

# Évaluation environnementale de projets impliquant des méthodes d'IA

**Coordination pour EcolInfo** : Laurent Lefèvre (LIP, INRIA, CNRS), Anne-Laure Ligozat (Université Paris-Saclay, CNRS, ENSIIE, LISN), Denis Trystram (Université Grenoble Alpes, Grenoble INP, CNRS, Inria)

**Contributions** : Sylvain Bouveret (Univ. Grenoble-Alpes, CNRS, Grenoble INP, LIG), Aurélie Bugeau (Univ. Bordeaux, CNRS, Bordeaux INP, LaBRI), Jacques Combaz (Univ. Grenoble Alpes, CNRS, Grenoble INP, VERIMAG), Emmanuelle Frenoux (Université Paris-Saclay, CNRS, Polytech Paris-Saclay, LISN), Gaël Guennebaud (Inria Bordeaux), Julien Lefèvre (Aix Marseille Univ., CNRS, INT, Inst Neurosci Timone), Jean-Philippe Nicolai (GAEL, Grenoble INP)

**Contact** : [anne-laure.ligozat@lisn.upsaclay.fr](mailto:anne-laure.ligozat@lisn.upsaclay.fr)

**Version** du 15 mars 2022

## Introduction

L'objectif de ce document est de fournir des critères pour l'évaluation des impacts environnementaux des réponses aux appels à projet impliquant des méthodes d'Intelligence Artificielle (IA). Lors de la proposition de ces critères, nous prenons en compte, en plus des impacts généraux des services numériques, les spécificités du domaine de l'IA et en particulier de l'apprentissage automatique : impacts des phases d'apprentissage et d'inférence, collecte des données...

Ce document est organisé en deux parties. La première partie contient la liste des questions proposées pour les répondants aux appels à projet. Afin que les répondants puissent répondre à ces questions sans contresens et de manière la plus pertinente possible, et afin que les évaluateurs puissent juger le mieux possible de la pertinence de ces réponses et les prendre en compte dans leur décision, nous avons rédigé en deuxième partie une notice explicative destinée à accompagner les questions posées aux répondants.

La rédaction de ce document fait suite à une demande explicite du Ministère de la Transition Écologique auprès du GDS EcolInfo.

## 1. Questions aux répondants

Dans la suite, nous parlerons de *proposition* pour désigner une réponse à l'appel à projet. Nous chercherons à évaluer les impacts environnementaux de la partie numérique de cette

proposition, que nous appellerons *service*, et en particulier des méthodes d'Intelligence artificielle.

Dans la suite, les répondants peuvent répondre *N/A* si un critère n'est pas éligible pour leur proposition.

## Impacts des équipements numériques de la proposition

Dans cette partie, on souhaite prendre en compte les équipements numériques utilisés pendant la conception du service et pendant son utilisation, à la fois par le répondant, le fournisseur du service et par les utilisateurs du service.

### Énergie grise et fin de vie des équipements numériques

Faire un inventaire du matériel numérique permettant la mise en place de la proposition, en prenant en compte les phases indiquées dans le document de cadrage. Dans la colonne "Code fin de vie", indiquez, selon le code du second tableau ci-dessous, comment les équipements numériques utilisés lors de la création puis du déploiement de la proposition seront gérés et plus particulièrement, ce qu'il se passera lors de la fin de vie du matériel.

#### Énergie grise

Type de matériel numérique	Nombre d'équipements	Durée d'utilisation estimée (années)	Empreinte GES de la fabrication selon Ecodiag (version achat/flux, kgCO2e)	Code fin de vie

Code fin de vie	1	2	3	4	5	6
	Réemploi au sein de l'entreprise	Revente pour le réemploi	Revente pour recyclage	Filière de recyclage agréée (préciser)	Don pour le réemploi (préciser)	Autre (préciser)

## Énergie en phase d'usage

Prendre en compte les différentes phases de création et déploiement de la proposition, comme indiqué dans le document de cadrage: acquisition, traitement, transport et stockage des données, apprentissage du modèle et inférences (de test et en déploiement)

Caractérisation de la proposition

Existe-t-il une prévision sur le nombre d'instances du service vendu ?  
Quelle croissance est envisagée pour ce nombre ?

--

Ces chiffres sont à prendre en compte dans la suite du document.

