

# L'impact environnemental de l'IA dans notre vie quotidienne

**Danilo Carastan Dos Santos**, Laboratoire d'Informatique de Grenoble

Mathilde Jay, Laboratoire d'Informatique de Grenoble



# Alors, Qu'est-ce que c'est l'Intelligence Artificielle (IA)



DA

Alors, Qu'est-ce que c'est l'Intelligence Artificielle (IA)



L'intelligence artificielle (IA) est un domaine de l'informatique qui se concentre sur la création de systèmes capables d'exécuter des tâches qui nécessitent normalement l'intelligence humaine. L'objectif principal de l'IA est de développer des machines capables de percevoir, de comprendre, d'apprendre, de raisonner et d'agir de manière similaire à un être humain.

L'IA utilise différentes techniques et approches pour résoudre des problèmes complexes. Certaines de ces techniques incluent l'apprentissage automatique (machine learning), où les systèmes sont entraînés à partir de données pour effectuer des tâches spécifiques, et l'apprentissage en profondeur (deep learning), qui implique l'utilisation de réseaux neuronaux artificiels pour apprendre à partir de grandes quantités de données.

Les applications de l'IA sont vastes et variées. Elle est utilisée dans des domaines tels que la reconnaissance vocale et faciale, la traduction automatique, la recommandation de produits, la conduite autonome, la médecine, la finance, les jeux et bien d'autres encore. L'IA continue de progresser rapidement et a le potentiel de transformer de nombreux aspects de notre vie quotidienne et de nombreux secteurs de l'économie.



Une Interprétation : L'intelligence artificielle  
tente **d'automatiser** le raisonnement  
humain **par ses résultats observés**



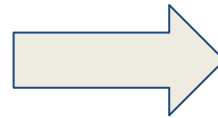


Une Interprétation : L'intelligence artificielle tente **d'automatiser** le raisonnement humain **par ses résultats observés**

L'humain



Ceci est un chat



L'IA



# Une Interprétation : L'intelligence artificielle tente **d'automatiser** le raisonnement humain **par ses résultats observés**

L'humain



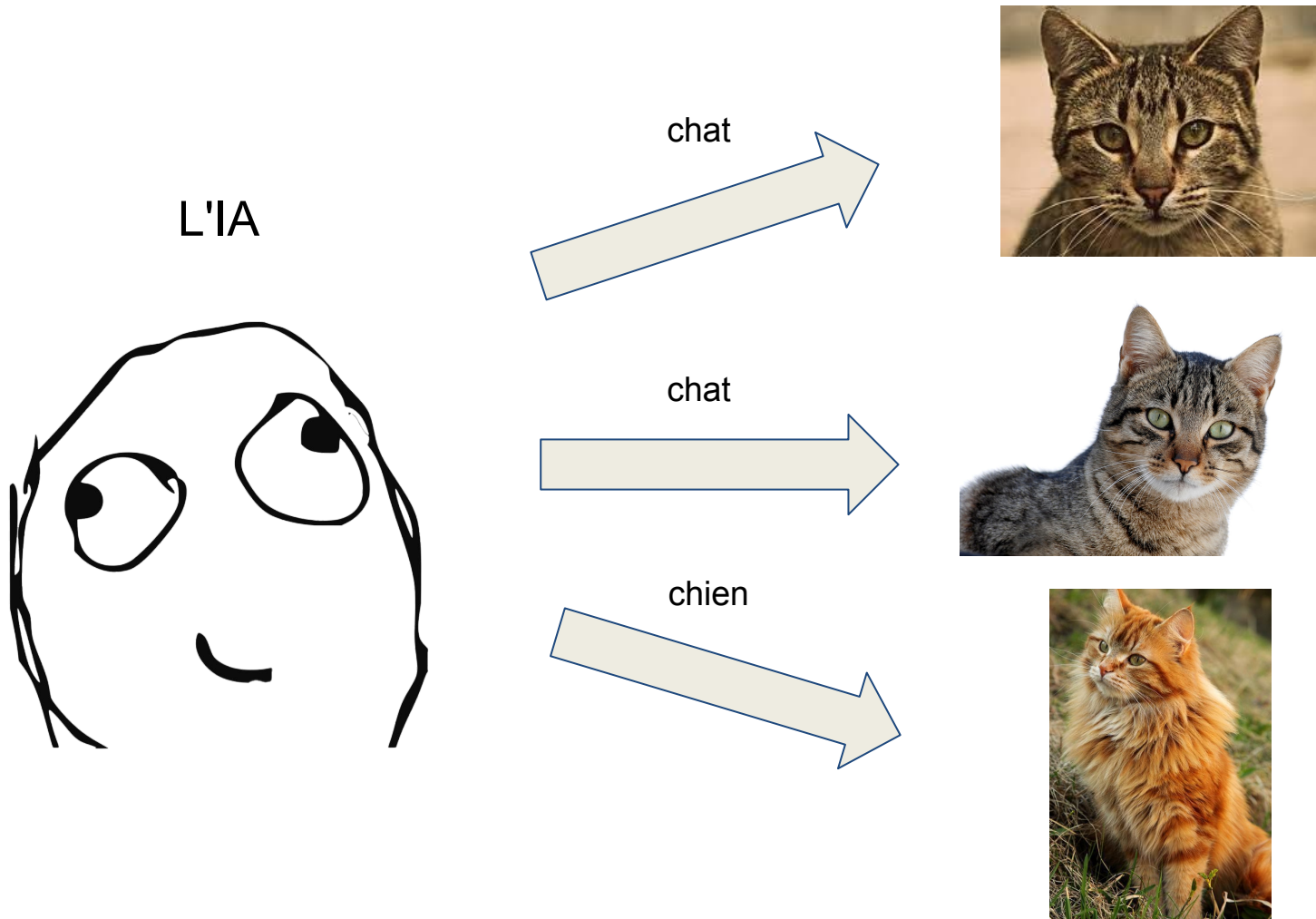
Ce sont tous des chats



L'IA



# Une Interprétation : L'intelligence artificielle tente d'automatiser le raisonnement humain **par ses résultats observés**

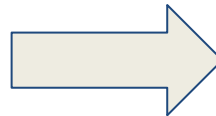


Une Interprétation : L'intelligence artificielle tente **d'automatiser** le raisonnement humain **par ses résultats observés**

L'humain



Non, ceci est un chat

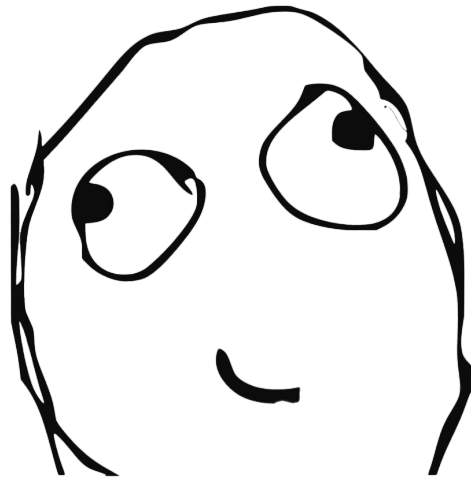


L'IA

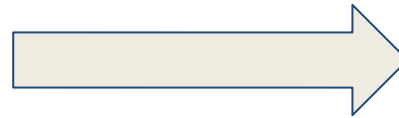


Une Interprétation : L'intelligence artificielle tente **d'automatiser** le raisonnement humain **par ses résultats observés**

