mieux sauter

ÉLECTRICITÉ ?

Progrès technologiques en cours

- Centrales laser

A teal-colored banner with wavy top and bottom edges, containing the text "Energie distribuée" in white.

Energie distribuée

2032

- Centrales à fusion nucléaire

A teal-colored banner with wavy top and bottom edges, containing the text "Changement d'échelle" in white.

Changement d'échelle

???

Processus très longs

The background is a complex, abstract composition of numerous overlapping, semi-transparent geometric shapes, primarily triangles and polygons. The color palette is diverse, featuring shades of pink, purple, blue, red, orange, and black. In the center of the image, there is a prominent, bright yellow starburst shape with a black outline. Inside this starburst, the word "RUPTURES?" is written in a bold, black, sans-serif font.

RUPTURES?

Stockage haute densité

Architectures non Von Neuman

Optimisation énergétique du logiciel

Hardware nouveaux , quantique , photonique etc

H2

H3

Rupture 1 Hardware nouveaux

Nvidia GB200 NVL72 super chips

Cette solution assure la mise en œuvre d'un domaine NVLink à 72 GPU agissant comme un processeur unique

- pour IA (plusieurs milliards de paramètres.) et calcul rapide

Nvidia GB200 NVL72

- **30 fois plus rapide**

- **Efficacité énergétique X 25 → moins d'électricité**

- - Refroidissement par l'eau **en circuit fermé** au niveau du cluster de 72 puces
- **Valeur boursière de NVIDIA/ 5000 Milliards US \$** (10 novembre)

Amazone 2200

Pistes possibles: GAFAM raisonnables ???

-  **Microsoft** lance Fairwater,
- un datacenter révolutionnaire au **Wisconsin**
 -  Infrastructure optimisée pour l'**intelligence artificielle** avec des **serveurs NVIDIA**
 -  Utilisation d'un système de **refroidissement liquide** en circuit fermé,
-  Fairwater sert de modèle pour des centres similaires dans **70 régions mondiales connectées**

Le projet:

**Fairwater tête de Réseau spécifique se comportant comme un
calculateur unique**

(qqs 160 000 puces **NVIDIA 200** agrégées)

2 millions de transactions par seconde par compte,



Rupture 2

Révolutions quantiques

- La première :
- La physique quantique permet de comprendre le comportement de la matière et de la lumière à très petite échelle (déjà smartphone, laser, GPS)
- La seconde

Cherche à exploiter la [superposition](#) et l'[intrication](#) des [états quantiques](#), pourrait bouleverser notre monde dans les domaines de la [communication](#), de l'[informatique](#), des [capteurs](#) ou des nouveaux [matériaux](#)^[2].

Ordinateur quantique?

Mais beaucoup beaucoup plus tard (Cf Alain Aspect)

- La commutation ultrarapide de l'aimantation par impulsions laser femtoseconde
- L'optoélectronique et le transport de spin permettent une écriture optique en quelques centaines de femtosecondes, cf Stéphane Mangin cf ALS Juin 2025
GoogleScholar 2025
- Technologies hybrides ouvrent la voie à une nouvelle génération de composants opto-spintroniques ultrarapides, intégrables et sobres en énergie.
cf Marc Sciamanna cf ALS Janvier 2022
GoogleScholar 2025

Conclusion?



