



INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

& PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

LE PARADOXE D'UNE TECHNOLOGIE ÉNERGIVORE
AU SERVICE DES DÉFIS ÉCOLOGIQUES DE DEMAIN

LIVRE BLANC

PRÉFACE DE MYRIAM MAESTRONI

Open.
Studio

Remerciements

Ce livre blanc a été nourri de rencontres avec des passionnés, qu'ils soient spécialistes de l'IA, écologistes convaincus ou entrepreneurs visionnaires. Avec leurs témoignages, ils nous ont aidés à soulever de nombreuses questions autour de l'IA et de la problématique environnementale. Ils nous ont interpellés, fait réfléchir et prendre du recul sur cette technologie encore complexe à cerner. Tous nos intervenants se sont montrés enthousiastes à l'idée de participer à cet ouvrage et nous avons eu à cœur de relayer leurs paroles dans le respect des idées de chacun.

Nous tenions ainsi à remercier Cédric Vasseur de nous avoir éclairés sur le futur de l'IA. Un grand merci également à Vincent Courboulay pour son intervention *numérique responsable* indispensable. Nos remerciements vont aussi à Félix Michaud qui nous a livré son point de vue sur l'IA et la biodiversité depuis les Etats-Unis. Merci à Adélaïde Albouy-Kissi avec qui nous avons eu plaisir à échanger sur son projet d'IA des territoires. L'idée de ce livre était aussi de montrer des exemples d'applications concrètes de l'IA en faveur de l'environnement, nous remercions donc tous les dirigeants et chefs d'entreprises qui ont répondu présents à nos sollicitations : Laurent Bernard (Ecojoko), Aline Bsaibes (ITK), Andréas Von Kaenel (Cortexia) et Alexandre Alaimo (Odeven).

Un dernier mot pour remercier Myriam Maestroni, Fondatrice d'Economie d'Energie et Présidente du Fonds de Dotation E5T, qui partage nos convictions et nous a fait l'honneur de signer la préface de ce livre.

Sommaire

Préface	5
----------------	----------

OpenStudio	12
-------------------	-----------

L'offre Intelligence Artificielle d'OpenStudio	13
--	----

Les contributeurs	14
-------------------	----

Intervenants	15
---------------------	-----------

Introduction	20
---------------------	-----------

Le potentiel de l'IA	23
----------------------	----

Les espoirs de l'IA pour l'environnement	24
--	----

La nécessité d'une IA responsable	27
-----------------------------------	----

Le développement de l'IA	32
---------------------------------	-----------

Comment définir l'IA ?	33
------------------------	----

Une histoire qui ne date pas d'hier	37
-------------------------------------	----

Deep learning, l'innovation qui a tout changé	39
---	----

Les limites de l'IA	40
---------------------	----

L'émergence de l'AI for Green	42
--------------------------------------	-----------

Les Smart cities	45
------------------	----

Diminuer la pollution des villes	45
----------------------------------	----

Gérer la propreté des villes	49
------------------------------	----

Gérer intelligemment l'énergie et l'aménagement en zone urbaine	53
---	----

Économiser l'énergie	54
----------------------	----

Comprendre le climat pour favoriser les énergies renouvelables	54
--	----

Accroître l'efficacité énergétique	56
------------------------------------	----

Limitier les dépenses énergétiques du numérique	58
---	----

Une agriculture connectée et responsable	61
Lutter contre le gaspillage alimentaire	62
Éviter la surconsommation d'eau et de pesticides	64
Prévoir les catastrophes naturelles et s'adapter aux changements climatiques	67
Limitier l'impact du changement climatique sur l'agriculture	68
Protéger la population des espaces urbanisés	70
Analyser l'impact des catastrophes naturelles sur la nature	71
Préserver l'écosystème de la planète	73
Lutter contre l'appauvrissement de l'écosystème marin	73
Sauvegarder la faune et la flore dans les terres	77
Transports autonomes et mobilité durable	82
Économie locale et durable	84

Problématiques environnementales de l'IA 90

L'écran de fumée de l'immatérialité du numérique	91
Le numérique, fossoyeur de ressources naturelles rares	95
Des centres de données voraces en énergie	97
Des déchets électroniques qui s'amoncellent	99
L'effet rebond du numérique	101
Les pratiques abusives du numérique	105
L'obsolescence programmée	105
Numérique utile contre Numérique futile	110
Obésité numérique : un régime s'impose	113
Développer une IA verte	115
Éco-conception de l'IA	122
Des composants électroniques optimisés pour l'IA	123
Des centres de données eco-responsables	126

Conclusion 128

Références 132

Préface

Myriam Maestroni

Fondatrice d'Economie d'Energie

Présidente et Fondatrice du Fonds de Dotation E5T (www.e5t.fr)



En tout premier lieu, je voudrais pouvoir partager combien j'ai été heureuse et honorée de faire partie des premiers lecteurs de ce livre blanc et, a fortiori, de m'en voir confier le soin de le préfacer.

Il y a, au moins, quatre bonnes raisons différentes pour lesquelles j'ai accepté et pris plaisir à réfléchir sur cette approche innovante qui pose, dès le titre de l'ouvrage, les bases d'une thématique au cœur de l'actualité et des orientations visant à construire un monde post-carbone : l'intelligence artificielle et l'environnement.

La première est de pouvoir rendre hommage au talent, au travail, à la persévérance, et à l'expérience, patiemment accumulée au fil des années, d'Arnault Pachot qui en est l'auteur. J'ai rencontré Arnault il y a déjà bien longtemps et, en tout état de cause, bien avant que l'on imagine seulement pouvoir - sans doute aujourd'hui faudrait-il ajouter devoir - conjuguer transition énergétique avec transition numérique, d'une part, et commencer à évoquer le rôle de l'Intelligence Artificielle (IA) et le lien avec l'environnement d'autre part. On est d'ailleurs toujours actuellement dans une phase où ces associations sont encore balbutiantes. Il fallait du courage et de l'engagement pour s'attaquer à ce sujet. De nos jours, il est suffisam-

ment rare de rencontrer des professionnels qui trouvent le temps et l'énergie pour se lancer dans la recherche, pour qu'il me semble opportun de le signaler en propos initial. En effet, Arnault Pachot est un entrepreneur consciencieux, sensible à la culture du travail en équipe, soucieux de ses collaborateurs, et, il a, surtout, contribué à développer au fil des années, au Puy-en-Velay, une belle société, OpenStudio, qui a su créer des emplois du nouveau monde au cœur d'un territoire plutôt connu pour son histoire et sa gastronomie, que pour sa capacité à écrire des chapitres du grand livre de la nouvelle économie. Je sais combien les travaux d'Arnault sauront trouver un écho et devenir inspirants pour ses associés, ses collègues, ses collaborateurs ou encore ses clients, et, ainsi, devenir une pierre à l'édifice des contributions, des actions et des solutions en marche pour accélérer la logique de renouveau du monde qui sera post-carbone ou ne sera pas.

La deuxième raison, est, que ce livre blanc s'appuie sur des expériences nombreuses de personnalités remarquables dans le domaine encore presque tout neuf de l'Intelligence Artificielle. On sent dans chaque témoignage une réflexion profonde, une volonté d'être précis dans un domaine qui est en pleine progression, et qui nous met au défi de générer de nouvelles ressources en poussant nos façons habituelles de penser en dehors de leurs zones de confort. Aussi, à ces endroits là on a besoin de se sentir guidés par des personnes qui savent de quoi elles parlent. Cela explique que je pense important de rendre également hommage aux contributeurs de ce livre blanc qui ont rivalisé d'efforts pour rendre accessible les clés d'un futur qui s'écrira avec d'autres alphabets que ceux que nous connais-

sons bien. Les témoignages et les décryptages sont clairs, inspirants, et sincères. L'objectivité scientifique semble être de rigueur et du coup laisse un espace critique pour exposer les limites dont la voracité énergétique des centres de données, le problème des métaux rares indispensables, les déchets électroniques qui s'amoncellent ou encore les effets rebond. J'ai pour habitude de répéter, toujours convaincue des vertus de la psychologie positive que « problème bien posé à demi résolu »... Alors à défaut d'avoir identifié toutes les solutions, les clés pour chercher comment conjuguer les bénéfices de ces nouvelles ressources sans devoir payer le prix fort fera partie de l'équation qui comporte encore quelques inconnues. Merci à tous les experts et chercheurs de nous accompagner dans les terra incognita en gardant à l'esprit la leçon rabelaisienne plus pertinente que jamais selon laquelle « science sans conscience n'est que ruine de l'âme ».

La troisième raison concerne la question de l'environnement à l'honneur dans cet ouvrage. Tout au long de ma carrière professionnelle qui m'a fait évoluer du secteur du pétrole et du gaz, représentants de l'ancien monde, vers l'efficacité énergétique et plus largement la transition énergétique je n'ai jamais perdu de vue la question de l'environnement ou plutôt du rapport que nous, les êtres humains, entretenons à la nature et à notre planète. J'ai commencé tôt, puisque dès le début des années 90 je me suis retrouvée à devoir prendre en compte le trou dans la couche d'ozone, alors jugée comme combat prioritaire de l'écologie. C'était une entrée en matière qui, pourtant, ne m'avait pas du tout préparée à la façon dont le réchauffement climatique, à peine évoqué alors, dans quelques cénacles

d'experts très en pointe, allait, et surtout dans des délais aussi rapides, venir bouleverser notre quotidien. J'ai commencé à comprendre dès le tout début des années 2000. On se souvient d'ailleurs, que la mesure du problème était prise, à peine vers la moitié des années 2000, avec ce film documentaire d'Al Gore, *Une Vérité qui dérange*. On atteignait alors un « tipping point », ce point de non-retour qui nous faisait comprendre que nous devenions, et allions devenir tous les jours davantage, bourreaux, victimes et, potentiellement, sauveurs, des conditions qui rendent possibles le miracle de la vie sur Terre. À partir de ce moment-là, nous avons franchi un palier de conscience, en comprenant que notre rapport premier au monde était lié à notre capacité de respirer un mélange rare et précieux à base d'oxygène et qui contenait d'autres composantes chimiques invisibles, parfois favorables à notre santé et parfois, souvent, trop souvent, dommageables, et à la présence d'eau naturelle. Nous comprenions que la terre était une réalité en perpétuel mouvement. Les lignes de notre monde étaient sans cesse remodelées avec des côtes qui se retraçaient, des îles qui apparaissaient, d'autres qui disparaissaient, des mers qui s'asséchaient, des forêts qui rétrécissaient, des déserts qui s'étaient... pour ne citer que quelques exemples. Nous découvrions que l'excès de CO₂ et autres gaz à effet de serre, qui s'accumulaient notamment comme produits de la combustion des énergies fossiles, créaient le désormais bien connu effet de serre, responsable du réchauffement de la planète.

Nous réalisons, en payant le prix fort, que ce réchauffement, s'intensifiait avec des manifestations climatiques de plus en plus fréquentes et violentes : incendies de plus en plus difficiles à maîtriser et meurtriers, inondations dévastatrices, orages violents, ouragans, cyclones, mais aussi acidification des océans, fonte des calottes polaires, etc. Nous découvrons combien les souffrances de notre planète nous affectaient avec des victimes, du « règne humain et animal » de plus en plus nombreuses et désespérées, et le lot de conséquences que cela suppose : des logements détruits, la biodiversité, premier bouclier contre les zoonoses, mise à mal, stress hydrique rendant la vie impossible sur des zones entières de la planète, conditions extrêmes avec le mercure qui franchit d'années en années de nouveaux record et des villes qui ont atteint des niveaux de plus de 75°C. Nous commençons à nous souvenir, que la vie humaine est un épiphénomène d'un peu plus de 200.000 ans sur une planète vieille de 4,5 milliards d'années... et qui tous les jours court le risque d'être effacée. Comment faire l'impasse sur la question de l'environnement quand on sait ce que représente le défi de corriger la trajectoire du réchauffement et donc des Accords de Paris ? On parle encore trop souvent de la transition digitale ou de l'IA sans aborder les interactions avec l'environnement... pour le pire qui doit être pris en compte mais aussi pour le meilleur...

