

INTELLIGENCE ARTIFICIELLE FRUGALE & MESURE DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL

Juliette Fropier – Cheffe de projet IA

Ecolab, le laboratoire d'innovation au service de la transition écologique

- ✓ Animation de l'écosystème Greentech
- ✓ Administrateur ministériel des données, des algorithmes et des codes sources = offrir un meilleur accès à la donnée pour les territoires, pour les entreprises et les citoyens
- ✓ Accompagnement et incubation de projets exploitant la donnée et l'IA
- ✓ Conseil National de l'Information Géolocalisée = instance consultative qui rassemble les acteurs qui composent l'écosystème de la géo-donnée en France
- ✓ Pilotage de la feuille de route IA du Ministère et représentation du Ministère au sein des instances de gouvernance de la stratégie IA



Pionniers de l'IA

Appel à projet France 2030

Soutenir des projets de R&D à fort potentiel de rupture technologique, capables de générer un impact durable sur l'économie et de contribuer à la souveraineté nationale

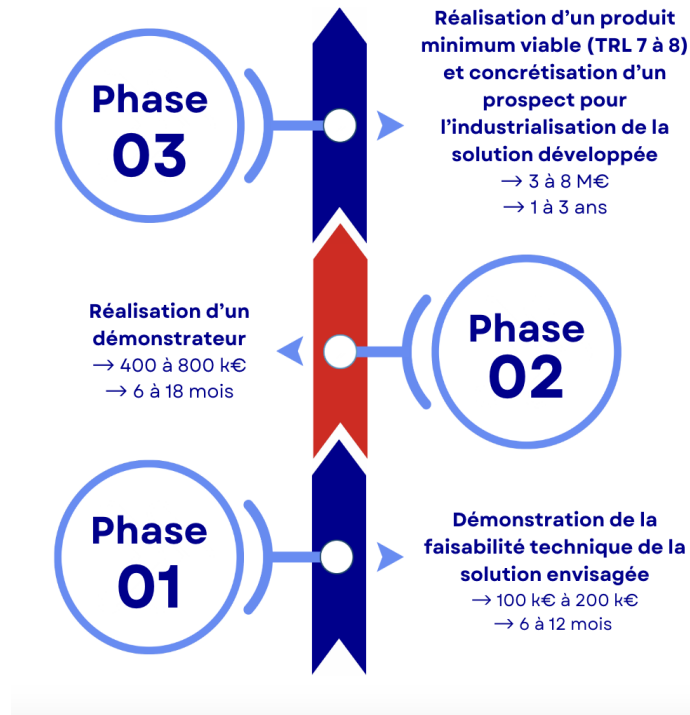
Encouragement partenariat laboratoire de recherche – start-ups

Secteurs stratégiques :

- Conception et production industrielle
- Santé
- Transition écologique
- Sécurité.

Organisés en trois phases avec des sélections progressives pour accéder aux financements les plus élevés