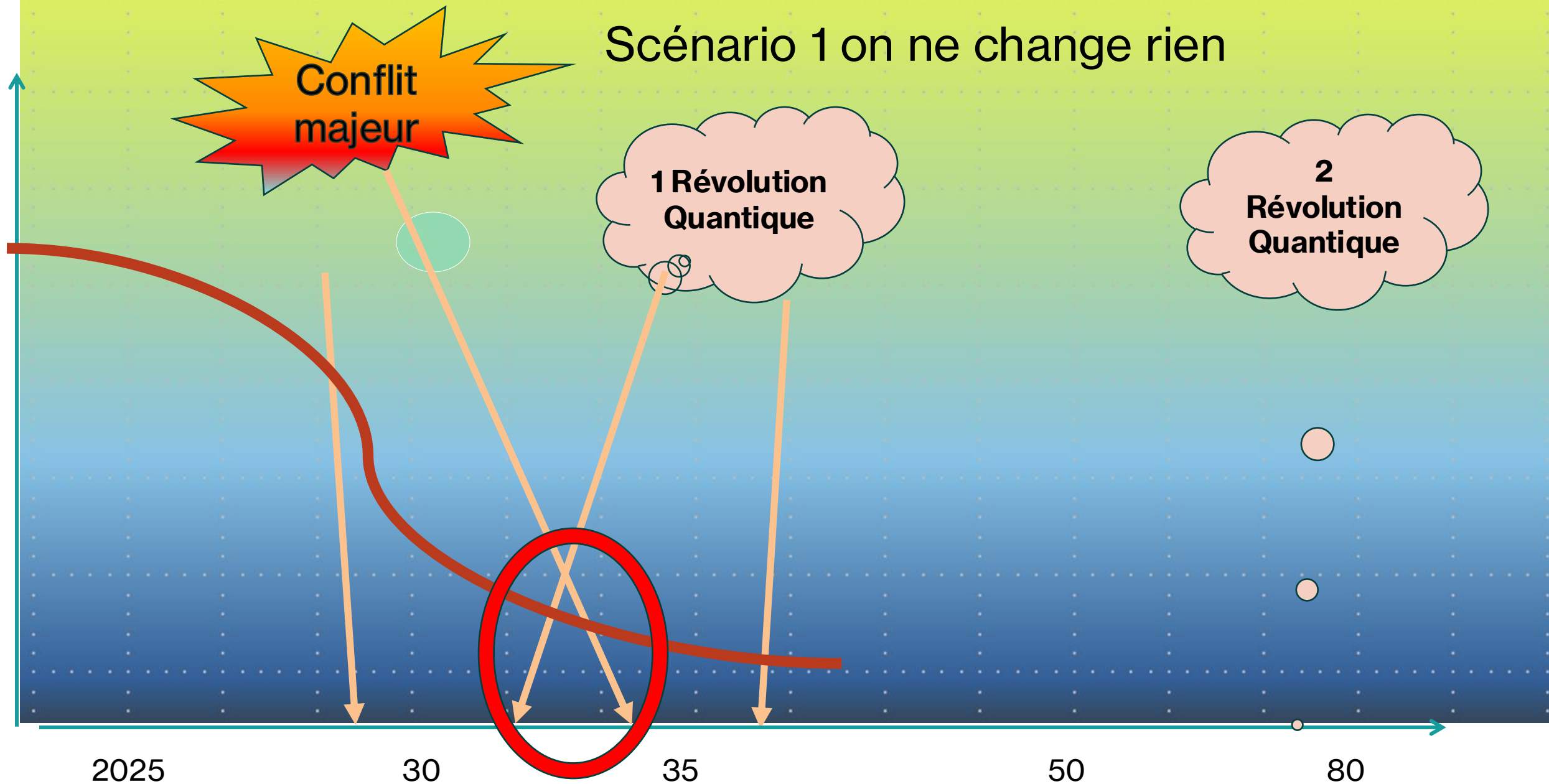
Ou



**3 scénarii
possibles .
selon la
disposition
des ressources
minières critiques**

OPINION
personnelle

Scénario 1 on ne change rien



2025

30

35

50

80



Ressources critiques

Scenario 2 Sobriété

**Conflit
majeur**

**1 Révolution
Quantique**

**2 Révolution
Quantique**

2025

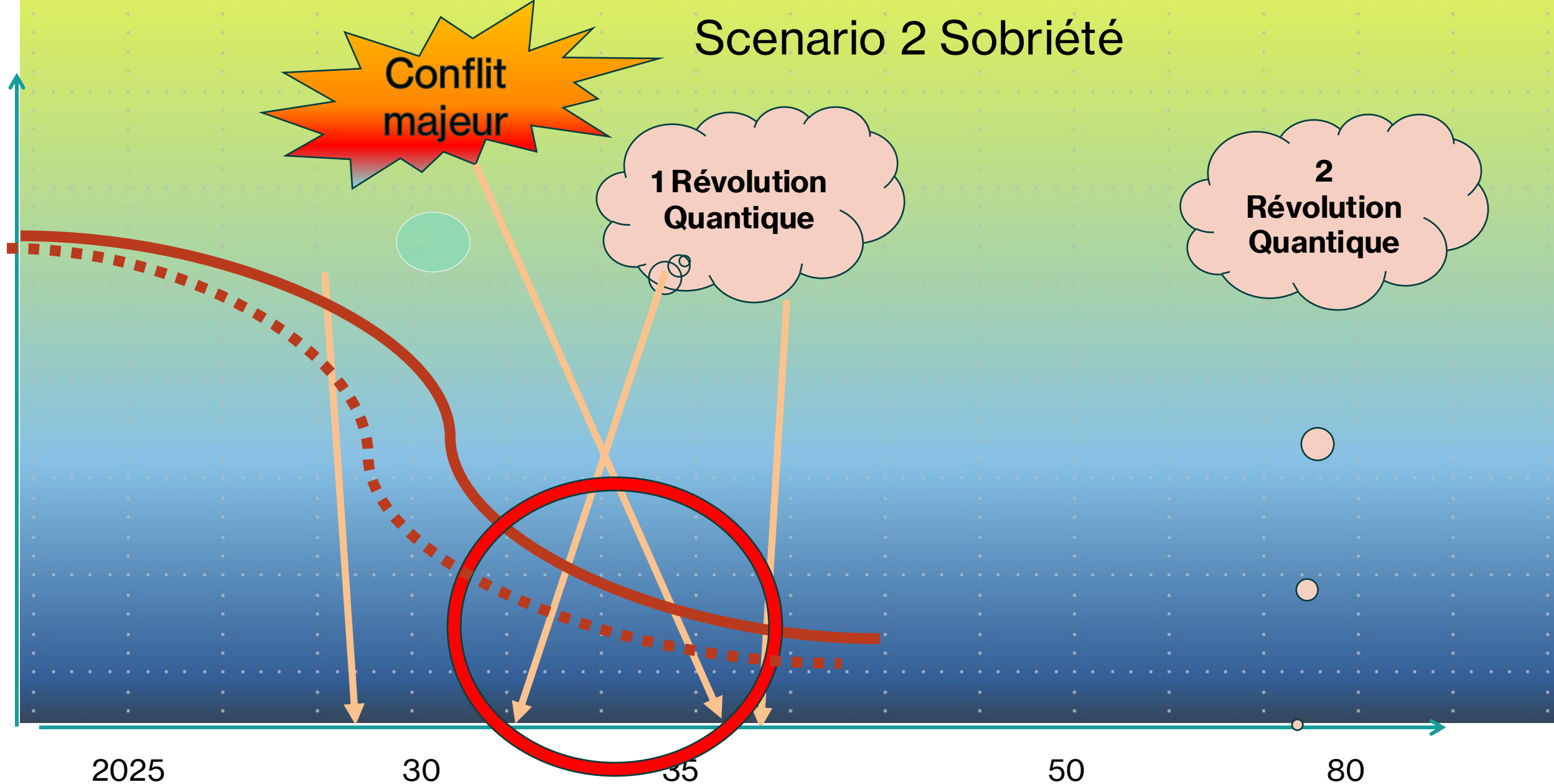
30

35

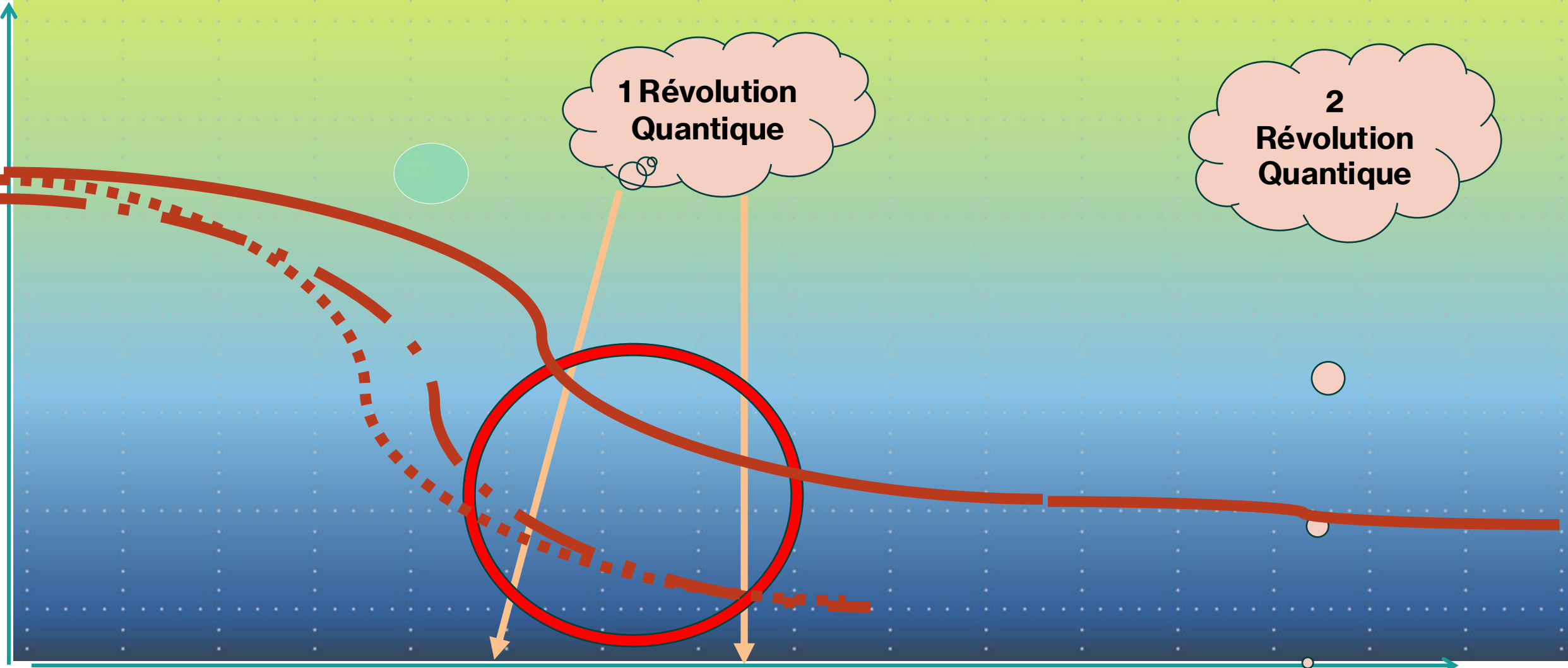
50

80

 Ressources critiques



Scenario 2 Sobriété+technologie



2025

30

35

50

80

 Ressources critiques

Aujourd'hui? : Emballlement

Janvier, Trump 1000 milliards US \$ pour l'IA

→ → → Annonces pour se placer

- **9 /09** ASML (2è producteur mondial de semi-: conducteurs et leader des machines a investit 1,3 milliard € dans Mistral, IA française