La quatrième raison est d'ailleurs en lien avec cette dernière dimension. C'est le rôle du numérique dans le combat contre le changement climatique, puisqu'il fait partie du problème, mais aussi de la solution. C'est une idée condensée dans un des propos de l'ouvrage, qui nous interpelle sur le numérique utile contre le numérique futile. L'IA, qui fascine autant qu'elle inquiète, se positionne sur le marché du green, s'invente des terrains de jeu et des labels bio. « D'après le chercheur en IA, Kai-Fu-Lee, l'IA fait partie du groupe très fermé des Technologies à portée majeure, c'est-à-dire d'inventions appelées à bouleverser notre système économique à grande échelle comme l'électricité ou les TIC. Par sa faculté à apprendre les modèles, à partir des données, l'IA révolutionne la puissance des serveurs, la profusion des données collectées, et la libération des données environnementales ont fait émerger ces dernières années des applications spectaculaires ». C'est ainsi que ce Livre Blanc nous fait voyager des robots ramasseurs de fraises juste mûres à point, au petit robot œuvrant à la protection des océans (Projet Soft Robotic Fish) en passant par les 7 domaines identifiés comme les cibles majeures à date de l'AI for Green : les smart cities, l'efficacité énergétique, l'agriculture connectée, la modélisation des changements climatiques, la protection de l'environnement, la mobilité durable, et enfin l'économie locale et durable.

En fréquentant des passionnés d'informatique, talentueux et convaincus de leur art, j'ai compris qu'au-delà du geek, on avait affaire à des sensibilités nouvelles et pleines de ressources inconnues. Lorsque mes équipes informatiques ont compris, effarées, que je n'avais pas encore lu *Le Guide du Voyageur Intergalactique...* pauvre de moi, ils m'ont poussée à découvrir que leur façon à eux de prendre soin de notre si belle terre, était d'en mesurer la vulnérabilité et de voir comment contribuer à la rendre plus vivable à grands débats d'algorithmes.

C'est sans doute sur ce chemin que se pose l'IA, si énergivore, dans son paradoxe de protection de l'environnement. C'est le sujet de débat et de réflexion qui a été retenu comme une base de travail de cette étude avant-gardiste. On assiste à de nombreux débats sur l'intelligence artificielle tantôt défendue, et louée, tantôt critiquée et décriée. On assiste souvent perplexe aux joutes qui voient s'affronter experts parfois incompréhensibles ou intellectuels souvent trop convaincus de leur vérité qu'il est difficile de mesurer la pertinence des nombreux enjeux sous-jacents à cette vaste thématique. On sait que l'IA a envahi nos quotidiens parfois de façon insidieuse, sans que nous en soyons complètement conscients, mais on avait beaucoup de mal à l'imaginer au service d'une des plus grandes causes de l'humanité : la planète et la vie elles-mêmes. J'attendrai impatiemment que ce Livre Blanc se transforme en ouvrage de référence dans le domaine, et au travers de la Fondation E5T, nous ne manquerons pas de continuer à nous engager pour explorer ces nouvelles voies et la façon dont elles se déclineront de plus en plus concrètement dans les différents domaines évoqués.



Ce livre blanc a été rédigé par les équipes de l'entreprise OpenStudio¹. L'entreprise est positionnée sur l'*IT for Green* et accompagne les particuliers dans leurs travaux de rénovation énergétique. Les plateformes réalisées en partenariat avec la société Économie d'Énergie², ont contribué à la réalisation de 600 000 travaux de rénovation énergétique, soit plus de 21 millions de tonnes de CO₂ économisés. Engagée dans l'*open-source*, OpenStudio développe la plateforme e-commerce Thelia³, contribuant ainsi depuis plusieurs années à un numérique transparent et accessible au plus grand nombre. En 10 ans l'entreprise a réalisé plus de 300 projets e-commerce. OpenStudio est membre de la fondation E5T⁴ et de l'Alliance GreenIT⁵.

Enfin, OpenStudio intervient également sur le développement de nombreuses plateformes numériques et dispose depuis 2018 de son propre laboratoire d'IA.

¹ <http://www.openstudio.fr>

² <https://www.economieденnergie.fr>

³ <http://www.thelia.net>

⁴ <http://www.e5t.fr>

⁵ <https://alliancegreenit.org>

L'offre Intelligence Artificielle d'OpenStudio

Nos experts en IA sont en mesure d'accompagner nos clients sur de nombreux sujets :

MARKETING

- segmentation client,
- recommandation de produits

SÉCURITÉ

- détection de fraudes,
- détection d'anomalies,
- détection des doublons dans les bases,
- détection des avis frauduleux

RELATION CLIENT

- agents conversationnels,
- traitement automatique des courriers

LOGISTIQUE

- gestion des retours,
- optimisation des stocks dépréciés,
- prévision de charge,
- optimisation du taux d'occupation

BUSINESS INTELLIGENCE

- prédiction de ventes,
- optimisation des marges

INDUSTRIE 4.0

Les contributeurs



Arnault Pachot, Dirigeant

Après des études supérieures en mathématiques et informatique, Arnault Pachot a travaillé au sein de plusieurs départements R&D en France et au Canada, notamment sur les problématiques de lecture automatique de documents, de modélisation 3D et de contrôles qualité par des réseaux de neurones. En 2006, Arnault Pachot fonde l'agence OpenStudio, spécialisée dans la réalisation de plateformes web et solutions e-commerce innovantes. Titulaire d'un MBA de l'EM Lyon, il prépare actuellement une thèse en Intelligence Artificielle sur les systèmes de recommandation à l'Université Clermont Auvergne.



Céline Patissier, Journaliste

Journaliste de formation avec une spécialisation en radio et presse écrite, Céline Patissier a forgé sa plume au sein de nombreuses rédactions, avant de se consacrer à la communication des entreprises. Son expérience journalistique et sa curiosité naturelle lui permettent d'écrire sur tous les sujets. Une polyvalence rédactionnelle qu'elle met au service des projets d'OpenStudio depuis avril 2020.



Anaïs Ducher, Graphiste

Diplômée en communication visuelle, design global et arts appliqués, Anaïs Ducher a mis ses talents de graphistes au service de plusieurs agences de communication entre l'Angleterre et la France. Elle est venue renforcer l'équipe créative d'OpenStudio en juillet 2020.

Intervenants



Alexandre Alaimo

À peine sortie de ses études d'ingénieur, Alexandre Alaimo s'est lancé directement dans l'entrepreneuriat avec un projet bien précis : commercialiser son outil de gestion du trafic routier intelligent : Odevia. Après deux ans passés dans un incubateur d'entreprises pour mûrir son projet, sa société Odeven est née en février 2019.



Adélaïde Albouy-Kissi

Maître de Conférences en Informatique Appliquée à l'Université Clermont Auvergne, chercheuse à l'Institut Pascal et enseignante au Département Informatique Graphique de l'IUT du Puy en Velay, Adélaïde Albouy-Kissi fait aussi partie d'un programme de recherche intitulé IAT, Intelligence Artificielle des Territoires. Son objectif : créer un outil d'aide à relocaliser une industrie responsable sur tout le territoire français.

**Laurent Bernard**

Ingénieur de métier, Laurent Bernard a lancé Ecojoko en 2017 avec Fabien Berlioz. L'écologie est au cœur de leur démarche avec un outil qui fait appel à l'IA pour aider les particuliers à économiser l'électricité.

**Aline Bsaibes**

Aline Bsaibes travaille depuis plus de 10 ans pour ITK, elle a repris les rênes de l'entreprise en tant que Directrice générale en septembre 2019. L'objectif d'ITK est de développer des logiciels d'aide à la décision pour l'ensemble des acteurs de la chaîne de valeur agroalimentaire. Des solutions d'intelligence artificielle pour une agriculture plus durable et responsable.



Vincent Courboulay

Enseignant-chercheur à l'université de La Rochelle, chargé de mission numérique et co-fondateur de l'Institut du Numérique Responsable, Vincent Courboulay défend un usage du numérique plus sobre pour faire face aux défis écologiques actuels.



Cédric Vasseur

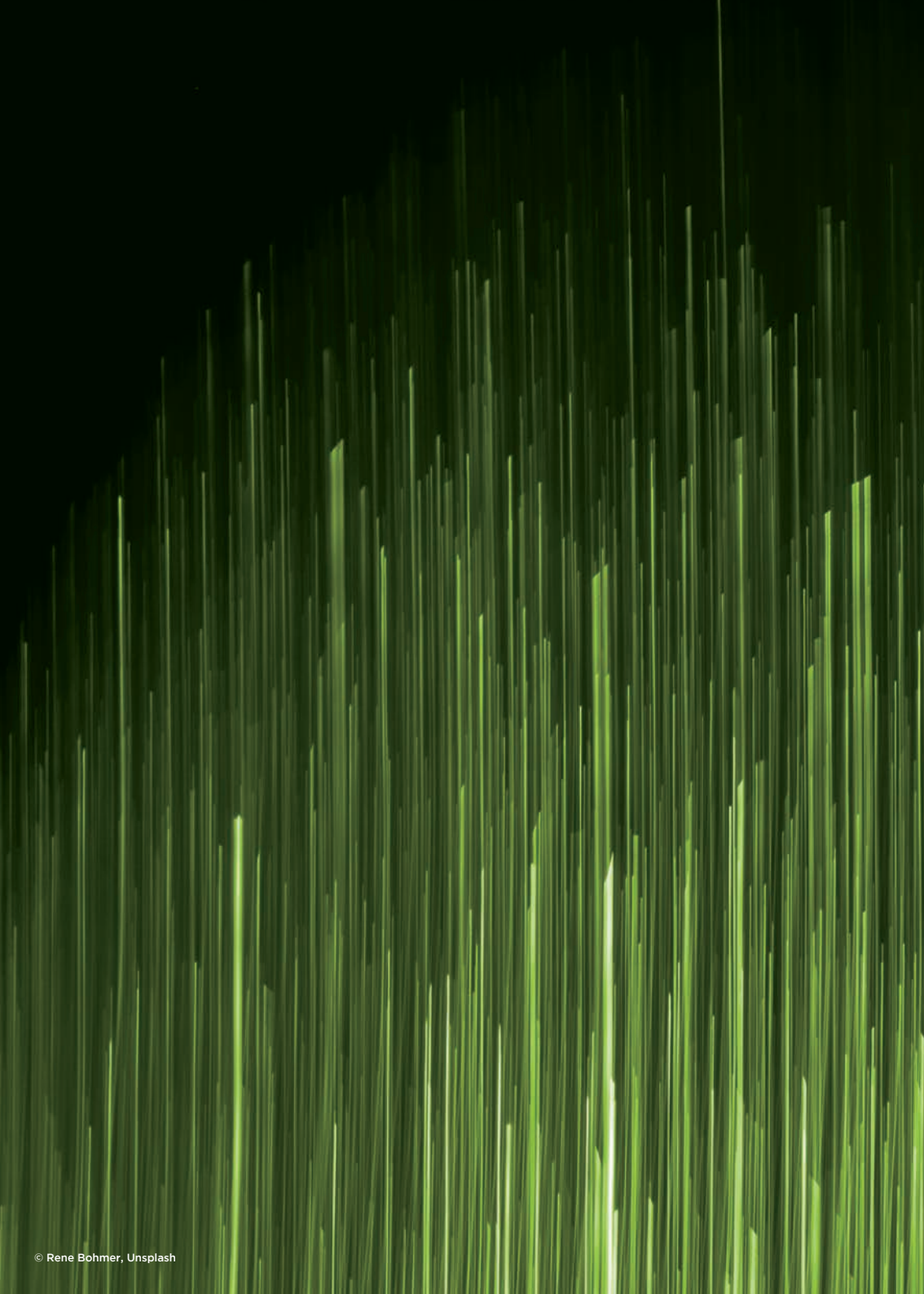
Conférencier et formateur, spécialisé dans la robotique et l'intelligence artificielle, Cédric Vasseur est passionné par les nouvelles technologies depuis son plus jeune âge. Aujourd'hui, il anime des conférences partout en Europe sur ces deux sujets de prédilection. L'un de ses projets les plus marquants est BeepAI, une intelligence artificielle qui apprend à programmer par elle-même. Il a également participé à la consultation publique de Cédric Villani sur la stratégie à appliquer pour développer l'IA en France.