L'IA



chat

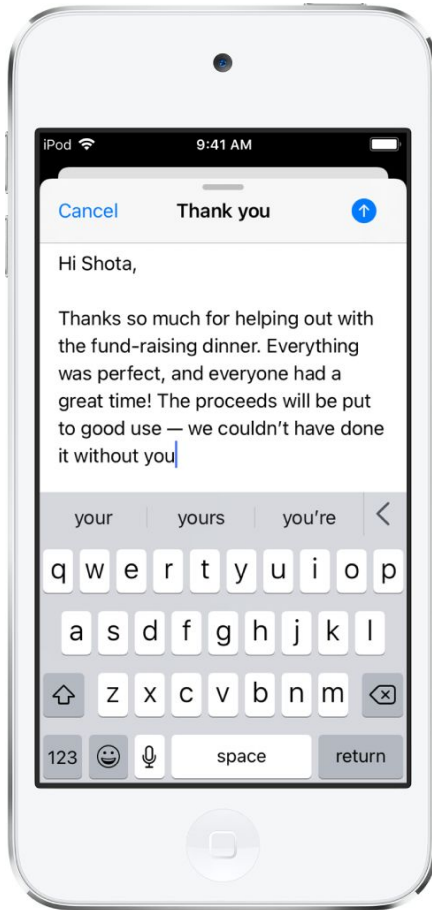


## Exemple d'usage : Vérification automatique de contenu inapproprié (YouTube, TikTok, etc)

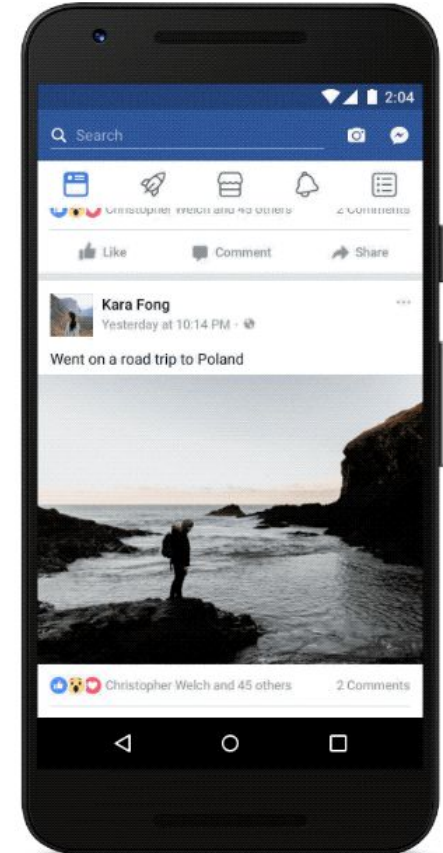




## Exemple d'usage : Suggestion de texte et contenu



Predictive text



# Exemple d'usage : Modèles de langage (ChatGPT)

DA

Je ferai un séminaire de vulgarisation scientifique sur l'impact environnemental de l'IA. Que dois-je présenter ?



Lorsque vous présentez sur l'impact environnemental de l'IA, voici quelques points clés que vous pouvez aborder :

1. La consommation d'énergie : L'IA nécessite des ressources informatiques importantes, notamment des centres de données puissants. Ces centres de données consomment une quantité considérable d'électricité, ce qui peut avoir un impact sur l'environnement, en particulier si l'électricité provient de sources non renouvelables.
2. L'empreinte carbone : L'utilisation d'électricité pour alimenter les infrastructures de l'IA peut entraîner des émissions de gaz à effet de serre, contribuant ainsi au changement climatique. Il est important de discuter des mesures prises pour réduire l'empreinte carbone de l'IA, comme l'utilisation de sources d'énergie renouvelable et l'optimisation des infrastructures.
3. L'extraction de ressources : La fabrication des composants matériels nécessaires à l'IA, tels que les processeurs et les puces, implique l'extraction de ressources naturelles, y compris des métaux rares. Il est essentiel de souligner les défis liés à l'extraction de ces ressources et aux problèmes de durabilité associés.

4. Le recyclage électronique : L'IA entraîne une augmentation de la demande de matériel informatique. Il est crucial de parler de l'importance du recyclage approprié des appareils électroniques obsolètes pour éviter la pollution de l'environnement par les déchets électroniques.
5. L'efficacité énergétique : Il convient de discuter des initiatives visant à rendre l'IA plus économe en énergie, telles que l'optimisation des algorithmes, la mise en veille des appareils lorsqu'ils ne sont pas utilisés et l'utilisation de techniques de refroidissement plus efficaces pour les centres de données.
6. Les applications de l'IA pour l'environnement : Il est également important de mettre en évidence les avantages potentiels de l'IA pour l'environnement, tels que l'utilisation de l'IA dans la surveillance de l'environnement, la prédiction des changements climatiques, l'optimisation de la gestion des ressources naturelles, etc.
7. Les initiatives et les bonnes pratiques : Présentez les initiatives mises en place par l'industrie de l'IA, les gouvernements et les organisations pour réduire l'impact environnemental de l'IA. Parlez des certifications environnementales, des politiques de durabilité et des collaborations entre les acteurs de l'industrie pour promouvoir une IA plus respectueuse de l'environnement.

N'oubliez pas d'inclure des exemples concrets et des données chiffrées pour étayer vos arguments. Il est également essentiel de sensibiliser le public aux enjeux environnementaux de l'IA tout en soulignant les possibilités de développement durable dans ce domaine.





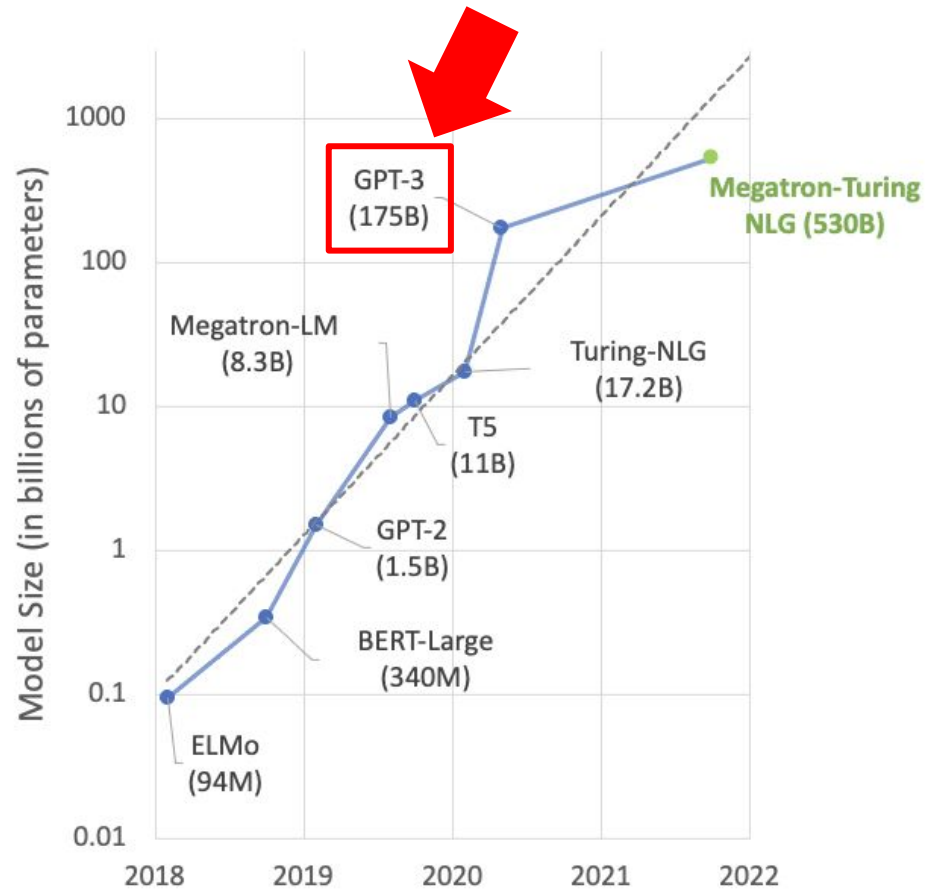
# Toujours plus de données



Source : <https://www.nytimes.com/2018/11/25/business/china-artificial-intelligence-labeling.html>



# Toujours plus de paramètres



Source:

<https://developer.nvidia.com/blog/using-deepspeed-and-megatron-to-train-megatron-turing-nlg-530b-the-worlds-largest-and-most-powerful-generative-language-model/>



## Cas d'étude : Modèle de langage

a BigScience initiative

**B L**  **M**

**176B params · 59 languages · Open-access**

Sources : <https://www.cnrs.fr/en/release-largest-trained-open-science-multilingual-language-model-ever>