Prendre en compte les différentes phases de création et déploiement de la proposition

Type d'algorithme. S'il s'agit d'un algorithme de Deep learning, préciser l'architecture envisagée (exemple : CNN, Transformer...)	
Nombre de paramètres du modèle (ordre de grandeur)	
Nombre d'entraînements prévus sur toute la durée de vie du service (une fourchette peut être indiquée)	
Nombre prévu d'exécutions du modèle entraîné lors des tests et de l'utilisation du service (une fourchette peut être indiquée)	
Provenance des données utilisées pour la création et le déploiement du modèle	
Type d'algorithme de traitement ou d'augmentation de données (nettoyage, gestion de base de données...)	
Mise à disposition éventuelle de données (préciser lesquelles)	

Calcul

Nombre d'heures estimées	Type de matériel/infrastructure utilisée (préciser le	PUE de l'infrastructure si pertinent et	Localisation du matériel ou de l'infrastructure	Empreinte selon Green
--------------------------	---	---	---	-----------------------

	fournisseur de cloud le cas échéant)	connu		Algorithms <sup>1</sup> (kgCO2e)
CPU				
GPU ou équivalent				

#### Données

Type de données	Quantité de données stockées (si création de flux de données, indiquer par exemple quantité prévue / an)	Durée de stockage	Type de matériel/infrastructure utilisée (préciser le fournisseur de cloud le cas échéant)	PUE de l'infrastructure si connu	Localisation du matériel ou de l'infrastructure	Quantité de données transférées / an

#### Justification de la méthode proposée

Les méthodes d'IA sont-elles bien ajustées au contexte considéré ? Quels sont les bénéfices attendus tant sur le plan sociétal que technologique (performance, qualité de service...) et les impacts environnementaux par rapport à d'autres méthodes ?

Quelle est la résilience environnementale du service, en cas de coupure de réseau ou de rupture d'approvisionnement matériel ou énergétique par exemple ?

#### Impacts environnementaux liés aux modifications comportementales, économiques, ou sociétales induites par la proposition

Cette section est à remplir **uniquement dans le cas de services d'IA ayant pour objectif des bénéfices environnementaux**. Ces bénéfices ne prennent souvent pas en compte les

<sup>1</sup> <http://www.green-algorithms.org/>

modifications comportementales, économiques, ou sociétales induites par la proposition et ayant des conséquences environnementales.

### Préciser le scénario de référence

Les notions de bénéfices environnementaux mais aussi d'impacts environnementaux négatifs reposent sur l'idée d'une comparaison entre deux situations : un scénario de référence qui ne fait pas intervenir l'IA et un scénario dans lequel l'IA est déployée. Préciser brièvement ces scénarios.

Scénario de référence

--

Scénario impliquant l'IA

--

### Identification des impacts potentiels

Dresser ci-dessous une liste qualitative des effets potentiels que l'on peut attendre de la proposition: effets d'obsolescence, d'effets rebond directs ou indirects, de transformations sociétales, etc. Ici le terme « effets potentiels » de la proposition est à prendre dans un sens large : il peuvent être induits par la proposition elle-même ou être en lien avec la ou les technologies dans lesquelles elle s'inscrit.

Effets potentiels

Nature de l'effet	Brève description de l'effet	Types d'impacts environnementaux

### Prévention des effets potentiels

Pour chaque effet mentionné précédemment, préciser, le cas échéant, ce qui est prévu comme contre-mesure pour l'atténuer ou l'annuler, et indiquer l'efficacité qu'on peut attendre de cette contre-mesure. On parle de contre-mesure lorsqu'il s'agit d'agir directement sur l'effet en question. Ainsi ne sont pas considérées comme des contre-mesures tout mécanisme de compensation environnementale.

Contre-mesures

Effet	Contre-mesure	Efficacité attendue

## 2. Notice explicative

### Impacts des équipements numériques de la proposition

Les impacts des équipements numériques de la proposition sont dûs au cycle de vie de tous les équipements nécessaires pour créer et déployer le projet proposé: extraction des matières premières, fabrication, transport et fin de vie d'une part (énergie grise), et utilisation d'autre part.

Dans le cas d'une proposition impliquant des méthodes d'Intelligence Artificielle, on peut aussi distinguer les impacts dûs aux différentes phases de création et déploiement de la proposition : acquisition, traitement, transport et stockage des données, apprentissage du modèle et inférences (de test et en déploiement)<sup>2</sup>.

On prendra en compte les calculs et stockage qui se font sur des équipements en interne ou chez les clients (matériel connu), et ceux qui se font sur des équipements distants, cloud notamment.

Le tableau "Énergie grise" vise à estimer l'impact de l'extraction des matières premières, de la fabrication, du transport et de la fin de vie de tous les équipements numériques nécessaires à la proposition.

Le tableau "Caractérisation de la proposition" permet de comprendre le type de service qui va être mis en place et vise à avoir une idée des scénarios d'évolution du service proposé. Les questions portant sur le nombre attendu d'instances du service vendu ainsi que la croissance prévue visent à estimer la sobriété d'un service, qui ne repose pas que sur l'efficacité d'une seule instance mais bien sur le produit de l'efficacité unitaire par l'usage global.