**Félix Michaud**

Étudiant en Master Bioacoustique à l'Université du Mans, Félix Michaud participe à des recherches aux États-Unis sur le retour de la biodiversité dans un site de production abandonné. Ce passionné d'écologie a dû tout apprendre sur l'Intelligence Artificielle pour mener à bien ce projet.

**Andréas Von Kaenel**

Co-fondateur de la start-up Cortexia en Suisse avec André Droux, Andréas Von Kaenel s'est donné pour mission de rationaliser le nettoyage de nos villes grâce à l'Intelligence Artificielle. Les villes de Genève et Bâle ont déjà fait appel aux services de Cortexia.



Introduction

L'Intelligence Artificielle fascine autant qu'elle inquiète.

Les temps de calcul nécessaires aux nouvelles architectures de type *deep learning*⁶ ont été multipliés par 300000 en 6 ans⁷. Les importantes puissances de calcul requises nécessitent une grande quantité d'énergie, laquelle accentue l'impact déjà négatif de l'industrie du numérique sur l'environnement. Des voix s'élèvent pour mettre en garde contre le désastre écologique de l'IA⁸.

Pourtant, cette technologie est aussi pleine de promesses. En lui donnant un cadre écologique, l'IA ouvre la porte à des applications nouvelles. Depuis quelques années les usages de l'IA pour la protection de l'environnement se développent dans tous les domaines. En offrant la possibilité d'analyser des volumes de données conséquents, l'IA ouvre une voie dans l'optimisation des ressources naturelles et la compréhension de notre écosystème¹⁷. Dans les domaines que nous avons analysés, l'IA vient en complément d'une offre logicielle classique afin de résoudre des problématiques beaucoup plus complexes.

L'IA *apprend* de ses erreurs pour devenir meilleure dans l'interprétation d'une multitude de *signaux faibles* au sein d'un ensemble de données contextualisées. Cette capacité d'apprendre est fascinante car elle nous renvoie à nos propres processus d'apprentissages.

⁶ Le *deep learning*, également appelé *apprentissage profond* s'appuie sur des architectures complexes et multi-couches de réseaux de neurones. Le spécialiste en IA Kai-Fu-Lee définit le *deep learning* comme « des algorithmes utilisant d'énormes quantités de données recueillies dans un domaine particulier afin de prendre la meilleure décision par rapport au but recherché. Ils le font en s'entraînant à reconnaître des schémas récurrents profondément enfouis, ainsi que des corrélations entre les nombreuses valeurs et la question posée ».

⁷ <https://openai.com/blog/ai-and-compute/>

⁸ https://www.liberation.fr/debats/2019/10/15/le-big-data-ne-sauvera-pas-la-planete_1757672

Le potentiel de l'IA

D'après le chercheur en IA Kai-Fu-Lee, l'IA fait partie du groupe très fermé des *Technologie à Portée Générale*^[13]. Il s'agit d'inventions majeures qui vont bouleverser notre système économique à grande échelle, comme l'électricité, ou les *TIC*.

Par sa faculté à *apprendre* les modèles à partir des données, l'IA révolutionne le monde des logiciels. La puissance des serveurs, la profusion des données collectées et la libération des données environnementales⁹ ont fait émerger ces dernières années des applications spectaculaires. Nous vous présentons dans la première partie de cet ouvrage une histoire succincte de l'IA, ses principes de fonctionnement, ainsi que ses plus belles réussites.

Pour agrémenter cette partie, nous avons recueilli la vision inspirante de Cédric Vasseur, conférencier et passionné d'IA.

⁹ www.data.gouv.fr/fr/topics/logement-developpement-durable-et-energie/

Les espoirs de l'IA pour l'environnement

L'IA nous offre des outils pour mieux comprendre notre environnement. Grâce aux données issues de capteurs et à la disponibilité de catalogues de données publiques, les nouveaux systèmes apprenants disposent du volume de données nécessaire à leur fonctionnement. Ils sont en mesure d'identifier des informations au milieu d'une masse de données importante et offrent ainsi des capacités d'analyse nouvelles.

Dans ce livre, nous faisons un tour d'horizon des projets utilisant de l'IA au service de la protection de l'environnement. Il s'agit souvent de projets innovants en rupture avec les approches traditionnelles de leur secteur.

Le nouveau marché *AI for Green*¹⁰ tend à se spécialiser selon sept grands thèmes que nous avons identifiés : *les smart cities, les économies d'énergies, l'agriculture connectée, la modélisation des changements climatiques, la préservation de l'environnement, la mobilité durable, et l'économie locale et durable.*

¹⁰ Terme donné aux applications utilisant de l'IA pour résoudre des problématiques environnementales.

Nous sommes allés à la rencontre des acteurs de ce changement. Vous découvrirez dans ce livre le témoignage d'Aline Bsaibes, qui a pris la direction d'une société leader dans *l'AG Tech*¹¹, celui d'Alexandre Alaimo, un jeune ingénieur qui a lancé une startup de gestion intelligente des feux de circulation, celui d'Adélaïde Albouy-Kissi, maître de conférence en informatique, qui travaille sur des modèles à base d'IA pour piloter les politiques environnementales. Vous ferez la connaissance de Félix Michaud, étudiant en bioacoustique qui utilise l'IA pour identifier et compter des populations d'animaux. Enfin, nous avons interviewé Laurent Bernard, à la tête d'une startup qui propose un boîtier intelligent pour analyser et réduire sa consommation électrique, ainsi que Andréas Von Kaenel dont la startup développe une solution d'IA pour piloter les équipes de nettoyage dans les villes.

Portés par un grand enthousiasme, ils participent avec passion à la construction de ce nouveau marché, dans lequel la technologie est au service de l'environnement.

¹¹ *L'AG Tech*, pour *Agricultural technology* est associé à l'utilisation de la technologie dans l'agriculture, l'horticulture et l'aquaculture dans le but d'améliorer le rendement, l'efficacité et la rentabilité.



© Alex Duffy, Unsplash

Ci-dessus

La société ITK propose des solutions d'irrigation intelligentes afin de réduire la consommation d'eau et les pertes liées aux ruissellements.

La nécessité d'une IA responsable

Pourtant, nous ne pourrions écrire ce livre en occultant les aspects moins polissés du numérique et en particulier de l'IA envers l'environnement. Certains dénoncent la *face cachée du numérique*. Derrière l'illusion de l'immatérialité du numérique véhiculée par les géants d'internet, on découvre un véritable désastre écologique. L'IA utilise abusivement toutes les technologies du numérique : les serveurs, les réseaux, le stockage des données... De ce fait, elle contribue fortement à l'épuisement des ressources naturelles rares et à l'augmentation croissante de la consommation électrique mondiale.



Nous avons rencontré Vincent Courboulay, enseignant-chercheur en informatique et militant pour le *Numérique Responsable*. Il fait partie des *lanceurs d'alertes* essentiels dans une société et nous permet de prendre conscience qu'un développement non maîtrisé de l'IA présenterait un risque majeur pour l'environnement.

L'intuition ne suffit plus à guider une politique de développement de l'AI *for green*. L'avenir est au contrôle de l'ensemble la chaîne de valeur IA. Depuis la collecte des données, leur stockage et les algorithmes d'apprentissage, les gains doivent être réels et mesurés.

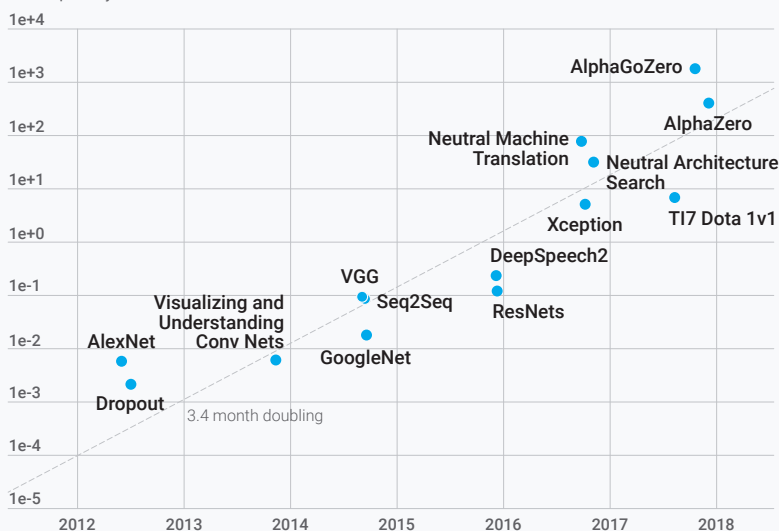
Ci-dessous

Le volume de calculs nécessaire à l'entraînement des modèles de Deep Learning a été multiplié par 300000 en 6 ans.

Source : <https://openai.com/blog/ai-and-compute/>

AlexNet to AlphaGo Zero: A 300,000x Increase in Compute (Log Scale)