Suivi de la performance environnementale





MINISTÈRES
AMÉNAGEMENT
DU TERRITOIRE
TRANSITION
ÉCOLOGIQUE

*Liberté
Égalité
Fraternité*

ETAT DES CONNAISSANCES

Empreinte carbone du numérique en France

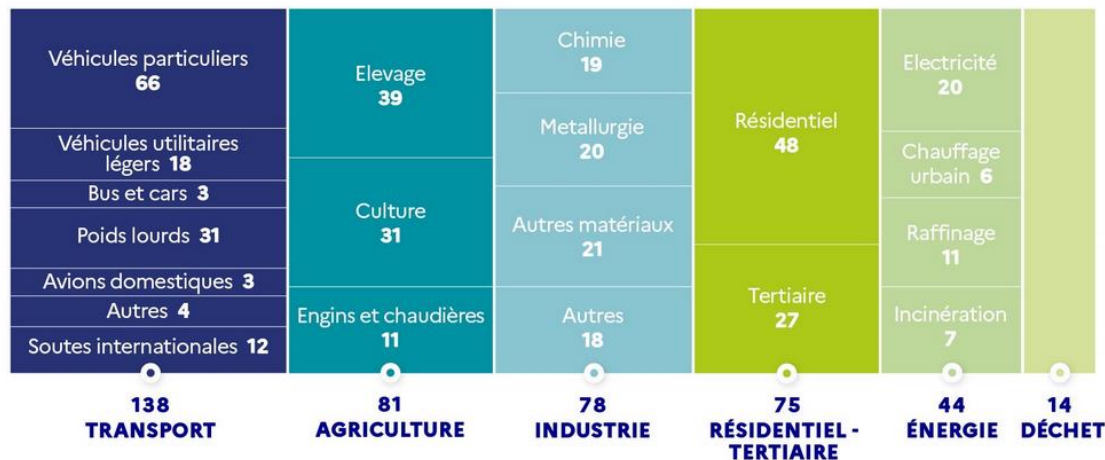
4,4 %
 de
 l'empreinte
 carbone de la
 France en
 2022

Environ 29,5 Mt
 de CO₂eq

Source : Mise à jour de l'étude
 ADEME-ARCEP Janvier 2025

Emissions de gaz à effet de serre (GES) en France par secteur d'activité

Chiffres de l'année 2021 en millions de tonnes équivalent CO₂



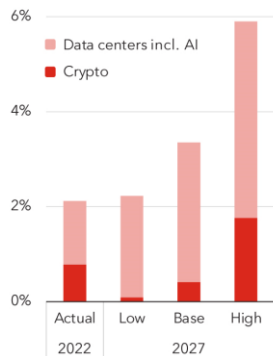
Source : CITEPA-SECTEN, baromètre mensuel – hors UTCATF



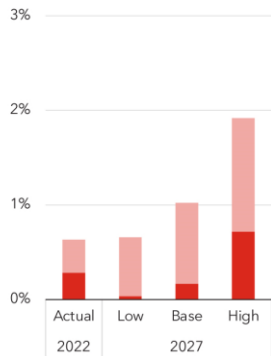
Quelques chiffres

Crypto and data centers account for a growing amount of emissions

Share of global electricity use



Share of global CO₂ emissions



Source: Hebous and Vernon (2023); Carbon Pricing Assessment Tool; IEA 2024.
 Note: All projection scenarios use the average BTC price for 2021-2023. "Base" refers to the average energy-intensity of mining equipment; "Low" and "High" refer to the lowest and highest available energy-intensity, respectively. Crypto emissions decline from 2022 to 2027 under the baseline scenario is mainly driven by the reduction in mining block rewards while assuming no offsetting increase in crypto prices or transaction fees.

IMF

Centres de données :

- La demande d'électricité des centres de données du monde entier devrait **plus que doubler d'ici 2030** pour atteindre environ **945 térawattheures (TWh)**, soit un peu plus que la consommation totale d'électricité du Japon aujourd'hui.
- L'IA sera le principal moteur de cette augmentation : la demande d'électricité des centres de données optimisés par l'IA devrait **plus que quadrupler d'ici 2030**. (Source : IEA, Avril 2025)

Modèles d'IA – Peu de données:

- GPT-3 (décembre 2022) : 552 tonnes de CO₂ pour l'entraînement (Patterson et al, 2021)
- Llama-3 70B (avril 2024) : 1900 tonnes de CO₂ pour l'entraînement (model card)
- Llama-4 Scout 17Bx128e (avril 2025) : 1354 tonnes de CO₂ pour l'entraînement
- Génération d'une image: 2,9 Wh en moyenne (jusqu'à 11 Wh / environ la moitié d'une charge de téléphone) (Luccioni et al, 2024)

Analyse en cycle de vie du Mistral Large 2

En janvier 2025, et après 18 mois d'utilisation, Large 2 a généré les impacts suivants :

- 20,4 ktCO₂e,
- 281 000 m³ d'eau consommée, et
- 660 kg Sb eq.