<https://bigscience.huggingface.co/blog/bloom>



PINT OF SCIENCE #pint23

---

# ESTIMATING THE CARBON FOOTPRINT OF BLOOM, A 176B PARAMETER LANGUAGE MODEL

---

**Alexandra Sasha Luccioni**

Hugging Face

sasha.luccioni@hf.co

**Sylvain Viguiet**

Graphcore

sylvainv@graphcore.ai

**Anne-Laure Ligozat**

LISN & ENSIIE

anne-laure.ligozat  
@lisn.upsaclay.fr

A. S. Luccioni, S. Viguiet, and A.-L. Ligozat, “Estimating the Carbon Footprint of BLOOM, a 176B Parameter Language Model.” arXiv, Nov. 03, 2022. Accessed: Mar. 21, 2023. [Online]. Available:

<http://arxiv.org/abs/2211.02001>



PINT OF SCIENCE #pint23



## Phase d'entraînement (Énergie)



Durée d'entraînement : **118 jours**  
Énergie consommée : **433 MWh**  
(**conso. annuelle de 62 personnes\***)

\*Basée sur une consommation moyenne de 6,94 MWh par personne en France, source : <https://data.worldbank.org/share/widget?indicators=EG.USE.ELEC.KH.PC&locations=FR>



PINT OF SCIENCE #pint23

## Phase d'entraînement (Émissions de CO2)



Émissions de CO2 : **50,5 tonnes**  
**126 aller-retour Paris-New York**  
**pour une personne**  
**43 terrains de foot de forêts**

\*Basée sur l'estimation moyenne de 399 Kg CO2eq pour un aller-retour Paris-New York pour une personne  
Source : <https://www.google.com/travel/flights>





## Un autre exemple : GPT-3 de OpenAI\*



\*Source : Patterson, D., Gonzalez, J., Le, Q., Liang, C., Munguia, L.-M., Rothchild, D., So, D., Texier, M., & Dean, J. (2021). Carbon Emissions and Large Neural Network Training (arXiv:2104.10350). arXiv. <http://arxiv.org/abs/2104.10350>



# L'Usage de ChatGPT - Une estimation grossière

Paramètres :

## Utilisation de ChatGPT

100 millions d'utilisateurs actifs par mois<sup>a</sup>

10 requêtes (*prompts*) par jour → 300 requêtes par mois par utilisateur

Total : **30 milliards** de requêtes par mois

## Consommation de BLOOM à l'usage

230 milliers de requêtes → 340 kg CO<sub>2</sub><sup>b</sup>

## Le calcul :

230 milliers de requêtes → 340 kg CO<sub>2</sub>

30 milliards de requêtes → **X kg CO<sub>2</sub>**

**X = 44 347 tonnes de CO<sub>2</sub>eq par mois**

**111 145 aller-retour Paris-New York pour une personne  
2 fois la surface de Paris en forêts<sup>c</sup>**

a - <https://www.reuters.com/technology/chatgpt-sets-record-fastest-growing-user-base-analyst-note-2023-02-01/>

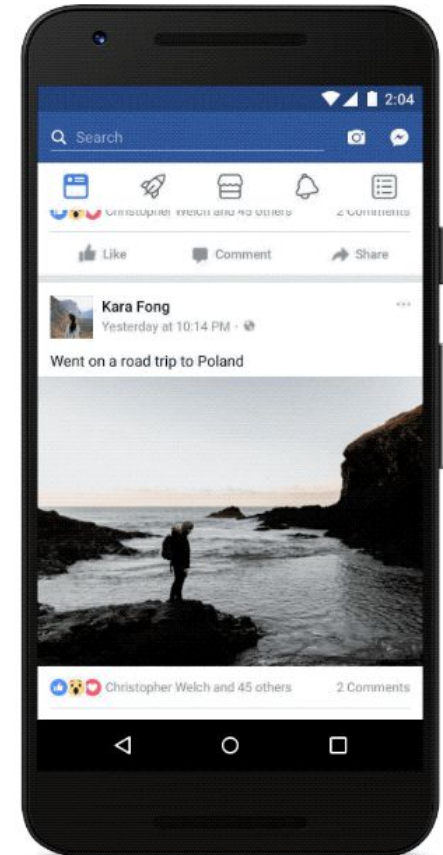
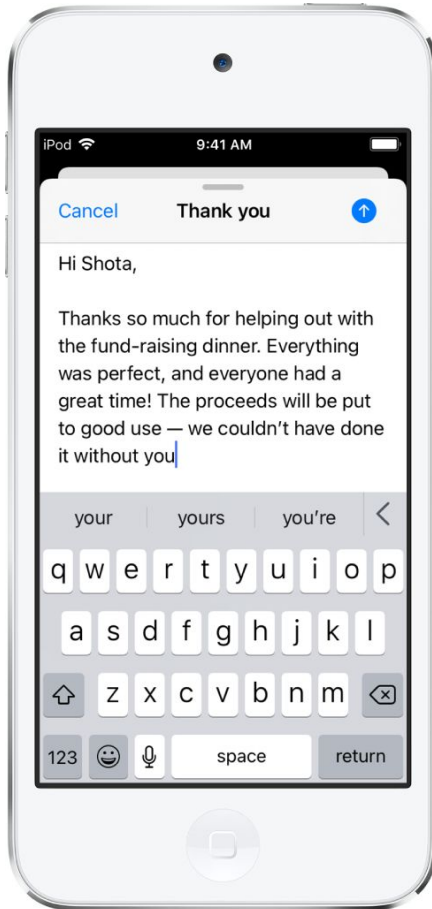
b - A. S. Luccioni, S. Viguier, and A.-L. Ligozat, "Estimating the Carbon Footprint of BLOOM, a 176B Parameter Language Model." arXiv, Nov. 03, 2022. Accessed: Mar. 21, 2023. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2211.02001>

c -  $2.1331 \times 10^8$  m<sup>2</sup> de forets (source : <https://www.epa.gov/energy/greenhouse-gas-equivalencies-calculator>) Surface de Paris :  $105,4 \times 10^6$  m<sup>2</sup>





## Exemple d'usage : Suggestion de texte et contenu



Tiktok = 1,6 milliard d'utilisateurs



# MERCI POUR VOTRE ÉCOUTE

**Contact :**

[danilo.carastan-dos-santos@inria.fr](mailto:danilo.carastan-dos-santos@inria.fr)

**Website:**



<https://danilo-carastan-santos.github.io/>

**Social:**

<https://www.linkedin.com/in/danilo-carastan-santos/>



# La partie immergée de l'IA-iceberg

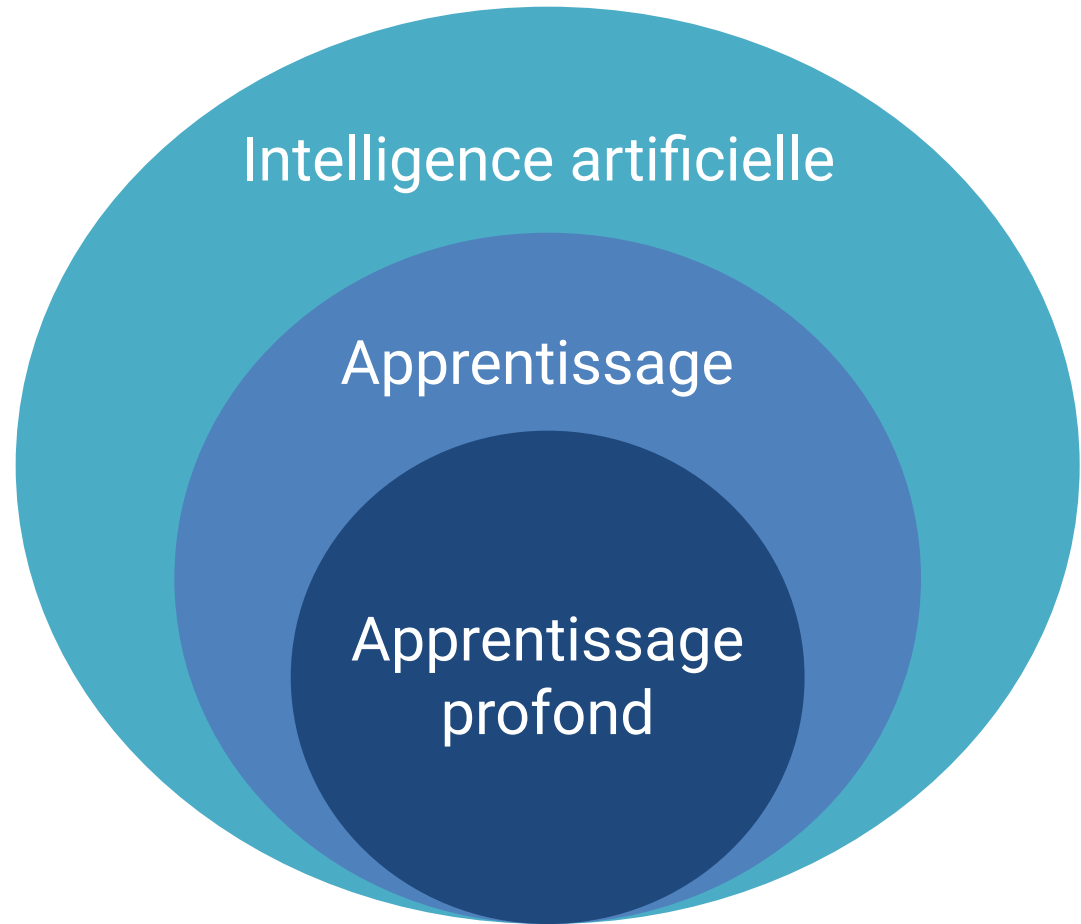
**Mathilde Jay**, Laboratoire d'Informatique de Grenoble