Petaflop/s-days



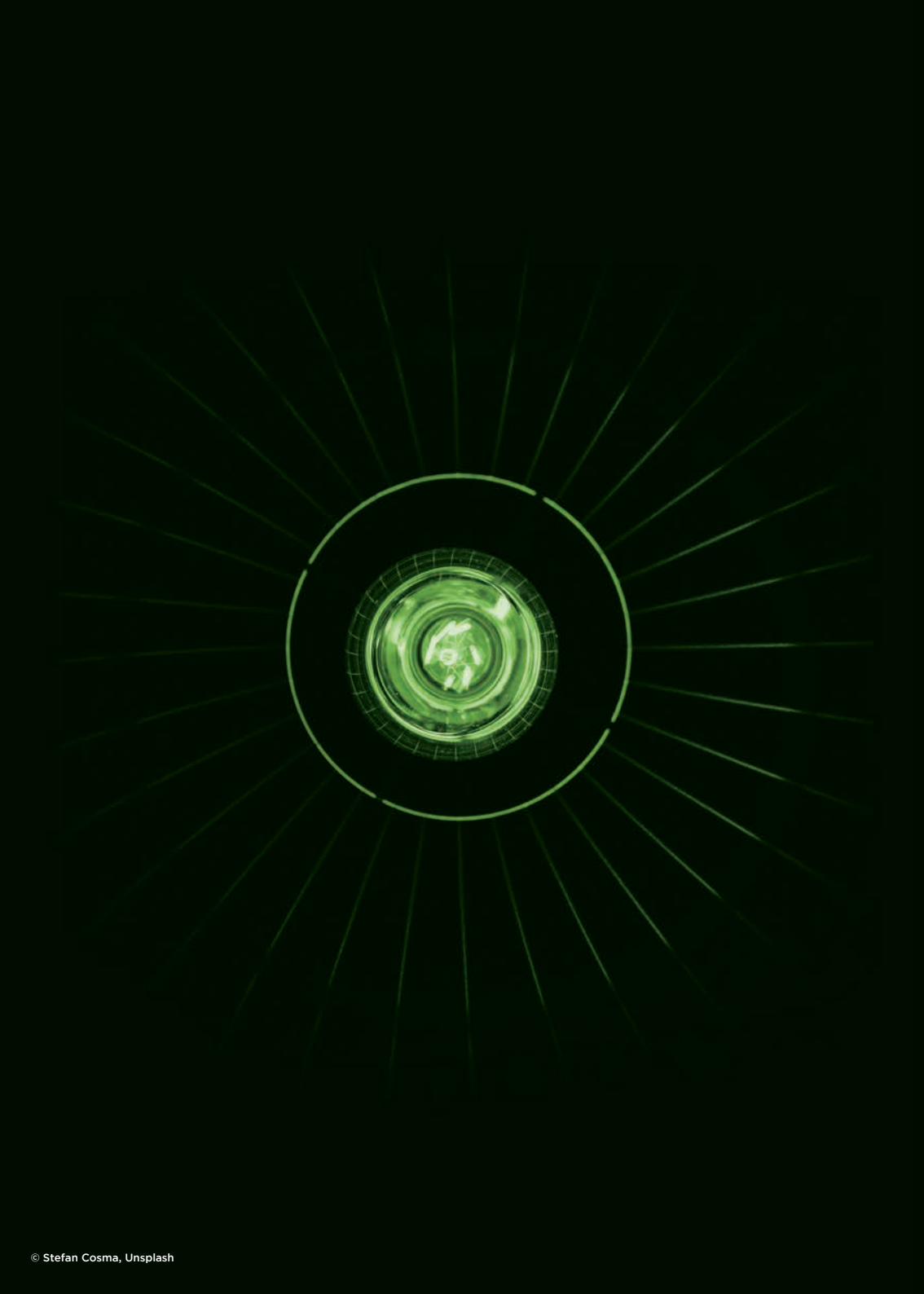
L'impact environnemental d'un service en ligne utilisant de l'IA doit être évalué dans sa globalité.

Le rêve d'une *IA verte* (*Green AI*) est encore lointain, mais des travaux sont déjà en cours pour rendre l'IA progressivement plus *responsable* en s'inspirant de la sobriété de notre propre cerveau. Le *biomimétisme*¹² a toujours été un vecteur important du développement de l'IA : l'évolution de celle-ci se nourrissant d'une meilleure compréhension de notre cerveau. Avec une consommation d'énergie de seulement 12,6 watts¹³, le cerveau humain nous montre la direction à suivre pour améliorer l'efficacité des méthodes d'IA, mais ces améliorations seront-elles suffisantes ?

¹² Le biomimétisme est un processus d'innovation qui s'inspire du vivant.

¹³ Le calcul de la consommation du cerveau est disponible à l'adresse suivante : <http://www.bodyscience.fr/?L=activite-intellectuelle-intense>





PARTIE 1

Le développement de l'IA

Le terme « Intelligence Artificielle » peut susciter la confusion. Quand nous avons demandé au spécialiste de l'IA, Cédric Vasseur, de nous donner une définition, il nous a répondu qu'il s'agissait « d'une machine qui résout des problèmes habituellement résolus par des êtres humains ou des animaux », en référence à Marvin Lee Minsky, l'un des fondateurs de l'intelligence artificielle qui la décrivait ainsi : « L'intelligence artificielle est la science de faire faire à des machines des choses qui demanderaient de l'intelligence si elles étaient faites par des humains. »

Comment définir l'IA ?

Ce qui différencie un système informatique classique, d'un système doté d'une intelligence artificielle est sa capacité à apprendre à partir d'exemples. Le premier aura besoin d'un développeur pour déterminer son comportement, alors qu'un logiciel d'intelligence artificielle *se programme lui-même* pour que ses résultats correspondent à une série d'exemples qui lui sont fournis.

Imaginons que vous appreniez à un enfant à reconnaître un animal à partir d'une série de photos, son cerveau tout neuf va se calibrer automatiquement pour qu'il le reconnaisse la prochaine fois dans un autre contexte. C'est la même idée pour l'IA, un système intelligent sera capable, sur la base de données d'apprentissage de se calibrer lui-même pour pouvoir ensuite *s'exécuter* et donner les résultats attendus pour de nouvelles données.

Ci-dessous

Vous pouvez découvrir une étonnante étude sur des chevaux « habillés » en zèbres pour tromper les mouches charbonneuses, un exemple de sous-interprétation du cerveau !^[7]



La particularité de l'intelligence artificielle est de pouvoir produire une fonction de généralisation à partir d'exemples appris. On pourrait croire qu'un enfant capable de reconnaître seulement les exemples appris, aurait « appris par cœur ». Il n'en est rien ! Son cerveau va réaliser une abstraction consistant à extraire les caractéristiques communes et spécifiques d'un animal, par exemple le cheval, pour le différencier des autres animaux appris précédemment. Ainsi, s'il n'a pas appris ce qu'était un zèbre, il risque de confondre les deux animaux. Puis, lorsqu'il aura des exemples de zèbres à sa disposition, il sera en mesure de différencier les deux espèces, en décelant la présence de rayures. Son cerveau aura attribué un « poids » particulier à la présence de rayures pour différencier un zèbre d'un cheval. Un tigre possède également des rayures ? Alors le cerveau de l'enfant va prendre en compte la présence de rayures, mais également la couleur des rayures, avec encore une fois un système de pondération pour chaque caractéristique. Et c'est ainsi que le cerveau d'un enfant apprend le monde qui l'entoure. Un système intelligent fonctionnera de la même manière, en fonction de la complexité du modèle qu'il applique et du nombre de données d'apprentissage, il progressera petit à petit dans sa capacité à prédire la classe d'objets ou d'évènements qui surviennent. On peut noter d'ailleurs que si les phases d'apprentissage peuvent être longues, les phases de classification (ou *d'exécution*) sont, quant à elles beaucoup plus rapides.

**Prédire, raisonner et décider
sont trois notions liées.**

Prédire, raisonner et décider sont trois notions liées. C'est par sa capacité à *prédire* mentalement l'effet d'une action (ou plus généralement le futur), sans avoir à la réaliser réellement, que le cerveau va être en mesure de *raisonner* pour *décider* des meilleurs choix à faire. Ce fonctionnement probabiliste du cerveau consiste à calculer les probabilités de différentes actions successives, en combinant les probabilités entre elles. Cette capacité à prévoir permettra à un système intelligent de décider de la meilleure option à suivre. On parle d'ailleurs très souvent de logiciels « d'aide à la décision ».

**CÉDRIC VASSEUR**

Conférencier et formateur en IA
et robotique

L'IA fait l'objet de beaucoup de fantasmes et d'approximations, comment la définir simplement ?

Pour éviter de tomber dans des choses trop ésotériques, dès que je vais aborder l'IA ou la robotique, je commence toujours par une définition. Pour définir l'IA, je sépare l'expression en deux, en m'intéressant dans un premier temps au mot « artificiel ». Dans le sens commun on peut avoir l'impression que cela veut dire « faux ». Une plante artificielle, par exemple, est bien une fausse plante. Mais il faut remettre les mots dans leur contexte. « Artificiel » cela veut dire avant tout « crée par l'homme ». À partir de là, on comprend mieux que l'IA est une intelligence créée par l'homme. Ensuite, le mot « intelligence » est plus compliqué à déterminer d'un point de vue philosophique, mais je mets les gens d'accord en parlant de « problème à résoudre ». On reprend en fait la définition de Dartmouth en 1956 : l'IA est une machine qui résout des problèmes habituellement résolus par des êtres humains ou des animaux.

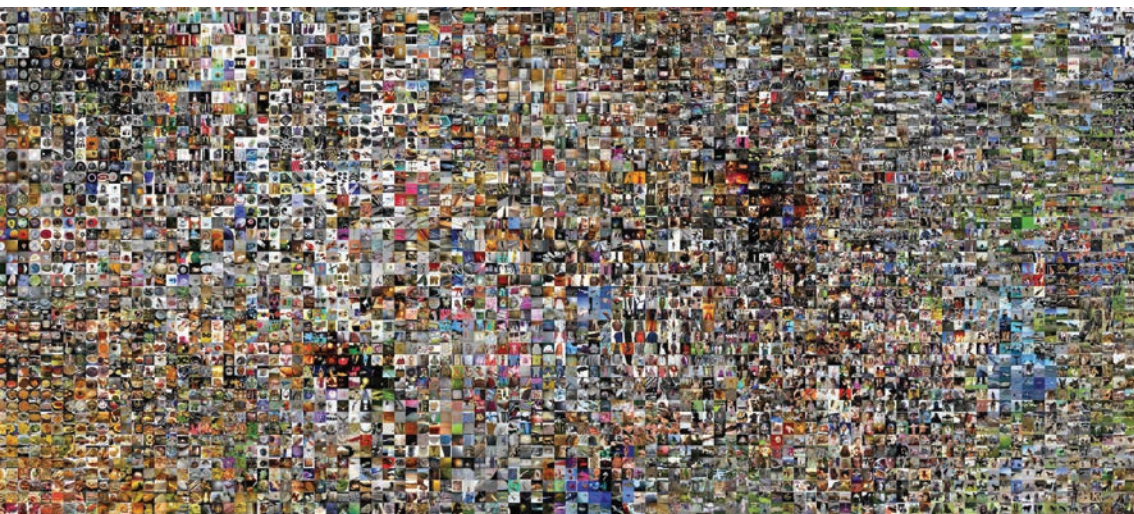
Une histoire qui ne date pas d'hier

Lorsqu'on évoque l'Intelligence Artificielle, on pense immédiatement à une technologie futuriste, mais l'histoire de cette science n'est pas si récente. C'est en 1956, qu'une poignée de chercheurs se sont réunis sur le campus universitaire de Dartmouth pour poser les jalons d'une nouvelle discipline, qu'ils décident d'intituler « Intelligence Artificielle ». Cette conférence, organisée par John Mc Carthy et Marvin Minsky, influencera toutes les recherches à venir. Elle donne déjà des pistes fondamentales comme les réseaux de neurones ou encore le *machine learning*. Durant les décennies suivantes l'IA va fluctuer entre période faste et traversée du désert. À cause des faibles puissances de calcul ou des données manquantes, les capacités des systèmes sont limitées et les industriels se désintéressent de l'IA. Puis régulièrement l'intérêt autour de l'IA repart à la hausse, du fait d'une nouvelle avancée technologique, de nouvelles données ou une puissance de calcul supplémentaire.



Ci-contre

La conférence de Dartmouth en 1956 représente un moment historique dans le développement de l'IA. Les pères fondateurs de l'IA étaient présents : John Mc Carthy, Marvin Minsky, Claude Shannon, Ray Solomonoff, Alan Newell, Herbert Simon, Arthur Samuel, Olivier Selfridge, Nathaniel Rochester et Trenchard More.



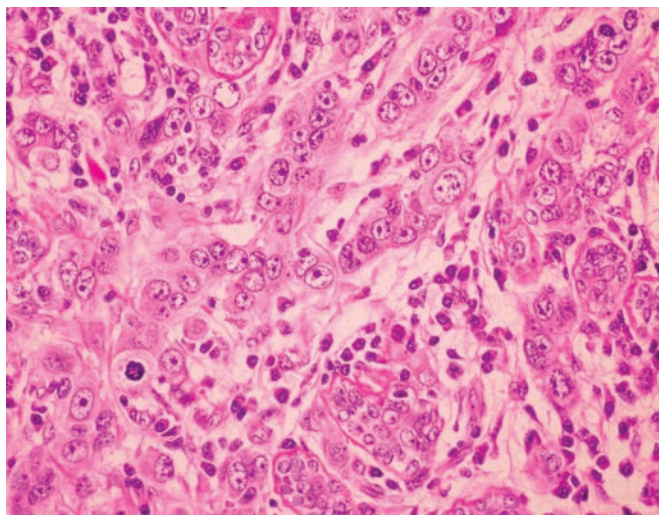
© Image Net

Nous sommes actuellement en pleine période d'euphorie, depuis les résultats spectaculaires obtenus par l'équipe de Geoffrey Hinton lors du concours ImageNet de 2012 où les algorithmes basés sur le tout nouveau *deep learning* surpassent leurs concurrents dans la reconnaissance d'objets dans des images.