		Émissions de GES	Consommation d'eau	Consommation de ressources minérales
				
INFRASTRUCTURE	1  Conception du modèle Téléchargement et stockage des données d'entraînement, ordinateurs des développeurs et consommation d'énergie	<1%	<1%	<1%
	2  Construction du centre de données Construction des bâtiments et des équipements de support	<1%	<1%	1,5%
	3  Impacts du matériel (hors énergie) Fabrication, transport et fin de vie des serveurs	11%	5%	61%
FONCTIONNEMENT	4  Entraînement du modèle et inférence Consommation d'énergie et d'eau des serveurs et des équipements de support	85,5%	91%	29%
	5  Trafic du réseau Transfert des requêtes vers les clusters d'inférence et des réponses vers les utilisateurs	<1%	<1%	<1%
UTILISATION	6  Équipement des utilisateurs finaux Impacts du matériel et consommation d'énergie	3%	2%	7%
	7  Impacts indirects en aval Impacts indirects résultant de l'utilisation finale du modèle	N/C	N/C	N/C

Impact d'une page de texte généré (400 tokens)

GES Émissions de gaz à effet de serre	Consommation d'eau	Consommation de ressources minérales
		
1,14 g de CO ₂ e	0,05 L d'eau	0.2 mg équivalent antimoine (Sb eq)
Les émissions générées en regardant du streaming en ligne pendant 10 secondes*	L'eau nécessaire à la pousse d'un petit radis rose	Les ressources nécessaires à la production d'une pièce de 2 centimes d'euro
		

Tendances difficiles à estimer



Tailles futures des modèles



Nombre d'utilisateurs (particuliers et professionnels)



Temps passé par les utilisateurs avec l'IA de génération
(nombre d'applications sur nos équipements, etc.)



Nombre de réapprentissage



Effets secondaires de l'IA (obsolescence accélérée de
nos équipements, influence des consommateurs sur
la consommation, etc.)

...

Deux productions clés

- Référentiel général pour l'IA frugale – juin 2024
 - Définition de l'IA frugale
 - Méthodologie d'évaluation et de communication
 - Bonnes pratiques
- Kit d'engagement pour l'IA frugale
 - Premiers pas vers le référentiel

Définition d'une IA frugale

1

Evaluation de la pertinence de l'IA comparée à d'autres solutions

2

Evaluation environnementale et mise en œuvre de bonnes pratiques

3

Cas d'usage respectant les limites planétaires, avec priorisation de la contrainte en ressources



**MINISTÈRES
AMÉNAGEMENT
DU TERRITOIRE
TRANSITION
ÉCOLOGIQUE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

GESTION DE PROJET

KIT D'ENGAGEMENT POUR UNE INTELLIGENCE ARTIFICIELLE FRUGALE AU SEIN D'UNE ORGANISATION

15 bonnes pratiques
mises à disposition et soumises à consultation par
l'Ecolab du Commissariat Général au
Développement Durable (CGDD)

En partenariat avec



Version 1 - Juin 2025

Retrouvez ce kit
d'engagement et
contribuez



Bonnes pratiques

HARDWARE

1. **Obtenir** le maximum d'informations sur les ressources physiques pour le stockage de données et les calculs

SOFTWARE

2. **Qualifier** précisément le besoin métier et **définir** un niveau de performance de l'algorithme qui corresponde au besoin identifié

3. **Privilégier** des modèles d'IA les moins consommateurs de ressources

4. **Utiliser** des méthodes d'écoconception (ex: compression) des algorithmes

5. **Privilégier** le réemploi de briques technologiques

DONNEES

6. **Construire** des bases de données les plus qualitatives possible

7. **Définir** une politique de gestion de la donnée en termes de redondances et archivages

Bonnes pratiques

EVALUATION & COMMUNICATION

8. **Intégrer** les systèmes d'IA dans sa démarche globale de numérique responsable