Danilo Carastan Dos Santos, Laboratoire d'Informatique de Grenoble



# Démystifions l'intelligence artificielle

Alors, pas vraiment ...



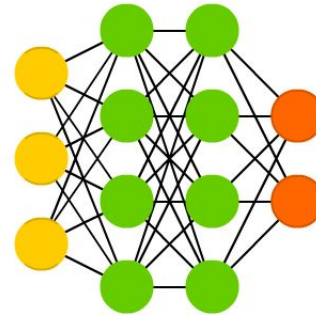
# Démystifions l'apprentissage profond

DES DONNÉES



Corgi gallois de Pembroke  
qui tire la langue

UN MODÈLE



# DES DONNÉES

Corgi gallois de  
Pembroke qui tire la  
langue



TEXTE / CHIFFRE

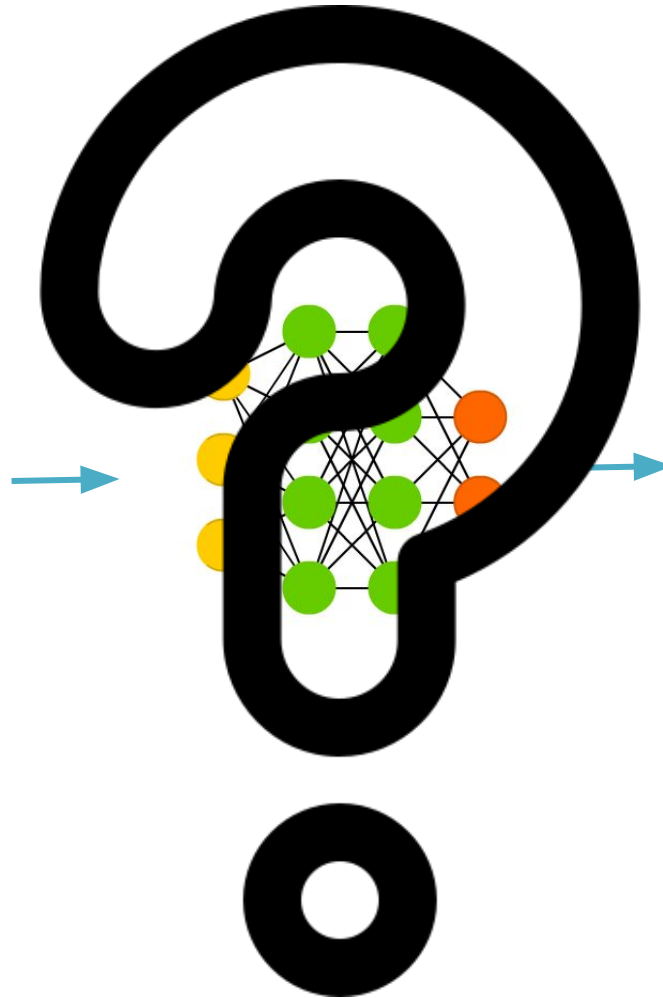


IMAGES / VIDÉOS

AUDIO



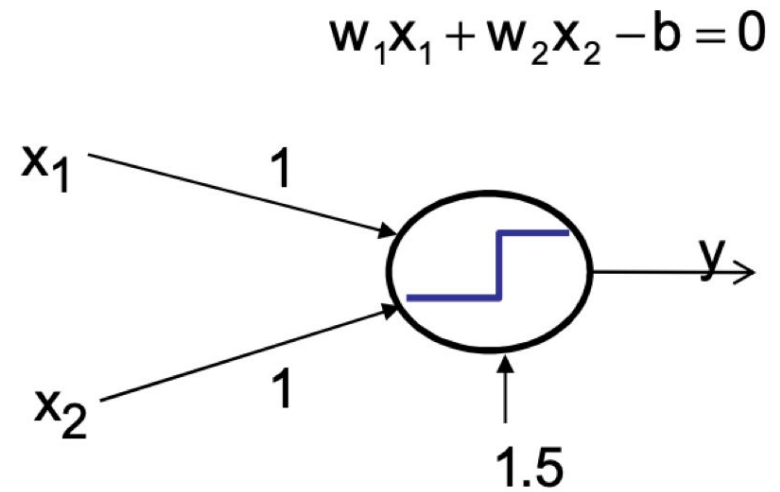
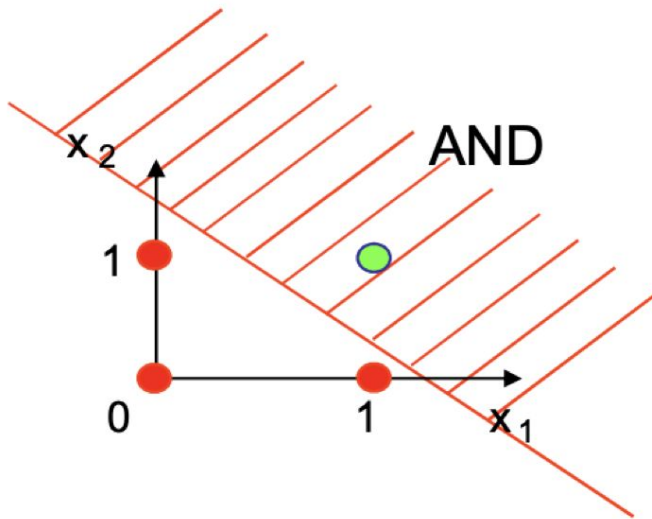
# UN MODÈLE