*Ci-dessus
Plus de 10
millions d'images
sont actuellement
étiquetées dans la
base de données
ImageNet.*

Deep learning, l'innovation qui a tout changé

Le deep learning, entendez « apprentissage profond », a remis l'IA sur le devant de la scène. Cette avancée majeure nous la devons principalement au français Yann Le Cun. Pour faire fonctionner le deep learning, le chercheur explique qu'il faut obligatoirement réunir quatre conditions : une masse énorme de données, un algorithme fort, un domaine d'action limité et un objectif bien défini. Comme beaucoup de méthodes en IA, le deep learning s'inspire du fonctionnement du cerveau humain dans la vision. La reconnaissance s'effectue en partant d'abord d'une vision générale (reconnaissance des formes principales), pour ensuite descendre plus « profondément » dans l'analyse des détails (recherche de détails discriminants). On parle alors de « réseaux de neurones convolutifs ». C'est ce type de réseaux de neurones multicouches qui a été mis au point par Yann Le Cun en 2010. Depuis, les innovations se succèdent dans le domaine de l'IA.



*Ci-contre
Détection
du cancer
grâce au Deep
Learning [towers-
clark_cutting-
edge_2019]*

Les limites de l'IA

Quels sont les problèmes qui peuvent être résolus par l'intelligence artificielle ? En effet, on peut s'interroger sur les limites de ces technologies. En général nous pouvons appliquer la règle suivante : si un problème peut être résolu par un expert à partir d'un certain nombre de données, un système intelligent sera en mesure de réaliser la même expertise pour peu qu'il dispose des mêmes types de données, mais en quantité supérieure. Nous sommes entrés dans l'ère du *Big Data* et le volume de données d'apprentissage n'est plus réellement un problème. Quand on sait que Alpha Go, le logiciel de DeepMind qui a battu le champion du monde au jeu de Go, est capable dans sa nouvelle version, d'apprendre des dizaines de milliers de parties jouées par des joueurs professionnels, puis de s'entraîner contre 4,9 millions d'instances de lui-même en 5 jours, on réalise à quel point les capacités d'apprentissages des systèmes intelligents sont importantes. Ils sont moins optimisés qu'un être humain, puisqu'ils ont besoin de plus de cycles d'apprentissage, mais avec la profusion de données disponibles et la puissance de calcul actuelle (ainsi que la parallélisation des traitements), leurs ressources sont bien plus importantes.

Nous sommes entrés dans l'ère du « Big Data » et le volume de données d'apprentissage n'est plus réellement un problème.



PARTIE 2

L'émergence de l'AI for Green

Les solutions inhérentes à l'IA pour la protection de l'environnement sont nombreuses et variées, de la gestion optimale de l'énergie à l'agriculture durable en passant par les villes intelligentes, ou la protection de l'écosystème, ce secteur naissant bouillonne de créativité.

**CÉDRIC VASSEUR**

Conférencier et formateur en IA
et robotique

Quels sont concrètement les bénéfices que l'on peut tirer de l'IA aujourd'hui pour préserver la planète ?

Je pense tout de suite à l'agriculture, l'IA permet déjà d'utiliser moins de pesticides, d'irriguer les champs de manière intelligente, etc. Il y a des drones aussi qui sont utilisés pour détecter des maladies dans les champs. Avant, quand vous aviez de très grands champs à surveiller vous étiez obligés d'utiliser un hélicoptère, avec une caméra et plusieurs personnes à bord. Un drone consomme 1000 fois moins qu'un hélicoptère. Il existe également des tracteurs autonomes qui peuvent travailler jour et nuit. On peut aussi optimiser l'énergie sur une ville, comme allumer et éteindre des éclairages au bon moment lorsqu'une personne est détectée dans la rue. On utilise aussi l'IA pour éviter des incendies de forêt, on arrive à modéliser de plus en plus finement les départs d'incendie, pour savoir à quels endroits il faut intervenir pour sauver telle ou telle partie de la forêt. Il y a des outils en IA qui existent aujourd'hui et qui ont une vraie utilité écologique.

*Ci-après
La ville de
Singapour a choisi
de devenir une
smart city, plus
intelligente et
donc plus verte.*



Les Smart cities

Partons à la découverte de ces nouvelles technologies qui nous promettent des villes plus intelligentes et donc plus écologiques.

Diminuer la pollution des villes

À Pittsburgh des caméras disposées au niveau des feux de circulation permettent de gérer l'alternance des feux de manière judicieuse grâce à l'IA¹. Ce dispositif, installé depuis 2017, limite le temps que les véhicules passent à l'arrêt en rejetant inutilement du CO₂ dans l'air. *Surtrac*, imaginé par Stephen Smith, professeur et chercheur à The Robotics Institute de l'Université Carnegie Mellon, permet de diminuer de 30 % en moyenne les arrêts de véhicules et réduit les émissions de 20 %. De plus les automobilistes gagnent du temps pour se rendre à leur domicile ou à leur travail. En France, la société Odeven créée par Alexandre Alaimo propose le même service mais sans le système de caméras. Cette technologie se basant sur les données mobiles est expérimentée sur la ville de Cusset dans l'Allier².

¹- https://www.lemonde.fr/smart-cities/video/2017/06/23/surtrac-l-intelligence-artificielle-pour-rendre-la-circulation-plus-fluide_5150306_4811534.html

² https://www.lamontagne.fr/cusset-03300/actualites/un-dispositif-de-gestion-innovant-des-feux-tricolores-a-cusset_12711436

Une application développée par Green Horizon IBM en Chine utilise l'IA pour anticiper la pollution atmosphérique dans les villes³. En déterminant où sera la source de pollution, elle permet aux autorités de mettre en place une stratégie préventive et ciblée. Éteindre une centrale électrique, fermer une usine polluante deux ou trois jours, ou encore instaurer une alternance pour la circulation des véhicules, grâce à l'IA, des mesures concrètes peuvent être prises avant d'atteindre un seuil de pollution dangereux pour la santé des habitants.

³ <https://www.lemondeinformatique.fr/actualites/lire-ibm-vient-au-secours-de-pekin-pour-prevoir-et-controler-la-pollution-de-l-air-58028.html>



**ALEXANDRE ALAIMO**

Créateur de l'entreprise Odeven

Vous avez créé Odeven afin de proposer à la vente votre solution, Odevia, comment fonctionne cet outil ?

C'est ce qu'on appelle un SAGT, un Système d'Aide à la Gestion du Trafic. C'est un outil qui va permettre de fluidifier la circulation en ville, en améliorant la synchronisation des feux. Dans la presse, on l'appelle souvent « le feu rouge intelligent ». La particularité d'Odevia, c'est qu'il s'agit d'un système qui se base sur les données GPS des voitures et de la téléphonie mobile. Traditionnellement on utilise plutôt des capteurs implantés sur la chaussée pour récupérer et faire le comptage du nombre de véhicules qui passent sur la route. Mais c'est du matériel qui nécessite de l'entretien, qui va vieillir ou pourra tomber en panne. Avec Odevia, l'idée est d'exploiter ce qu'on appelle les données flottantes, les floating car data et les floating mobile data qui sont des données issues de la géolocalisation des téléphones portables et des véhicules. Comme pourrait le faire Waze pour l'info trafic, on utilise ce type de données pour estimer le nombre de véhicules sur la route et améliorer la synchronisation des feux rouges afin de fluidifier le trafic routier.

C'est une solution intelligente et surtout écologique ?

Oui c'est l'objectif visé. Le but est de réduire la congestion du trafic routier et il est clair que les embouteillages sont responsables d'une bonne partie de la pollution. En limitant les embouteillages forcément on réduit le temps d'arrêt des véhicules et les rejets de CO₂ non nécessaires. Avec Odevia, on va réduire les nuisances comme la pollution, mais aussi la dépense d'énergie, le bruit, et cela permet également d'éviter une perte de temps pour les acteurs économiques.

La particularité de votre système c'est qu'il n'y a pas de capteurs donc cela n'implique pas une installation trop lourde pour les collectivités ?
Exactement, la légèreté de l'infrastructure est primordiale. Nous utilisons le Big Data, donc un très grand volume de données afin d'anticiper un phénomène, en l'occurrence l'évolution du trafic routier. Je tiens à préciser que les données sont anonymes, on travaille avec des entreprises dont le métier est de faire du traitement de données de géolocalisation. Ces entreprises anonymisent complètement les données, on ne peut pas savoir que le véhicule ou le téléphone appartient à telle ou telle personne. On ne peut même pas identifier de manière unitaire une voiture ou un téléphone, on a juste une indication sur la nature du trafic sur un tronçon de route, on sait globalement qu'à tel endroit il y a une circulation à telle vitesse, et que la route est en situation de bouchons.

Votre choix de limiter le matériel a-t'il été guidé par une volonté écologique ?

Oui c'est tout à fait ça. Alléger l'infrastructure permet d'être moins dépendant du matériel mais il y a aussi une dimension écologique. Il est dommage de ne pas exploiter l'existant de se reposer sur tout ce réseau de téléphones et de véhicules avec GPS qui permettent d'obtenir une grande quantité de données et d'éviter l'installation de capteurs.

Avez-vous d'autres projets après Odevia qui feraient appel à l'intelligence artificielle ?

Nous développons une caméra qui permet de compter et différencier les véhicules. Ce type de caméra peut être utilisée pour faire des études de circulation mais également pour repérer les places disponibles dans les parkings afin d'orienter les automobilistes. Nous travaillons aussi sur un outil de gestion de projet baptisé Progeo. Cet outil est spécialement développé pour les professionnels de la voie et des réseaux, ce secteur est actuellement en phase de digitalisation.

Gérer la propreté des villes

Pour les municipalités, la propreté des rues et la gestion des déchets sont souvent des casse-têtes insolubles, que cela soit en termes de budget ou d'efficacité. Pourtant, c'est un fait, une gestion optimale de la propreté est un facteur d'attractivité pour attirer de nouveaux habitants. Au-delà de l'esthétisme et de l'hygiène, il y aussi le paramètre de l'écologie qui entre en jeu. Comment réduire la consommation d'eau pour le nettoyage des villes ? Comment optimiser les ressources (balayeuse, camion poubelle...) pour diminuer les déplacements et gagner en efficacité (baisse du nombre de déchets dans les rues) ?

[...] avec l'émergence de l'IA, des solutions apparaissent aux quatre coins de la planète

En Suisse, la startup Cortexia, dirigée par Andréas Von Kaenel et André Roux, a créé un système de surveillance de la propreté urbaine. Grâce à l'IA, des caméras embarquées sur les véhicules municipaux repèrent en temps réel les zones les plus sales et permettent de définir le meilleur itinéraire et la fréquence idéale pour le nettoyage de chaque quartier⁴.