9. **Suivre** les impacts avec des outils reconnus ou certifiés

10. **Réaliser** des évaluations sur l'ensemble du cycle de vie et plusieurs indicateurs environnementaux

11. **Afficher** les consommations énergétiques ou l'impact carbone d'une requête avec des équivalents remarquables

12. **Communiquer** et **partager** les bonnes pratiques mises en œuvre

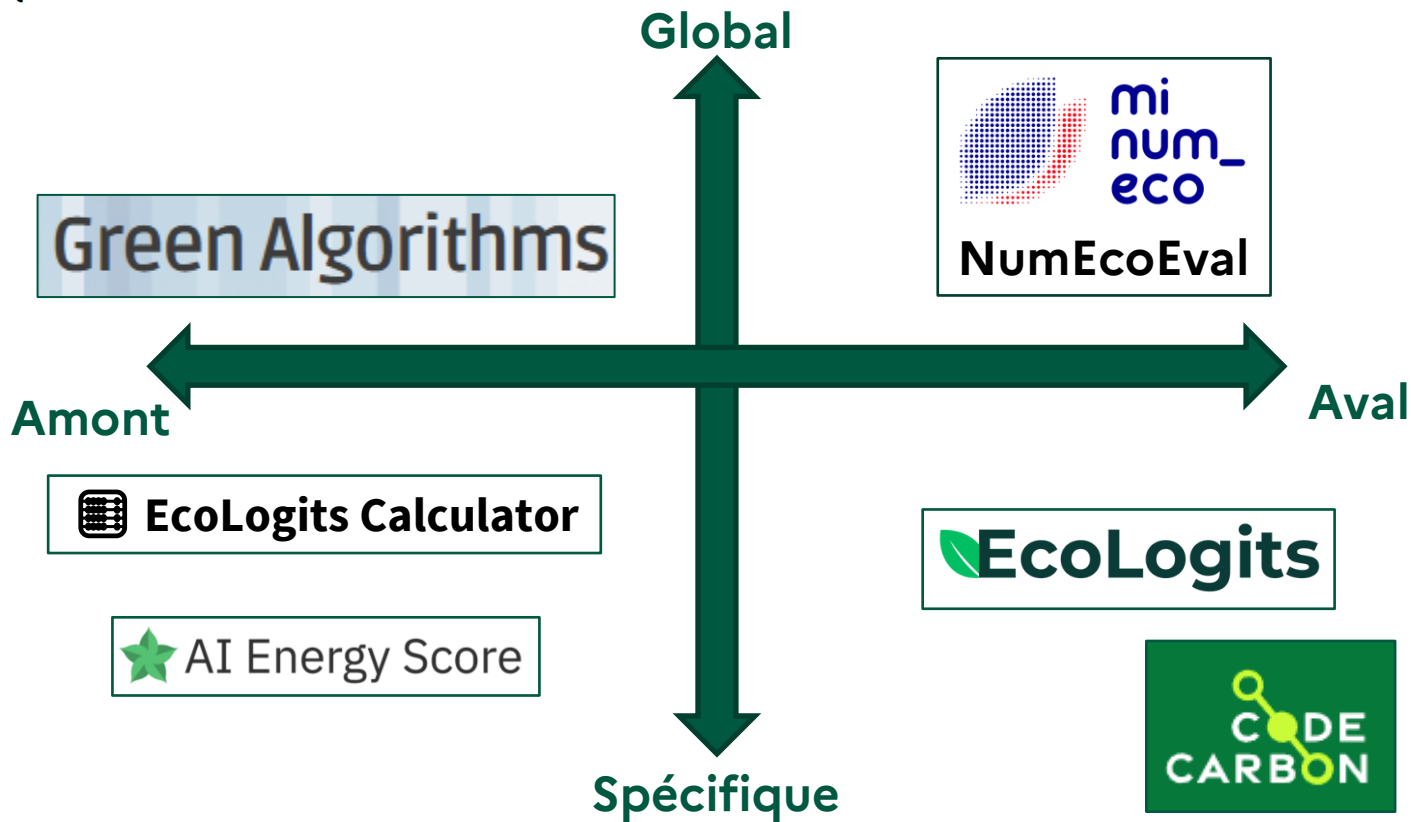
GESTION DE PROJET & GOUVERNANCE

13. **Organiser** une revue des indicateurs d'impact environnemental au sein des comités de pilotage

14. **Organiser** des sessions de formation aux enjeux de frugalité de l'IA.