Corgi gallois de  
Pembroke qui tire la  
langue



# UN MODÈLE



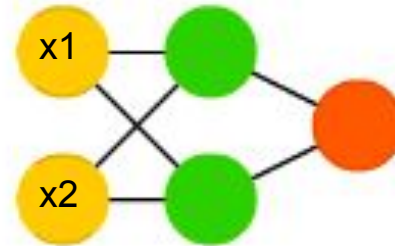
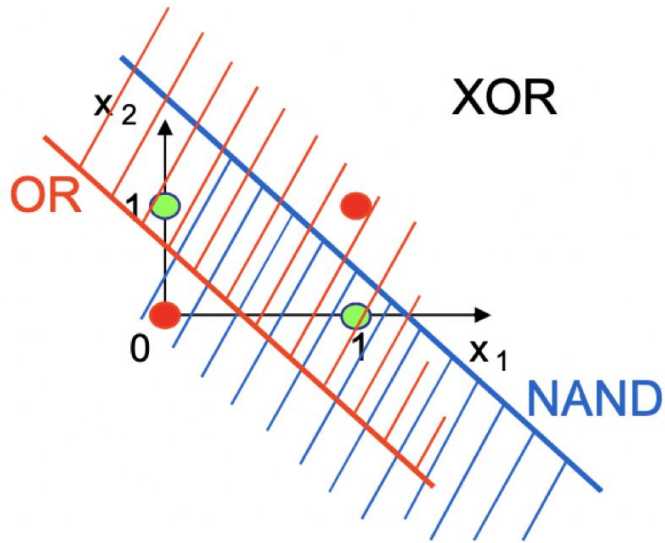
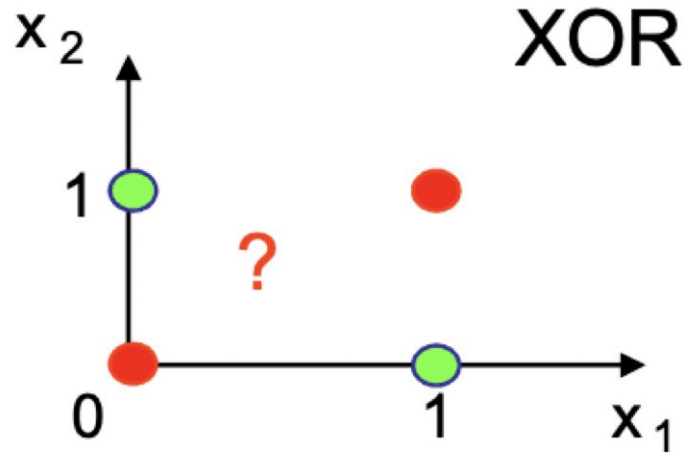
Si  $x_1 + x_2 > 1.5$ ,  $y=1$  ●

Si  $x_1 + x_2 < 1.5$ ,  $y=0$  ●





# UN MODÈLE



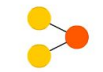
# UN MODÈLE = UN RÉSEAU DE NEURONES

## A mostly complete chart of Neural Networks

©2019 Fjodor van Veen & Stefan Lejnen asimovinstitute.org

- Input Cell
- Backfed Input Cell
- Noisy Input Cell
- Hidden Cell
- Probabilistic Hidden Cell
- Spiking Hidden Cell
- Capsule Cell
- Output Cell
- Match Input Output Cell
- Recurrent Cell
- Memory Cell
- Gated Memory Cell
- Kernel
- Convolution or Pool

Perceptron (P)



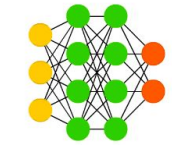
Feed Forward (FF)



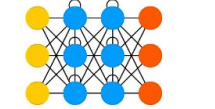
Radial Basis Network (RBF)



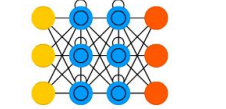
Deep Feed Forward (DFF)



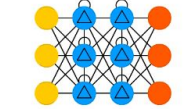
Recurrent Neural Network (RNN)



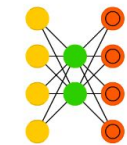
Long / Short Term Memory (LSTM)



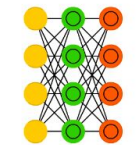
Gated Recurrent Unit (GRU)



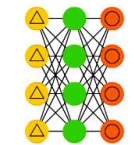
Auto Encoder (AE)



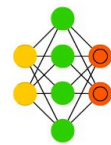
Variational AE (VAE)



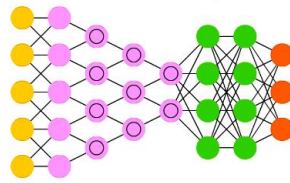
Denoising AE (DAE)



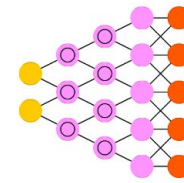
Sparse AE (SAE)



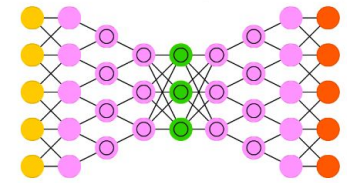
Deep Convolutional Network (DCN)



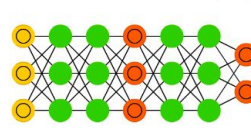
Deconvolutional Network (DN)



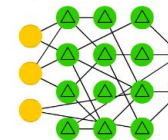
Deep Convolutional Inverse Graphics Network (DCIGN)



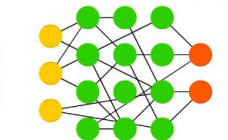
Generative Adversarial Network (GAN)



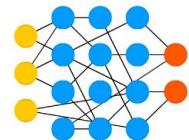
Liquid State Machine (LSM)



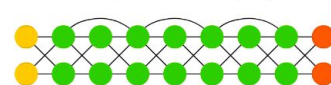
Extreme Learning Machine (ELM)



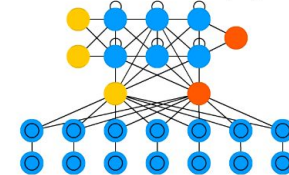
Echo State Network (ESN)



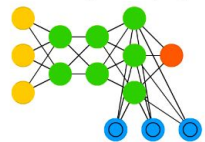
Deep Residual Network (DRN)



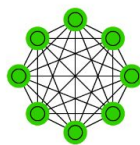
Differentiable Neural Computer (DNC)



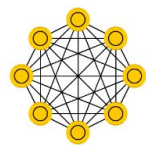
Neural Turing Machine (NTM)



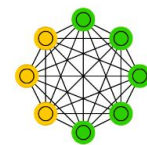
Markov Chain (MC)



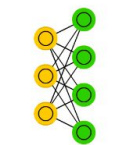
Hopfield Network (HN)



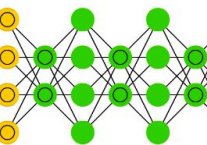
Boltzmann Machine (BM)



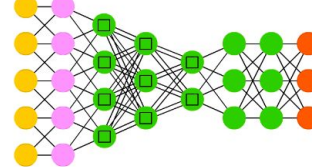
Restricted BM (RBM)



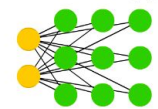
Deep Belief Network (DBN)



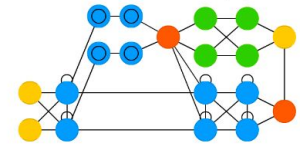
Capsule Network (CN)



Kohonen Network (KN)



Attention Network (AN)



# UN MODÈLE

Entraînement : déterminer les poids ( $w_1$ ,  $w_2$ ,  $b$ ) de chaque neurone.

Pas de solution exacte mais une méthode de résolution **itérative**.

On lui donne plein d'exemples (plusieurs fois) avec les entrées et les sorties attendues. Les poids sont légèrement corrigés pour réduire la différence entre la sortie du modèle et la sortie attendue.



Tâche difficile  
(Reconnaître un objet  
sur une photo)



Modèle grand  
(Nombre de neurone,  
complexité des liaisons)

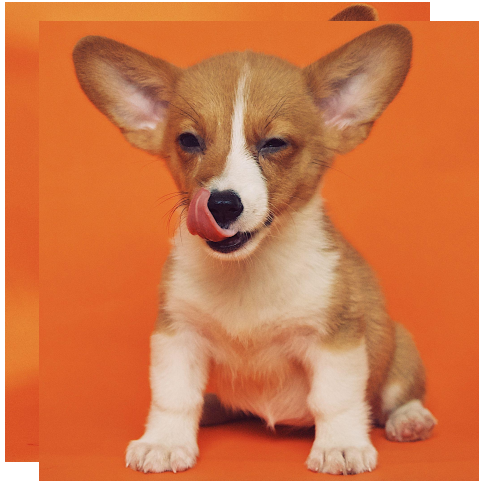


Entraînement long  
(Quantité de données,  
ressources informatiques)