 - Changement de paradigme et espoir pour la souveraineté européenne
- **22 /09** OpenAI 10 GW Nvidia pour ses centres de données
 - Nidia investira 100 Milliards \$ dans OpenAI

2 octobre: IBM ordinateur quantique commercial pour 2029

29 octobre Licenciement Amazone 14000 personnes

31 octobre: Accord US-Chine sur les terres rares

3 Novembre Amazone achetera 38 Milliards \$ chez Nvidia

4/11 Deutsche Telecom et NVIDIA 1^{er} annonce DC à Munich 1 milliard €

+ 50% puissance de calcul pour l'IA en Allemagne

9/11 US interdit vente Nvidia200 a la Chine



4,5 Milliards €
signés en France+
depuis Mai 2025

- En fin de compte, l'avenir du numérique dépendra de notre capacité à équilibrer **innovation et responsabilité environnementale** et donc de prendre conscience de ces enjeux

Nous et les GAFAM

Nvidia, Tesla

Le numérique est-il durable ?

Je ne sais pas !!!!

Et Vous ???

Empreinte carbone ?

- Les collectivités et entreprises ont besoin de données plus précises pour réaliser un bilan carbone ou assurer le suivi de leurs actions.
- La loi REEN leur impose de piloter une stratégie numérique responsable et d'écoconcevoir leurs services numériques.
- Mais , selon l'Arcep et l'Arcom, beaucoup de données manquent encore dans les entreprises et institutions
- 'Ademe a lancé une [étude préfiguration sur une base de données environnementales du numérique](#) dont les résultats ont été publiés en mars 2025.