15. **Désigner** un réfèrent IA frugale

Quels outils pour mesurer l'impact de l'IA ?





Un outil pour permettre l'évaluation multicritères et le pilotage de l'empreinte environnementale du numérique d'une organisation





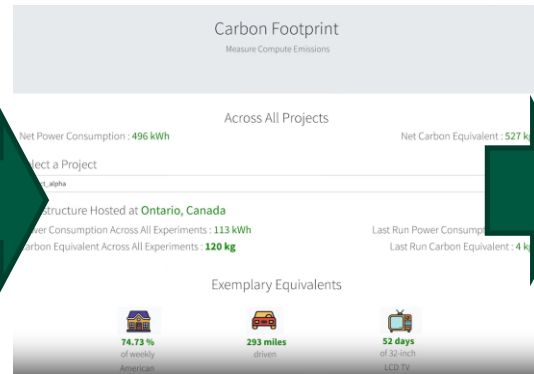
- Package Python
- Estime la quantité de CO2 produite par les ressources cloud ou informatiques personnelles utilisées pour exécuter le code.
- Indique aux développeurs comment réduire leurs émissions en optimisant leur code ou en hébergeant leur infrastructure cloud dans des zones géographiques utilisant des sources d'énergie renouvelables.

```
mnist.py x
1 import tensorflow as tf
2
3 from codecarbon import EmissionsTracker
4
5 mnist = tf.keras.datasets.mnist
6
7 (x_train, y_train), (x_test, y_test) = mnist.load_data()
8 x_train, x_test = x_train / 255.0, x_test / 255.0
9
10 model = tf.keras.models.Sequential([
11     tf.keras.layers.Flatten(input_shape=(28, 28)),
12     tf.keras.layers.Dense(128, activation='relu'),
13     tf.keras.layers.Dropout(0.2),
14     tf.keras.layers.Dense(10),
15 ])
16
17 loss_fn = tf.keras.losses.SparseCategoricalCrossEntropy
18 model.compile(optimizer="adam", loss=loss_fn)
19
20 tracker = EmissionsTracker()
21 tracker.start()
22 model.fit(x_train, y_train, epochs=10)
23 tracker.stop()
24 print(f"Emissions: {tracker.get_emissions()} kg")
```

```
tf.keras.layers.Dropout(0.2),
tf.keras.layers.Dense(10),
)

loss_fn = tf.keras.losses.SparseCategoricalCrossEntropy
model.compile(optimizer="adam", loss=loss_fn)

tracker = EmissionsTracker()
tracker.start()
model.fit(x_train, y_train, epochs=10)
tracker.stop()
print(f"Emissions: {tracker.get_emissions()} kg")
```

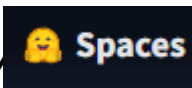




- Package Python
- Suit la consommation d'énergie et les impacts environnementaux d'une requête API adressée à un service GenAI (fournisseur tiers)

EcoLogits Calculator :

- Estimer les impacts environnementaux de l'inférence LLM



Estimate the environmental impacts of LLM inference

Provider	Model	Example prompt
OpenAI	GPT-4o	Small conversation with a chatbot (400 output tokens)

⚠ You have selected a closed-source model. Please be aware that some providers do not fully disclose information about such models. Consequently, our estimates have a lower precision for closed-source models. For further details, refer to our FAQ in the About section.

Environmental impacts

To understand how the environmental impacts are computed go to the [Methodology](#) tab.