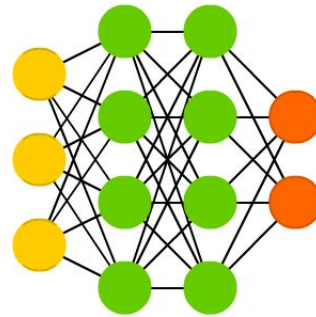
# Démystifions l'apprentissage profond

DES DONNÉES



Corgi gallois de Pembroke  
qui tire la langue

UN MODÈLE



DES RESSOURCES  
INFORMATIQUES



# DES RESSOURCES INFORMATIQUES : LA BASE



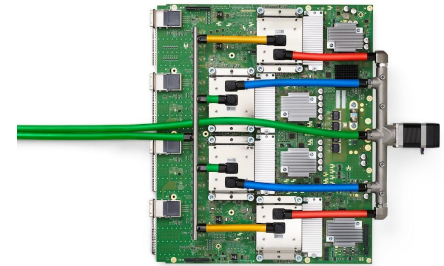
*Compute  
Processing Unit  
(CPU)*

~100€  
1971  
100 Watt



*Graphic  
Processing Unit  
(GPU)*

~2500€  
1993  
400 Watt



*Tensor  
Processing Unit  
(TPU)*

~6€/heure sur Google Cloud  
2016  
200 Watt





# DES RESSOURCES INFORMATIQUES : UN SERVEUR AVEC GPUS



# DES RESSOURCES INFORMATIQUES : UN CENTRE DE DONNÉE



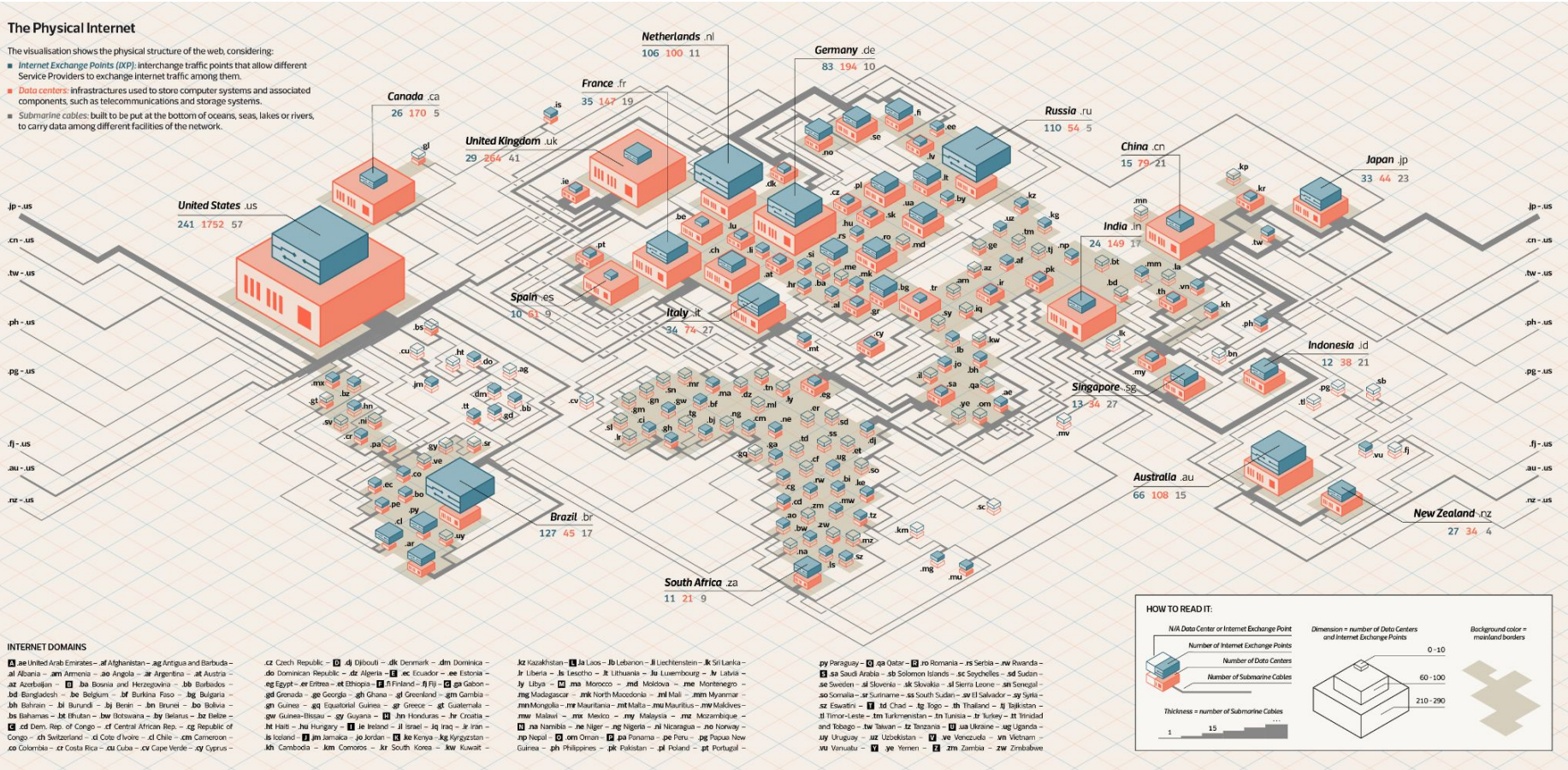


# DES RESSOURCES INFORMATIQUES : DES CENTRES DE DONNÉES

## The Physical Internet

The visualisation shows the physical structure of the web, considering:

- **Internet Exchange Points (IXP)**: interchange traffic points that allow different Service Providers to exchange Internet traffic among them.
- **Data centers**: infrastructures used to store computer systems and associated components, such as telecommunications and storage systems.
- **Submarine cables**: built to be put at the bottom of oceans, seas, lakes or rivers, to carry data among different facilities of the network.



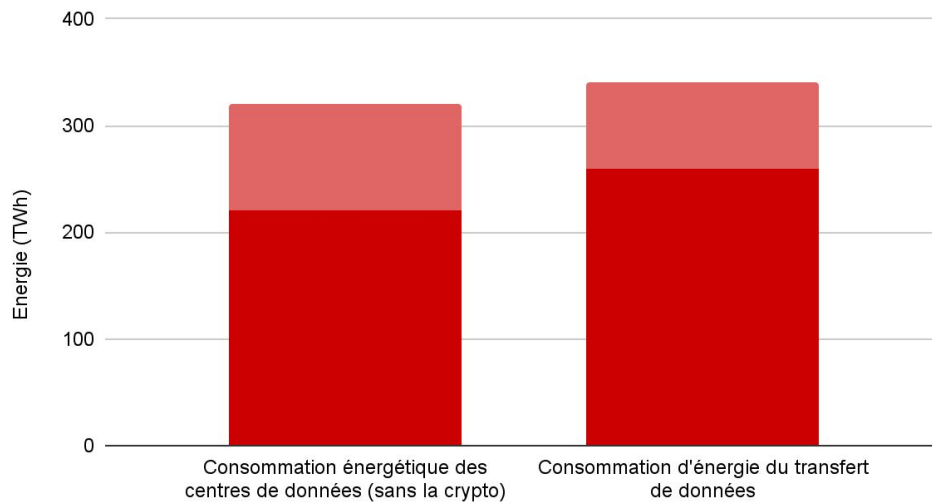
Situer le numérique (Gauthier Roussille)  
 Livre sur l'impact environnemental du numérique





## CONSOMMATION EN ÉNERGIE

En 2021



## ÉMISSIONS CO<sub>2</sub>EQ

En 2020

- 300 Millions de tCO<sub>2</sub>eq en 2020
  - Effets directs et indirects
- 0,6% des émissions CO<sub>2</sub> globales

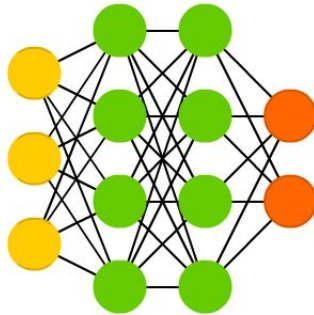
D'après l'agence internationale de l'énergie

<https://www.iea.org/reports/data-centres-and-data-transmission-networks>



# UN EXEMPLE : GÉNÉRER DES IMAGES À PARTIR D'UN TEXTE

Corgi gallois de  
Pembroke avec un  
chapeau de  
cowboy



StableDiffusion



# UN EXEMPLE : GÉNÉRER DES IMAGES À PARTIR D'UN TEXTE

StableDiffusion (version 1)