⁴<https://www.usine-digitale.fr/article/que-fait-cortexia-la-start-up-suisse-a-qui-cedric-villani-veut-faire-appel-pour-nettoyer-paris.N939246>

D'après les chiffres de la Banque mondiale, la production annuelle de déchets en ville représenterait aujourd'hui 2 milliards de tonnes par an et pourrait atteindre les 3,4 milliards de tonnes à l'échéance 2050⁵. Nous sommes littéralement submergés par nos ordures de citoyens mais sans en avoir réellement conscience, puisque tous ces déchets sont envoyés dans les pays en voie de développement. Toutefois, avec l'émergence de l'IA, des solutions apparaissent aux quatre coins de la planète. La société Bin-e développe un conteneur de déchets intelligent capable de trier automatiquement les déchets grâce à l'IA⁶. À Amiens un robot piloté par l'IA est capable d'effectuer 3600 gestes à l'heure pour effectuer le tri sur les chaînes de déchets⁷.

Ci-dessous

La ville de Zurich en Suisse est l'exemple à suivre pour sa gestion efficace et écologique de la propreté de ses rues. L'entreprise Cortexia s'en est inspirée pour développer son système de surveillance de la propreté urbaine boosté par l'utilisation de l'IA.



⁵ <https://www.futura-sciences.com/planete/actualites/>

⁶ <https://www.constructioncayola.com/environnement/article/2019/12/17/127188/intelligence-artificielle-dans-gestion-des-dechets>

⁷ <https://www.capital.fr/entreprises-marches/a-amiens-un-robot-intelligent-promet-dameliorer-le-tri-des-dechets-1310586>

**ANDRÉAS VON KAENEL**

Co-fondateur de la start-up Cortexia

Avec Cortexia, vous proposez aux collectivités de mieux gérer la propreté des rues, de quelle manière pouvez-vous les aider ?

Nous sommes partis d'une idée de base : ce qui ne se mesure pas ne s'améliore pas. Nous essayons d'optimiser trois choses : la propreté, l'utilisation des ressources et l'impact sur l'environnement. Pour garantir un total niveau de propreté il faut avoir un outil de mesure. Aujourd'hui les villes sont nettoyées selon des plannings préétablis basés sur l'habitude mais pas forcément là où c'est vraiment sale. Avec Cortexia, nous pouvons fournir une cartographie en temps réel du niveau de propreté par secteur, comme cela la ville peut engager les moyens au bon endroit et au bon moment.

Techniquement comment fonctionne votre solution ?

Pour cartographie la propreté de la ville et savoir où sont les déchets, nous faisons de la reconnaissance d'images grâce à l'intelligence artificielle. On place des caméras sur les véhicules de la ville, sur les camions poubelles, des bus, des vélos, n'importe quels véhicules, et lorsqu'ils se déplacent, un ordinateur embarqué va détecter directement les différentes catégories de déchets. Avec l'intelligence artificielle, c'est comme si la caméra avait des lunettes qui nous permettaient de voir uniquement les déchets, on ne voit pas les personnes, ni les plaques des véhicules. On lui a appris à détecter tous les types de déchets, le plus petit étant le mégot de cigarette. On lui a montré des centaines et des centaines de mégots, avant qu'elle ne les reconnaisse sans se tromper. Aujourd'hui elle reconnaît 40 types d'objets différents, à partir de ça on calcule un index de propreté avec 13 catégories de déchets. C'est un index public qui permet de donner une note et garantir un niveau de propreté et une qualité de service.

L'idée est donc de rendre les villes plus attractives mais il y a surtout un véritable impact écologique ?

Il y a en fait une multitude d'avantages pour la ville et ses habitants. Effectivement si elle est propre, elle est plus attractive la qualité de vie étant meilleure. Cortexia leur permet aussi d'utiliser moins de ressources et donc de faire des économies. Et bien évidemment il y a un gros impact environnemental. Simplement le fait d'avoir des rues plus propres va permettre d'éviter que tous les petits déchets se retrouvent ensuite dans les égouts puis dans les cours d'eau ou dans la nature à cause d'un coup de vent. Moins de déchets dans les villes, veut dire moins de déchets polluants dans la nature. Nous avons d'ailleurs un projet avec la ville de Genève où nous avons mis des filtres dans les grilles d'égout. Ce dispositif va nous permettre de savoir, en fonction du niveau de propreté, combien de déchets vont être emportés par la pluie pour pouvoir ensuite quantifier l'efficacité du nettoyage et limiter le nombre de déchets dans l'environnement. Le deuxième impact se voit sur les ressources utilisées pour maintenir les rues propres, une grosse partie de ses ressources sont des balayeuses qui consomment de l'énergie et vont émettre du CO₂. Dans une ville on a environ entre 20 et 50 véhicules de nettoyage pour 100000 habitants donc on sait que la consommation d'énergie et l'émission de CO₂ sont importantes. Lorsqu'on arrive à engager les moyens là où c'est nécessaire on s'attend à des gains d'au moins 15 % de CO₂. Enfin un autre impact, dont on ne parle pas assez, va se jouer sur l'utilisation de l'eau. Les villes ont des stratégies de nettoyage très différentes, certaines villes ont quasiment des stratégies sans eau comme la ville de Zurich, alors que d'autres ont recours à beaucoup d'eau. Je pense que l'eau aujourd'hui est vraiment une ressource rare, et si on arrive à limiter le nombre de déchets qui polluent les cours d'eau c'est déjà bien, mais si en plus on limite l'utilisation de l'eau à des fins de nettoyage, c'est encore mieux.

Gérer intelligemment l'énergie et l'aménagement en zone urbaine

Quand on parle de « Smart cities », il s'agit aussi d'avoir une gestion de l'énergie et de l'aménagement urbain qui soit basée sur des prévisions fiables. D'après un article publié sur le blog de l'Earth institut de l'Université de Colombia, l'IA est pressentie comme un outil indispensable pour des villes plus durables⁸. Une urbanisation plus responsable passe obligatoirement par une économie d'énergie. Grâce à l'IA, il est désormais envisageable de prévoir les besoins d'une ville en ressources énergétiques et donc de limiter les dépenses inutiles.

L'aide de l'IA sera aussi la bienvenue pour réduire les effets des changements climatiques ou de catastrophes naturelles en rendant plus intelligent l'aménagement des zones urbanisées. En utilisant des logiciels de simulation, on pourra alors déterminer avec certitude les zones les plus favorables pour tel ou tel type d'aménagement.

Pour aller encore plus loin, il serait même question d'élaborer des *tableaux de bord urbains* reprenant des données en temps réel sur tous les paramètres liés à l'environnement, de la consommation d'eau et d'énergie à la pollution du trafic, en passant par les conditions météorologiques. Avec un tel dispositif les villes pourraient devenir véritablement écoresponsables, et proposer une meilleure qualité de vie à leurs habitants.

Grâce à l'IA, il est désormais envisageable de prévoir les besoins d'une ville en ressources énergétiques et donc de limiter les dépenses inutiles.

⁸ <https://blogs.ci.columbia.edu/2018/06/05/artificial-intelligence-climate-environment/>

Économiser l'énergie

Si le secteur du numérique et par conséquent l'IA sont de gros consommateurs d'énergie, les innovations technologiques vont toutefois dans le sens d'une énergie plus verte et plus rationalisée.

Comprendre le climat pour favoriser les énergies renouvelables

Nous allons voir que l'IA peut intervenir pour améliorer les performances des parcs éoliens en prenant en compte les données météorologiques. En effet, l'IA est utilisée pour mettre en corrélation la vitesse de chaque hélice avec la direction et la puissance du vent. En analysant ces différentes données, l'IA va pouvoir optimiser et donc augmenter la production d'électricité de toutes les éoliennes. L'intelligence artificielle est aussi mise à contribution pour aider les chercheurs à comprendre les conditions atmosphériques dans lesquelles évoluent les parcs éoliens.

*Ci-dessous
Grâce à l'IA,
les parcs éoliens
sont optimisés
pour prévoir
leur production
d'électricité et
améliorer leur
rendement.*

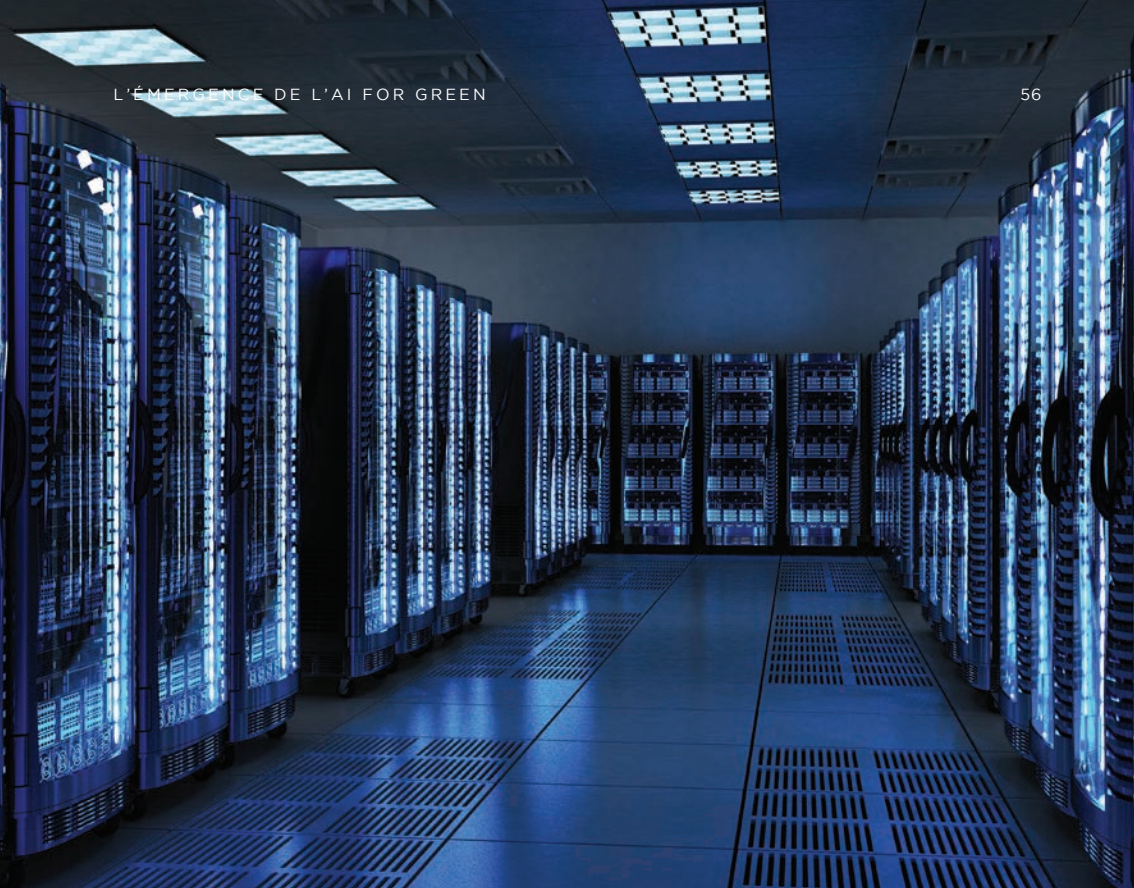


L'objectif est d'établir un prévisionnel ultra précis de la future production d'énergie. C'est justement cette idée qui a poussé les sociétés Atos et Météo-France à signer un accord pour créer une plateforme de prévision des productions d'électricité renouvelable¹. Cette démarche s'inscrit dans le cadre d'un accord européen qui s'engage à ce que la part des énergies renouvelables représente au moins 32 % de la consommation totale des pays de l'UE d'ici 2030². Il est donc évident qu'en anticipant cette production, il est possible de trouver des solutions pour l'améliorer.

L'intelligence artificielle est aussi mise à contribution pour aider les chercheurs à comprendre les conditions atmosphériques dans lesquelles évoluent les parcs éoliens.