Energy	GHG Emissions	Abiotic Resources	Primary Energy
35.1 Wh	21.4 gCO ₂ eq	4.98e-08 kgSbeq	359 kJ
Evaluates the electricity consumption	Evaluates the effect on global warming	Evaluates the use of metals and minerals	Evaluates the use of energy resources



AI Energy Score

- Leaderboard & Label
- Évaluations comparables de l'efficacité énergétique des modèles d'IA
- Hugging Face, en collaboration avec
 - Salesforce
 - Cohere
 - Carnegie Mellon University

AI Energy Score

Model
**Berkeley-nest
Starling-LM-7B-alpha**

Scored February 2025
 Task Text Generation
 Hardware NVIDIA H100-80GB

Inference Energy (Wh) per 1k tasks **19.01**

Energy Score

Learn More: tiny.cc/AIEnergy

AI Energy Score

[Text Generation](#)
[Image Generation](#)
[Text Classification](#)
[Image Classification](#)
[Image Captioning](#)
[Summarization](#)
[Automatic Speech Recognition](#)

Select Model Class: A (Single Consumer GPU) <20B parameters
 Sort: Low to High

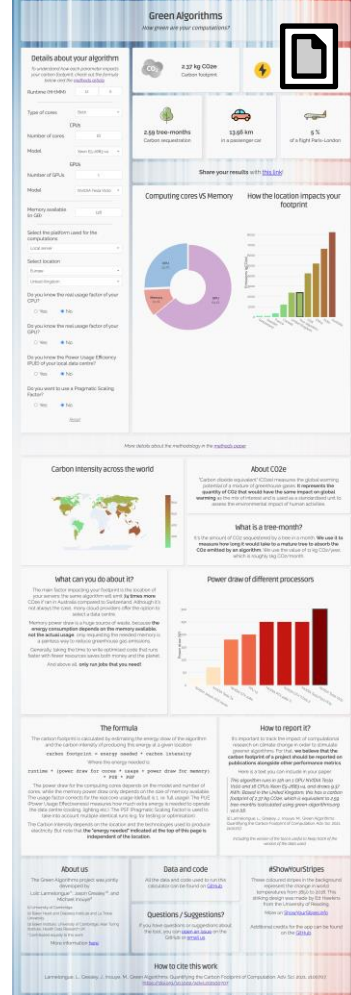
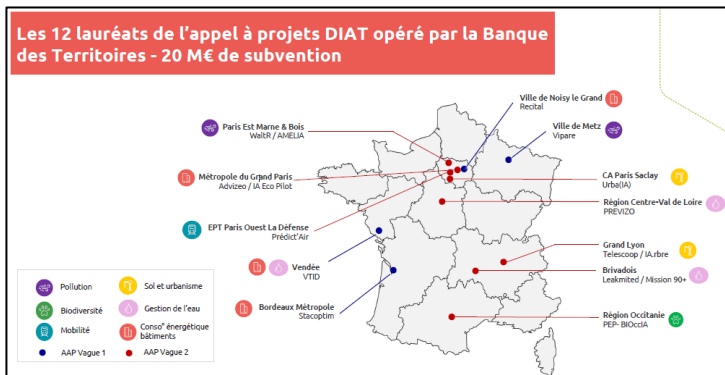
There's a 61,848.0x difference between the highest and lowest energy use in this leaderboard.
 There's a 21.9x difference between the highest and lowest energy use in this class.