Le tableau "Calcul" vise à estimer l'impact qu'auront les calculs associés, aussi bien en phase de création du service (de l'acquisition des données aux tests du modèle) qu'en phase de déploiement (apprentissage éventuels et inférences dans le service mis en oeuvre en interne et chez les clients). Schématiquement l'empreinte carbone liée à la consommation d'énergie dynamique pour l'entraînement et inférence d'un modèle peut être calculée ainsi:

- $E_{total} = PUE \times \Sigma E_{ressource}$  avec  $E_{total}$  la consommation d'énergie dynamique liée aux calculs, PUE (power usage effectiveness) l'indicateur d'efficacité énergétique

---

<sup>2</sup> Voir <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03376391/document> et <https://arxiv.org/pdf/2110.11822.pdf> pour plus d'informations.

de l'infrastructure pris en compte lors de l'usage d'un centre de données<sup>3</sup>, et Eressource la consommation ressource pour le processus, les ressources prises en compte étant généralement les suivantes : CPU, GPU et DRAM

- puis  $CO2eq = E_{total} \times FE$  avec  $CO2eq$  l'empreinte carbone et  $FE$  le facteur d'émission de l'électricité, qui permet de convertir une consommation d'électricité en émissions de gaz à effet de serre correspondante, et dépend donc du mix énergétique du lieu où sont effectués les calculs et de la période à laquelle le programme est lancé.

Le tableau "Données" vise à déterminer l'empreinte carbone liée au stockage et transport des données nécessaires à la création et au déploiement du service.

La partie "Justification de la méthode proposée" vise à estimer la nécessité du service proposé et à juger du rapport coûts/bénéfices en termes environnementaux. Par exemple, dans le domaine de l'apprentissage profond, des travaux ont pu questionner des gains de performance très limités au regard du temps de calcul et de l'énergie déployée pour cela. Vous pourrez vous appuyer sur une courte bibliographie (5 références maximum) pour restituer brièvement la méthode proposée par rapport à des méthodes antérieures ou analogues.

La question sur la résilience vise à appréhender les capacités du service à fonctionner dans un contexte matériel dégradé (coupures réseau, coupures d'énergie, downgrading matériel).

## Impacts environnementaux liés aux modifications comportementales, économiques, ou sociétales induites par la proposition

Certaines propositions peuvent avancer des bénéfices environnementaux. Par exemple, on considère en général que les bâtiments intelligents vont permettre de réduire leur consommation énergétique. La plupart du temps, ces bénéfices environnementaux sont estimés en faisant l'hypothèse simplificatrice que le service basé sur la l'IA ne fait que remplacer ou optimiser un service de référence, et qu'il n'a aucun autre effet sur les habitudes, les comportements, les équilibres économiques, les dynamiques sociétales. Cette section vise à étudier les *effets* liés aux modifications comportementales, économiques, ou sociétales induites par la proposition, en particulier celles qui avancent des bénéfices environnementaux.

Le tableau "Effets potentiels" vise à dresser la liste des effets potentiels en lien avec la proposition. Ces effets étant beaucoup plus difficiles à quantifier que ceux dûs au cycle de vie des équipements, l'objectif ici n'est pas de réaliser un bilan environnemental global (qui nécessiterait de les quantifier exhaustivement), mais plutôt de pointer qualitativement les effets potentiels. Ici le terme « effets potentiels » de la proposition est à prendre dans un sens large : il peuvent être induits par la proposition elle-même ou être en lien avec la ou les technologies dans lesquelles elle s'inscrit. Prenons l'exemple du véhicule autonome qui

---

<sup>3</sup> PUE moyenné sur une année

utilise massivement l'IA pour assurer son fonctionnement. Un service de « *platooning* » permet, entre autres, de réduire la consommation au kilomètre des véhicules. Les effets potentiels concernent la service de « *platooning* » elle-même mais aussi ceux du véhicule autonome dans la mesure où le « *platooning* » nécessite l'autonomie. Des exemples d'effets potentiels du « *platooning* » et du véhicule autonome se trouvent ci-dessous.

#### Exemples d'effets potentiels

Nature de l'effet	Description de l'effet	Types d'impacts environnementaux
Effet d'obsolescence	renouvellement accéléré du parc de véhicules du fait de l'évolution très rapide de la performance des modes autonomes d'une génération à l'autre de véhicule	liés à la fabrication des véhicules : changement climatique, épuisement des ressources...
Effets rebond direct	augmentation des distances parcourues du fait de la baisse des coûts d'utilisation (« <i>platooning</i> »), de la valorisation des temps de trajet (grâce aux activités réalisées pendant les trajets : travail, repos, loisir...), de la plus grande accessibilité (les enfants, les personnes âgées, et même les objets auront accès à l'automobile), de l'auto-parking...	changement climatique (augmentation des émissions de gaz à effet de serre)
Effet rebond indirect	les gains économiques dus au « <i>platooning</i> » sont re-dépensés par les usagers dans des produits ou des services à fort impact environnemental (trajets en avion...)	fonction des produits/services
Transformations sociétales	la mobilité induit des changements dans les habitudes de déplacement, de l'étalement urbain	changement climatique (émissions de gaz à effet de serre), perte de biodiversité due à l'artificialisation au mitage