¹ <http://www.meteofrance.fr/espace-presse/76913055-atos-et-meteo-france-optimisent-la-gestion-de-la-production-d-electricite-renouvelable>

² <https://www.vie-publique.fr/en-bref/273016-les-energies-renouvelables-en-hausse-dans-lunion-europeenne>



Accroître l'efficacité énergétique

Mesurer pour améliorer, anticiper pour économiser, dans le secteur de l'énergie, l'IA devient un outil indispensable pour optimiser de manière très significative les dépenses en énergie. Google se sert de l'IA pour savoir à l'avance quand ses centres de données sont les plus sollicités. Ce système permet d'analyser les moments de la journée où les internautes vont regarder le plus de vidéos Youtube ou faire d'autres recherches énergivores, afin d'optimiser le refroidissement de ses data centers³. Les résultats sont

*Ci-dessus
Google utilise
maintenant l'IA
pour refroidir
ses data centers
et baisser
considérablement
sa consommation
énergétique.*

³ <https://www.futura-sciences.com/tech/actualites/intelligence-artificielle-google-ia-commandes-refroidissement-data-centers-72482>

impressionnants, puisque Google dit avoir réduit de 40 % sa consommation d'énergie. De son côté Microsoft s'est associé au fournisseur d'électricité suédois Vattenfall, pour élaborer une solution de gestion de grilles intelligentes afin d'optimiser la production d'énergie verte en fonction de la demande⁴.

L'efficacité énergétique peut aussi être améliorée au sein des foyers grâce à l'IA. La société française Ecojoko a lancé en 2017, un capteur permettant de mesurer sa consommation d'énergie pour ne plus la gaspiller. Ce dispositif très simple à installer permet de savoir quels sont les appareils qui dépensent inutilement de l'énergie, et donne des conseils pour pallier les erreurs d'utilisation ou les défaillances. Avec cette aide, Ecojoko annonce une baisse d'au moins 25 % de la consommation d'électricité dans une maison⁵.



Ci-contre

La solution Ecojoko permet aux particuliers de voir en temps réel leur consommation d'énergie et ainsi de mettre en place des actions pour baisser leurs dépenses énergétiques.

⁴ <https://group.vattenfall.com/press-and-media/news--press-releases/pressreleases/2019/vattenfall-and-microsoft-pilot-worlds-first-h-ourly-matching-247-of-renewable-energy>

⁵ <https://www.ecojoko.com>

Limiter les dépenses énergétiques du numérique

L'un des aspects les plus énergivores du numérique est le transfert et le visionnage de photos et de vidéos sur internet. Et sur ce point, l'IA peut être une source d'amélioration. Nous l'avons déjà constaté quelques lignes plus haut, le géant Google se sert déjà de l'IA pour diminuer son empreinte énergétique au niveau de ses data centers. Depuis 2017, le plus célèbre des moteurs de recherches utilise également de l'IA pour compresser ses images et réduire ainsi la consommation de bande passante⁶.

Après Google, c'est maintenant JPEG (Joint Photographic Experts Group) qui cherche à réduire la taille de ses formats de photos (JPG, JPEG,...) sans pour autant perdre en qualité. La société a lancé le programme JPEG IA en 2020 afin de trouver des pistes pour remplir son objectif grâce à l'IA⁷. D'autres grands noms du numérique se sont déjà penchés sur ce sujet, Netflix notamment, utilise l'IA pour mettre au régime ses vidéos⁸. En effet, la plateforme a réussi à diviser la consommation de bande passante par deux, sans perdre en qualité de diffusion.

⁶ https://www.rtf.be/tendance/techno/detail_google-utilise-l-intelligence-artificielle-pour-compresser-les-photos?id=9504343

⁷ <https://siecledigital.fr/2020/02/24/jpeg-travaille-sur-un-nouveau-format-qui-serait-genere-a-partir-dune-ia/>

⁸ <https://www.irespresso.fr/netflix-intelligence-artificielle-bande-passante-150168.html>

**LAURENT BERNARD**

Co-fondateur de l'entreprise Ecojoko

Vous avez créé Ecojoko pour éviter le gaspillage d'électricité à la maison, comment fonctionne votre solution ?

Comme l'électricité ne se voit pas, sauf pour les ampoules, on ne se rend pas compte qu'on la gaspille en permanence. Cela peut être un appareil mal réglé, comme un frigo typiquement, ou un radiateur, ou encore des appareils qui vont dysfonctionner carrément, un congélateur givré, un chauffe-eau défectueux... Cela peut aussi être des problèmes d'usage, des appareils qu'on pourrait utiliser différemment : baisser le chauffage, ne pas laisser d'appareils en veille... Au global cela représente 25 % de la facture d'électricité des Français, c'est-à-dire environ 300 € par an en moyenne et cela peut être beaucoup plus. Si on fait la somme pour tous les foyers français, on arrive à 8 milliards d'euros par an, ce qui est équivalent à 8 réacteurs nucléaires gaspillés pour rien. C'est juste aberrant économiquement et écologiquement puisque, évidemment, l'énergie la moins chère est celle qui n'est pas gaspillée. C'est le problème qu'on dresse et pour y remédier, notre solution fait trois choses : elle permet de suivre la consommation d'électricité en temps réel, on va donc voir à chaque fois qu'on allume un appareil, combien il consomme. C'est déjà une prise de conscience qui va permettre d'apporter des corrections. Ensuite, l'appareil va vous donner une répartition de la consommation sur les différentes catégories d'appareils et c'est là que l'IA intervient. Il existe 9 catégories qui vont définir où vous dépensez vos euros et vos watts. Enfin, on vous propose des actions, des missions ludiques pour agir sur ces consommations. À la fin, l'objectif est d'atteindre les 25 % de baisse. En agissant individuellement, si on s'y met tous, l'impact peut être très fort.

Comment intervient l'IA dans cette solution ?

Sans l'IA on ne pourrait mesurer que la consommation totale de la maison en watt, à l'instant t. Pour savoir quel appareil consomme, on va mettre en place des méthodologies d'IA, machine learning, deep learning, afin d'analyser le signal. On parle de signature électrique, un frigo ne consomme pas de la même façon qu'une plaque de cuisson par exemple. L'IA va donc servir à faire cette segmentation et catégoriser les différents types d'appareils.

Vous utilisez de l'IA, des capteurs, tout cela dépense aussi de l'énergie, comment faites-vous en sorte d'être cohérent avec votre message écologique ?

Notre dépense est vraiment minime par rapport à l'énergie qu'Ekojoko fait économiser. L'assistant va consommer seulement 1,5 watt donc ce n'est pas grand-chose. Ce qui va consommer le plus d'énergie, si on regarde tout le bilan ACV (Analyse Cycle de Vie) c'est la fabrication du produit en lui-même. Nous avons calculé qu'on avait 14 kg équivalent CO₂ et avec la diminution qu'on met en place chez les clients, cette dépense est rentabilisée au bout de 2 mois et demi d'utilisation. À titre de comparaison, un smartphone haut de gamme va être à 80 kg équivalent CO₂. L'enjeu en termes d'économie est vraiment de décarboner au maximum la fabrication. Ensuite au niveau de l'IA, on ne traite pas d'images, on traite des données très simples donc en termes de ressource énergétique c'est très léger. On surveille l'impact environnemental comme le lait sur le feu et il n'y a pas d'effet rebond avec notre solution. Au contraire, certains installateurs utilisent Ekojoko pour l'éviter. Par exemple, les gens en isolant mieux leur maison se disent qu'ils peuvent augmenter la température chez eux pour profiter d'un meilleur confort et finalement ils dépensent presque autant d'énergie qu'avant l'isolation. S'ils avaient conscience de la dépense énergétique, ils changeraient peut-être leurs pratiques.

Pour qu'il y ait un véritable impact écologique, quel serait le taux d'équipement à atteindre en France ?

Notre objectif est d'atteindre les 5 % de foyers équipés. Si on y parvient, on éteint l'équivalent de la production d'un réacteur nucléaire. 5 % c'est atteignable et cela peut être très impactant.

Une agriculture connectée et responsable

L'agriculture intensive est elle aussi pointée du doigt à cause de ses effets nocifs sur l'environnement et sur notre santé. Si le nombre de cultures bio augmente, les pesticides sont encore très largement utilisés. Ces produits chargés d'assurer un meilleur rendement sont malheureusement l'une des causes de l'épuisement des sols, de la pollution de l'eau et, on le sait moins, de l'air également. D'après un article du Monde, rien qu'en France « entre 40 et 90 substances actives différentes (herbicides, fongicides, insecticides) sont détectées et quantifiées annuellement à l'échelle nationale. ». Le gaspillage partiel de récoltes doit également être traité. L'IA peut guider les agriculteurs sur une voie écoresponsable tout en leur permettant d'améliorer leur rendement.

¹ <https://www.lemonde.fr/planete/article/2019/12/18/les-pesticides-polluent-aussi-l-air-querespirent-les-francais60232863244.html>



Lutter contre le gaspillage alimentaire

Pendant la crise sanitaire, le manque de main d'œuvre dans le domaine de l'agriculture s'est fait ressentir en France. À cause de la fermeture des frontières, les saisonniers qui viennent habituellement d'autres pays européens n'ont pas été autorisés à se déplacer, beaucoup d'agriculteurs n'ont donc pas pu récolter une partie de leur production². Dans son livre *I.A La plus grande mutation de l'Histoire*, Kai-Fu Lee évoque l'existence de robots « ramasseurs de fraises » qui ont appris à distinguer les fruits assez mûrs pour être ramassés sans les abîmer³. En plus d'être rapides et efficaces, ces robots évitent que les fruits pourrissent sur place en attendant d'être cueillis.

L'IA peut ainsi être une solution pour pallier le manque de main d'œuvre dans l'agriculture et devenir un facteur de rendement. Mais est-ce vraiment utile ? Si on se fie aux informations données par l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), la production agricole actuelle serait déjà largement suffisante pour nourrir toute la population mondiale⁴.

²<https://www.franceculture.fr/economie/la-covid-19-revele-la-dependance-de-lagriculture-a-la-main-doeuvre-etrangere>

³<https://www.usinenouvelle.com/editorial/en-images-quatre-prototypes-de-robots-cueilleurs-defruits.N807835>

⁴<https://www.inegalites.fr/800-millions-de-personnes-sous-alimentees-dans-le-monde>



Dr Vishuu Mohan's Robotic Arm © University of Essex

Ci-dessus

Les robots «cueilleurs de fraises», plus précis et rapides que la main humaine, permettraient de pallier le manque de main d'œuvre lors des récoltes et d'éviter les pertes.

Éviter la surconsommation d'eau et de pesticides

L'IA aide les agriculteurs à optimiser la consommation d'eau pour l'irrigation des cultures et l'utilisation des pesticides en exploitant des données météorologiques. Aujourd'hui, des entreprises comme ITK proposent des solutions d'aide à la décision avec des modèles basés sur l'IA, sans avoir besoin de capteurs dans les champs⁵. Une autre manière pour l'agriculteur de gérer son exploitation de manière durable et responsable, une solution à la fois écologique et économique.

*Ci-dessous
Avec l'IA les
agriculteurs
sont guidés pour
optimiser
les traitements.*

⁵ <https://www.itk.fr>





ALINE BSAIBES
Directrice Générale
de l'entreprise ITK

Quels sont les services qu'apportent ITK au monde agricole ?