Model	Provider	GPU Energy (Wh)	Score
distilgpt2	distilbert	1.31	★★★★★
opt-125m	facebook	1.94	★★★★★
gpt2	openai-community	2.15	★★★★★
openai-gpt	openai-community	2.70	★★★★★
gpt2-medium	openai-community	3.96	★★★★★
OLMo-1B-hf	allenai	5.59	★★★★★
gpt2-large	openai-community	6.12	★★★★★
phi-1.5	microsoft	6.28	★★★★★

Green Algorithms

- Enquête en ligne
- Quantification de l'empreinte carbone du calcul
- Nouvelle page dédiée aux calculs liés à l'IA
- Divisée en phases d'apprentissage et d'inférence

→ Exigé dans le cadre de l'AAP "Démonstrateur d'IA frugale dans les territoires" (France 2030)



Notre plan d'action

- Poursuivre l'intégration de critères environnementaux dans le financement des projets
- Encourager l'utilisation de critères environnementaux dans les marchés publics
- Inciter les entreprises à adopter les meilleures pratiques d'IA frugale
- Adopter des méthodologies standardisées pour l'évaluation environnementale de l'IA au niveau européen
- Inscrire l'IA et l'environnement au cœur des discussions internationales

How to include environmental sustainability criteria in national AI funding schemes?
Reflecting on the example of France and the Green Algorithms tool.

Lanneiongue, Loïc¹ ; Fropier, Juliette² ; Matencio, Even³

Show affiliations

Artificial intelligence (AI) is in the media spotlight for its potential to transform the economic and research sectors, among others. This drives funding bodies to support AI-based innovation, with for example the Horizon Europe and Digital Europe programmes run by the European Union, or France's investment strategy France 2030 (national strategy for AI). On the other hand, the environmental impacts of AI are now better understood, and we cannot ignore the role of AI on electricity and water usage, mineral resource depletion, and greenhouse gas emissions^{1,2}. To bring together innovation and sustainability, the French Department for the Environment (Ministère en charge de la Transition Écologique) has decided to require the use of the Green Algorithms tool for funding applications on the topic of AI and climate change. Applicants now have to include estimates of the carbon footprint and energy usage of the different development phases of the proposed AI solution. This was tested on a first funding call "Demonstrators of frugal AI for sustainable development of local communities". The first applications were received in December 2023, with positive feedback from the different stakeholders. Applicants in particular approved of this new criterion, as they understood its necessity, found the tool easy to use, and did not consider this to slow down innovation. Following this successful implementation in a first funding call, it was decided to include the Green Algorithms tool more systematically in the application guidelines of other AI-related funding calls run by the Department. The goal of this piece is to reflect on the inclusion of environmental criteria in AI funding calls and share the lessons learned with other funding bodies internationally to promote similar initiatives across the AI ecosystem.

COALITION FOR
SUSTAINABLE AI



MINISTÈRES
AMÉNAGEMENT
DU TERRITOIRE
TRANSITION
ÉCOLOGIQUE

*Liberté
Égalité
Fraternité*

2. COMMANDE PUBLIQUE

Fiche d'accompagnement

- 1) Quels sont les éléments à prendre en compte lors de **l'achat de solutions IA** dans une démarche numérique responsable ?
- 2) Comment intégrer la dimension responsable dans un **sourçage** relatif à l'achat d'une solution ou service lié à l'IA ?
- 3) Quelles **clauses numérique responsable** peuvent être ajoutées dans les pièces du marché ?

Quels sont les éléments à prendre en compte lors de l'achat de solutions IA dans une démarche numérique responsable ?

Le chef de projet et l'acheteur doivent questionner :

- La **nécessité** de faire appel à l'intelligence artificiel pour répondre au besoin défini
- La **valeur ajoutée** de l'IA par rapport à son impact environnemental et social

Si l'utilisation de l'IA est justifiée dans un contexte donné, un achat responsable consiste à sélectionner le service le plus adapté au regard du besoin :

- **Le type de modèle et le nombre de paramètres** doivent être adaptés au besoin en fonction de la précision et de la qualité attendue de la solution
- **Le volume de données utilisés pour l'apprentissage et le nombre d'entraînements ou réentraînements** doivent également être adaptés en fonction du niveau de qualité attendu
- **L'écoconception de la solution**, et notamment son hébergement sont également clés pour limiter son impact, au même titre que tout logiciel numérique.

Comment intégrer la dimension responsable dans un sourcing relatif à l'achat d'une solution ou service lié à l'IA ?