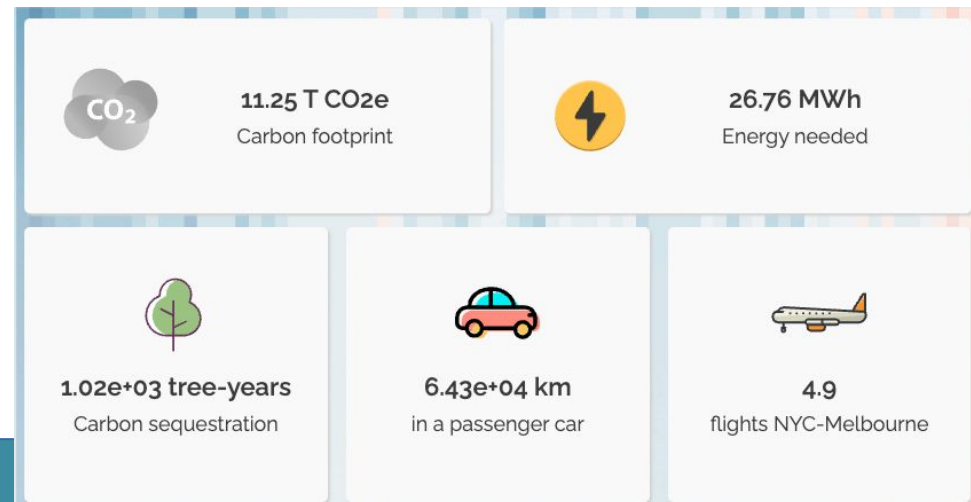
Nombre de paramètres : **890 millions**

Quantité de données : **5 milliards** de paires image/texte

Équipement utilisé : **32 x 8 x A100 GPUs**

Nombre d'étapes d'entraînement : **431 000** étapes

Durée : **150 000** heures-GPU



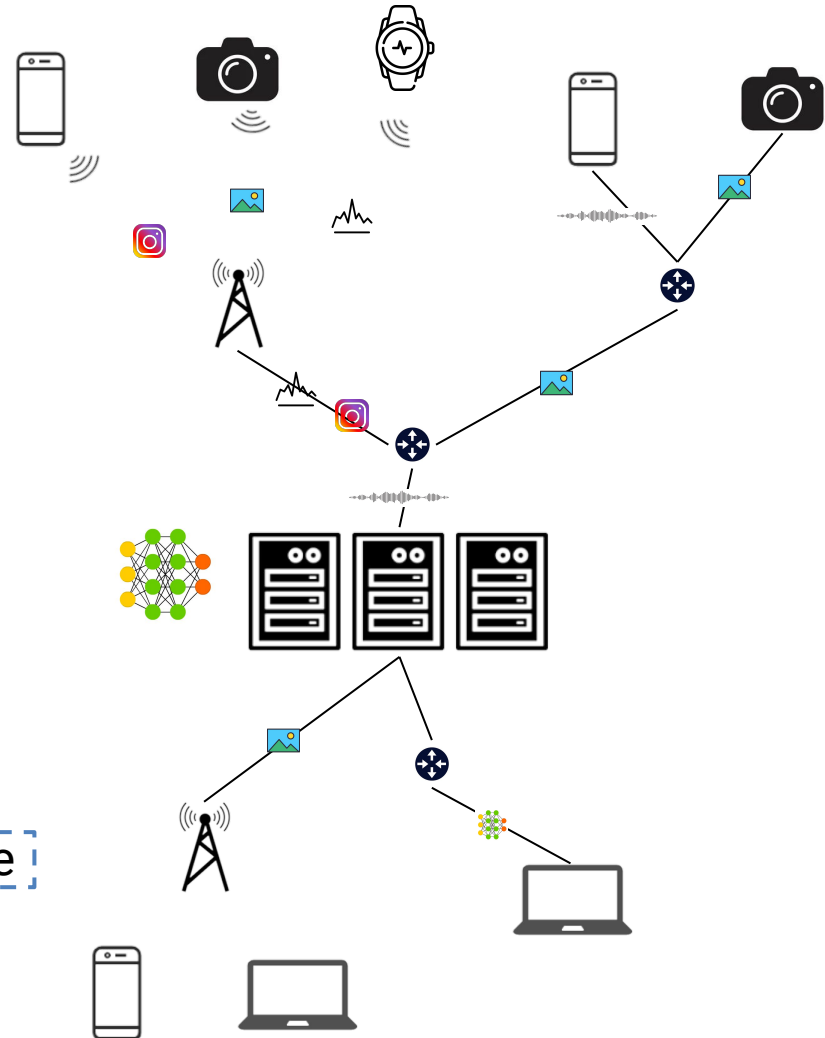
# INFRASTRUCTURES DERRIÈRE UNE APPLICATION D'IA

Collecte des données

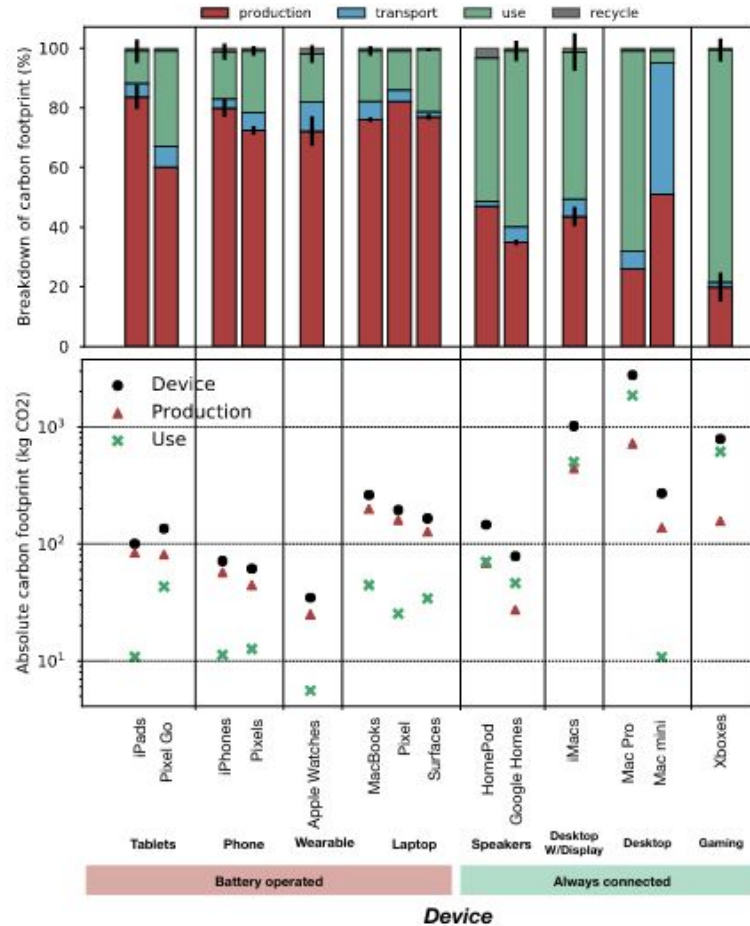
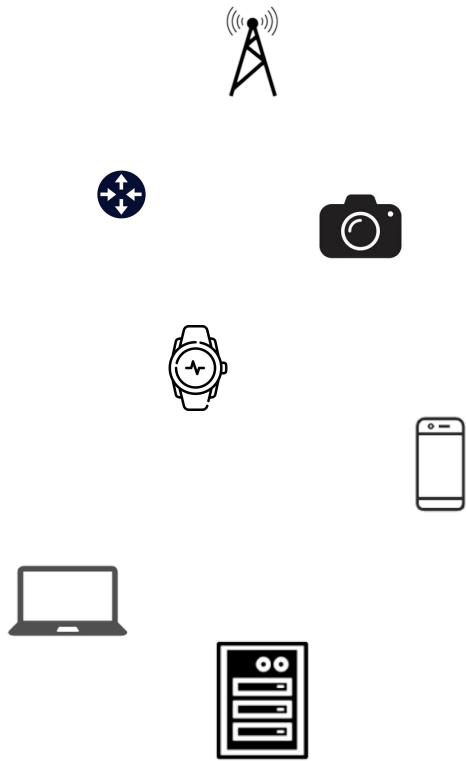
Transfert des données