- La solution a-t-elle fait l'objet d'une publication de déclarations d'écoconception et d'accessibilité s'appuyant sur les référentiels existant (RGESN , Guide AFNOR pour une IA frugale) ?
- L'impact environnemental de la solution a-t-il été évalué lors de sa phase d'entraînement comme d'inférence ? Le fournisseur s'engage-t-il à limiter le nombre de réentraînements à venir ?
- Pour un éditeur de solution IA : Une politique de gestion des données a-t-elle été mise en place pour assurer le respect du RGPD et limiter l'impact environnemental associé ?
- Quels sont les scores sur les indicateurs témoignant de l'efficacité des data centers (PUE, WUE, CUE, taux d'énergie renouvelable dans le mix électrique alimentant le data center) et de l'architecture serveur (taux d'utilisation des serveurs) ?
- Quels sont les outils et ressources mis à disposition pour faciliter la conception de solutions d'Intelligence Artificielles plus responsables (outils de mesure, modèles pré-entraînés, bases de données structurées...) ?
- Quel est le taux et le niveau de formation des équipes travaillant sur le logiciel à l'écoconception et à l'accessibilité ?
- Existe-t-il une démarche RSE ou Numérique Responsable au sein de l'entreprise ?

Sourcing

Question	Réponse attendue	Analyse de la réponse
L'utilisation d'une IA pour répondre aux besoins couverts par votre solution est-elle justifiée ? Explicitiez-vous dans quel cadre cette utilisation est pertinente au regard de la consommation de ressources qu'elle engendre ?	Explication détaillée Cadre d'utilisation optimal	L'IA est une technologie puissante mais couteuse en ressource. Il convient de questionner son intérêt par rapport à d'autres solutions non IA et d'expliciter les conditions dans lesquelles elle amène un bénéfice suffisant. Une réponse détaillée et explicitant un cadre d'utilisation montre une réflexion approfondie sur la pertinence de l'IA dans le contexte donné.
Mesurez-vous l'empreinte environnementale de l'IA développée lors de ses différents entraînements ? Si oui, quelle est la méthodologie utilisée et quels sont les indicateurs ?	Oui / Non Description de la méthodologie et des indicateurs	Mesurer l'empreinte environnementale permet de comprendre l'impact des systèmes d'IA sur les ressources naturelles et de mettre en place des stratégies pour le réduire. Les entraînements représentent une empreinte élevée du fait du traitement d'un grand nombre de données.

Clause du Cahier des clauses techniques particulières

Ex : Ré-entraînement des modèles

Le fournisseur s'engage à fournir des informations détaillées sur la fréquence de réentraînement de ses modèles d'intelligence artificielle (IA). Cette transparence inclut :

- La fréquence exacte à laquelle les modèles d'IA sont réentraînés.
- Les raisons justifiant chaque réentraînement, en lien avec les besoins spécifiques des utilisateurs.
- Les impacts environnementaux associés à chaque réentraînement, incluant la consommation énergétique et les émissions de CO2.

De plus, le fournisseur s'engage à :

- Limiter le nombre de réentraînements aux stricts besoins des utilisateurs, afin de minimiser l'impact environnemental et d'optimiser l'utilisation des ressources.
- Mettre en place des mécanismes de suivi et d'évaluation pour déterminer l'efficacité des réentraînements et leur pertinence par rapport aux besoins des utilisateurs.
- Fournir des rapports réguliers sur les réentraînements effectués, incluant des données quantitatives et qualitatives sur les améliorations apportées et les impacts environnementaux.

Enfin, le fournisseur doit explorer et mettre en œuvre des techniques d'optimisation pour réduire la nécessité de réentraînements fréquents, telles que :

- L'utilisation de techniques de transfert d'apprentissage pour maximiser l'efficacité des modèles existants.
- L'amélioration continue des algorithmes pour réduire la dépendance aux réentraînements.
- La collaboration avec les utilisateurs pour identifier les besoins réels et éviter les réentraînements superflus.