Traitement des données  
Choix du modèle - Transfert  
Entraînement du modèle

Utilisation du modèle



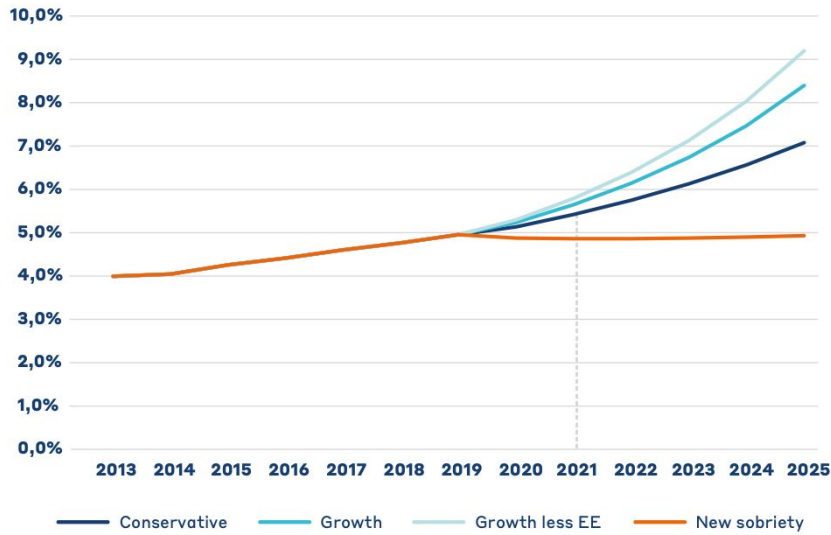
# IMPACT ENVIRONNEMENTAL PAR ANALYSE DU CYCLE DE VIE



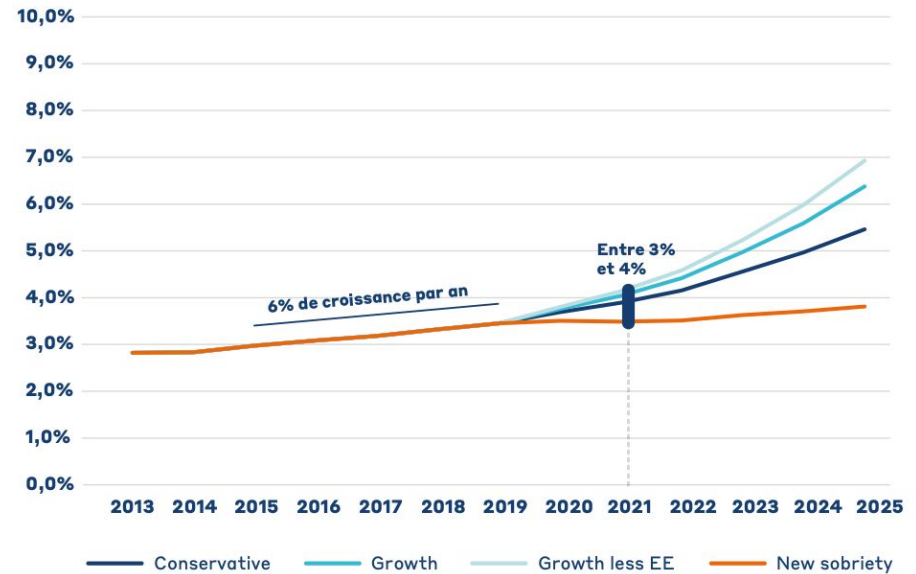
U. Gupta *et al.*, "Chasing Carbon: The Elusive Environmental Footprint of Computing," *arXiv:2011.02839 [cs]*, Oct. 2020, Accessed: Oct. 15, 2021. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2011.02839>



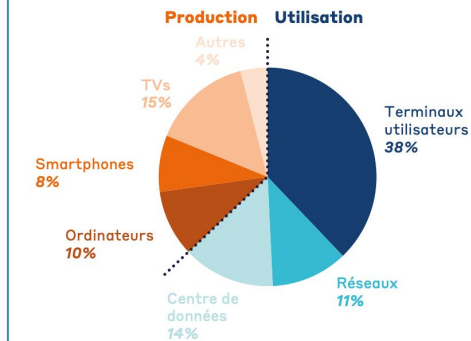
### Part du numérique dans la consommation d'énergie primaire mondiale



### Part du numérique dans les émissions de GES mondiales



### Distribution de l'empreinte carbone du numérique mondial par poste en 2019



D'après le shift project, 2021

[https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2021/03/Note-danalyse-Numerique-et-5G\\_30-mars-2021.pdf](https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2021/03/Note-danalyse-Numerique-et-5G_30-mars-2021.pdf)



# IMPACT ENVIRONNEMENTAL D'UN SERVICE D'IA



Comment répartir l'impact indirect (fabrication, transport, recyclage, ...) entre les services qui utilisent l'équipement ?



Comment estimer l'impact indirect ?

Comment mesurer la consommation des équipements utilisateurs ?



Quelle est la durée de vie des équipements ?



Comment estimer le volume d'utilisation du modèle ?



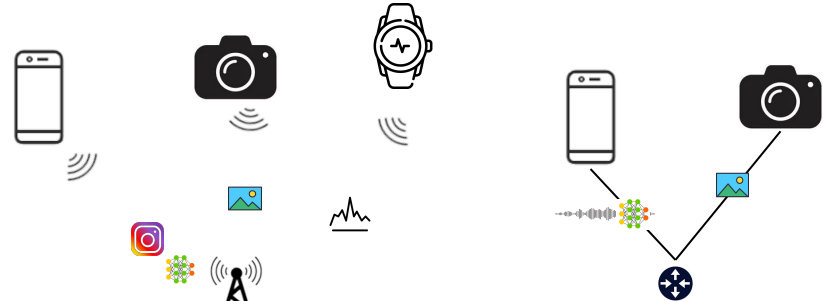
Combien de fois le modèle a-il été entraîné ? et comment prendre en compte les phases d'entraînement précédentes ?





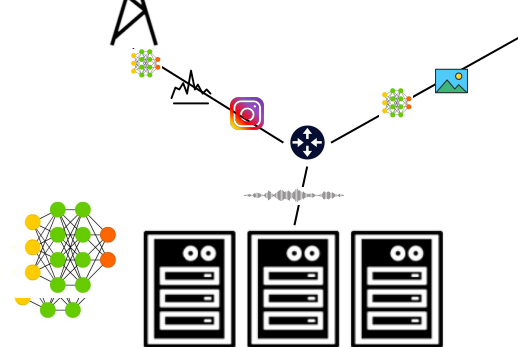
# NOUVEAU PARADIGME : APPRENTISSAGE FÉDÉRÉ

Construction et entraînement du modèle  
Collecte des données

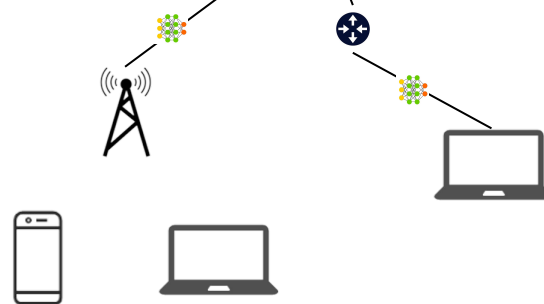


Transfert des données

Agrégation du modèle  
Construction et entraînement du modèle



Utilisation du modèle



# CHAMPS D'ACTION POSSIBLE POUR NOUS

- Réduire le nombre d'appareil qu'on a à la maison
- Allonger la durée de vie des équipements
  - Réparer
  - Acheter de seconde main
- Utiliser le réseau filaire ou la wifi plutôt que la 4G/5G
- Avoir conscience de l'impact des technologies que vous utilisez!



# PETITE NOTE POSITIVE POUR LA FIN

Tout fait moins peur  
quand on sait de quoi on  
parle

Ce sont aussi des  
opportunités qui se créent

Des nouvelles communautés

Ces enjeux deviennent  
économiques & marketing



# MERCI POUR VOTRE ÉCOUTE

[mathilde.jay@univ-grenoble-alpes.fr](mailto:mathilde.jay@univ-grenoble-alpes.fr)

<https://mjay42.github.io/>

<https://www.linkedin.com/in/mathilde-jay/>