Notre activité consiste à développer des logiciels d'aide à la décision pour l'ensemble des acteurs de la chaîne de valeur agroalimentaire. Les utilisateurs sont les conseillers agricoles et les agriculteurs. Notre outil va les aider à gérer de manière rationnelle leur exploitation : Quel est le meilleur moment pour planter ? Quelle variété planter suivant le climat et le sol ? Quand faut-il traiter, fertiliser, irriguer et en quelle quantité ? Le but est de mesurer l'impact de chaque décision que prend l'agriculteur sur ses cultures. Depuis 3 ans nous avons également acquis une entreprise qui faisait la même chose que nous mais pour l'élevage. Là il ne s'agit pas que de logiciels, il y a des capteurs placés autour du cou des vaches qui vont récolter de la donnée. Cette donnée est ensuite traitée par des algorithmes d'IA en deep learning. L'éleveur va pouvoir ainsi surveiller ses vaches en temps réel : il saura si elles sont prêtes à être inséminées, si elles sont bien nourries, si elles sont sur le point de vêler... Ces alertes diminuent fortement le taux de mortalité des veaux et des vaches qui mettent bas.

L'agriculture intensive a un impact indéniable sur notre environnement, comment l'IA peut aider l'agriculture à devenir plus « green » tout en gardant la même productivité ?

Aujourd'hui les agriculteurs se basent sur des normes apparues dans les années 70-80 voire 90, qui viennent d'expériences et de recherches du passé. C'était très bien à cette époque, mais cette normalisation de l'agriculture ne peut plus être d'actualité. Tout est en train de changer. Le climat change, les variétés plantées ne sont plus les mêmes et le sol a été sacrément appauvri suite à toutes ces années de surexploitation. Le problème c'est que ces changements sont tellement rapides, qu'on n'a pas le temps de rechercher et d'expérimenter de nouvelles normes, elles seront obsolètes avant

d'être appliquées. En revanche les connaissances sur le fonctionnement des sols, des plantes, sur leurs interactions avec l'atmosphère, sur la gestion des maladies, sont assez avancées et nous avons la possibilité de mettre toute cette connaissance derrière des équations mathématiques. Avec la multitude d'éléments à intégrer ensemble, un cerveau humain tout seul ne sera pas capable de les traiter, alors qu'un algorithme lui peut. Il saura prendre en compte tout ce qu'il se passe dans le sol, anticiper la météo, savoir comment la génétique de la plante va réagir, etc... Chez ITK, nous sommes des intégrateurs de cette connaissance. Nous permettons à l'agriculteur de s'adapter à chaque situation. Par exemple, l'algorithme va pouvoir lui dire qu'il n'y a pas de pression maladie et que ce n'est pas la peine de faire un traitement pesticide. Pour l'irrigation c'est pareil. Les quantités d'eau utilisées dans l'agriculture sont astronomiques, alors que la moitié ruisselle, une autre partie sera drainée dans les nappes emportant au passage les fertilisants, au bout du compte il ne reste presque rien pour la plante. C'est exactement la même chose pour les fertilisants. Les agriculteurs en mettent souvent beaucoup trop à des dates habituelles. Nous avons montré qu'en fonction de la situation climatique de l'année, de la date de plantation, les dates préconisées et les quantités à apporter ne sont pas toujours les mêmes. C'est important, parce que si l'agriculteur fertilise son sol avant une grosse pluie, une partie des fertilisants va être lessivée dans les nappes et donc les polluer, et une autre partie va se volatiliser en produisant du gaz à effet de serre. L'IA permet de faire des modèles qui eux vont simuler plusieurs cas de figure possibles et permettre à l'agriculteur de prendre une décision raisonnable et économique.

Vous pensez que les nouvelles technologies représentent l'avenir pour une agriculture plus écologique ?

Effectivement, et c'est juste une question de temps. Il faut que cette démarche soit poussée par des prescripteurs et des subventions qui permettent une première vague d'adoption à grande échelle. Après, il ne faut pas que les agriculteurs se retrouvent avec une multitude d'outils, et passer leur temps à rentrer des données dans des logiciels. Ils ont déjà tellement à faire, ce n'est pas l'objectif d'alourdir leur gestion, au contraire le but est de les aider à la décision et de leur faciliter la tâche. Donc l'enjeu n'est pas que le passage aux nouvelles technologies, c'est aussi de trouver comment les rendre faciles d'utilisation pour les agriculteurs.

Prévoir les catastrophes naturelles et s'adapter aux changements climatiques

La dernière expédition très médiatisée de Mike Horn en Arctique en décembre 2019 n'est qu'un témoignage supplémentaire du dérèglement climatique et de ses conséquences. L'aventurier a été frappé par l'incroyable fonte des glaces qu'il a constatée sur place. « La glace, qui faisait 2,50 mètres d'épaisseur autrefois au pôle Nord faisait cinq centimètres d'épaisseur », raconte Mike Horn à France Info, « En 2006, au cercle polaire, je voyais des ours, et là, pendant cent jours, je n'en ai vu aucun. Où sont-ils ? C'est une autre indication des changements climatiques¹. Et si l'IA jouait un rôle pour nous aider à éviter le pire ?

¹ <https://www.francetvinfo.fr/replay-radio/ils-ont-fait-l-actu/ils-ont-fait-l-actu-que-devient-mikehorn-l-aventurier-sauve-in-extremis-sur-la-banquise4026401.html>

Ci-dessous

«En 2006, au cercle polaire, je voyais des ours, et là, pendant cent jours, je n'en ai vu aucun. Où sont-ils ? C'est une autre indication des changements climatiques.»
- Mike Horn.





Limiter l'impact du changement climatique sur l'agriculture

Comme nous l'a expliqué Aline Bsaibes, directrice générale d'ITK, les agriculteurs ne peuvent plus se fier aux anciennes habitudes pour gérer leurs exploitations. Avec le dérèglement climatique, la météo qui par essence était déjà difficile à prévoir, devient encore plus aléatoire. L'expérience ne suffisant plus, l'IA peut se révéler être d'un grand secours. Grâce à sa capacité de calcul et la masse de données météorologiques qu'elle peut traiter, l'IA est une solution pertinente pour améliorer les prévisions météorologiques et l'anticipation d'événements climatiques extrêmes. Une aide précieuse pour des agriculteurs qui peuvent voir toute une récolte s'effondrer à cause d'une météo capricieuse.

*Ci-dessus
Les dégâts
provoqués
par la météo
sont toujours
imprévisibles.
Aujourd'hui
l'IA peut aider
les agriculteurs
à sauvegarder
leur récolte en
anticipant ces
phénomènes
climatiques
exceptionnels³.*



ALINE BSAIBES
Directrice Générale
de l'entreprise ITK

Dans quelle mesure, l'IA pourrait permettre aux agriculteurs d'anticiper les changements climatiques qui s'opèrent en ce moment et de protéger leurs cultures ?

Je vais vous donner un exemple très précis sur lequel nous sommes en train de travailler chez ITK : les appellations de vin dans le Bordelais ou dans le Languedoc menacées par le changement climatique. Il existe un cahier des charges très précis que doivent respecter les agriculteurs pour obtenir l'appellation. Seulement ces spécifications ne permettront plus aux agriculteurs de produire les mêmes vins car elles n'ont pas évolué depuis des années. Nous avons fait des projections suivant les différents types de scénarios climatiques connus, et nous avons montré qu'il fallait absolument changer les pratiques de vinification et de conduite du vignoble pour continuer à produire un vin d'appellation avec les mêmes caractéristiques qu'aujourd'hui . En résumé, on a vu comment se comporteront les vignes suivant différents scénarios climatiques futurs et avec l'IA, on pousse objectivement à changer les règles.

Protéger la population des espaces urbanisés

En ville, l'aménagement urbain n'a pas été pensé pour supporter ces nouvelles catastrophes naturelles qui peuvent avoir des conséquences graves d'un point de vue matériel et humain. En 2018, la municipalité de Hong Kong a annoncé sa volonté de devenir une smart city avec entre autres, des recherches pour assurer la sécurité de ses habitants menacés par différents aléas climatiques⁴. Avec l'IA, il sera possible de prévoir l'arrivée des typhons, un phénomène météorologique très courant en Asie et qui induit régulièrement d'importants dégâts. Autre problème auquel doit faire face Hong Kong : les collines qui entourent la ville sont creusées années après années pour agrandir l'espace urbanisé et pourraient provoquer des glissements de terrain en cas de pluies importantes. Un véritable danger pour les populations locales et l'écosystème. Afin d'éviter un tel désastre, l'IA vient en renfort des autorités dans le but d'anticiper les phénomènes climatiques, à partir de données météorologiques, d'analyses de prises de vue aériennes et de données issues des archives des catastrophes précédentes.

*Ci-dessous
Les typhons
sont monnaie
courante à Hong
Kong, pour
les anticiper
et protéger sa
population, la
ville compte sur
les progrès de
l'IA.*

⁴<https://usbeketrica.com/article/l-ia-peut-elle-sauver-la-planete>



Analyser l'impact des catastrophes naturelles sur la nature

Si l'IA peut aider à protéger les zones urbanisées face à des phénomènes climatiques hors normes, elle peut être utile pour analyser les effets du changement climatique sur la biodiversité. La faune et la flore qui peuplent notre planète pourront-elles survivre à ce réchauffement du climat et aux catastrophes naturelles qu'il provoque ? C'est à cette question que tentent de répondre Maria Uriarte, professeure d'écologie, d'évolution et de biologie environnementale à l'Université de Columbia, et Tian Zheng, professeur de statistique à l'Institut des sciences des données. Grâce à une subvention accordée par Microsoft, les deux chercheurs sont allés étudier les conséquences de l'ouragan Maria sur la forêt nationale d'El Yungue à Porto Rico⁵. Les dégâts occasionnés par l'ouragan ont été considérables avec des milliers d'arbres détruits par les vents violents. Le but de cette étude est de déterminer quels sont les arbres qui ont résisté à la catastrophe et ceux qui n'ont pas survécu. Une analyse impossible à réaliser sans passer par des images du site vu du ciel, comme celles prises par la NASA en 2017. Pour distinguer toutes les espèces d'arbres sur des milliers de photographies de ce type, il faudrait un temps incalculable. C'est à ce stade que l'IA entre en scène. Grâce au travail de cartographie et d'identification des arbres réalisé en amont par Maria Uriarte, l'IA, en se basant sur ses données, est capable de différencier toutes les espèces d'arbres vues d'en haut sur photographie. Les résultats de ces analyses pourront ensuite être transposés à d'autres territoires.

⁵ <https://blogs.ei.columbia.edu/2018/06/05/artificial-intelligence-climate-environment/>

Au Chili l'IA est utilisée pour détecter les incendies de forêt dès les départs de feux afin d'intervenir plus rapidement⁶. Plusieurs programmes de recherche visent également à prédire les incendies avant qu'ils ne surviennent, en traitant des données météorologiques passées⁷.

⁶ <https://www.geo.fr/environnement/au-chili-des-capteurs-dans-les-arbres-utilisent-lia-pouranticiper-les-feux-de-foret-200078>

⁷ <https://theconversation.com/lintelligence-artificielle-comme-outil-de-lutte-contre-les-incendies143562>

*Ci-dessous
La forêt
nationale d'El
Yungue
à Porto Rico a
été dévastée par
l'ouragan Maria
en 2017.*



© Alessandro Cai (OliverZena)

Préserver l'écosystème de la planète

Réchauffement climatique, incendie, pollution des eaux, braconnage, surpêche, déforestation... ont des conséquences catastrophiques sur la biodiversité. Le dernier rapport de l'ONU établit qu'environ 1 million d'espèces animales et végétales sont maintenant menacées d'extinction¹. Cependant, ce rapport montre aussi que la situation est encore réversible si des actions à la fois locales et mondiales se mettent en place dès à présent pour préserver et restaurer la nature. Seule une forte volonté politique peut donc garantir la préservation de notre environnement, et l'intelligence artificielle est une aide potentielle dans cette entreprise.

Lutter contre l'appauvrissement de l'écosystème marin

Devant l'urgence de la menace qui pèse sur la biodiversité et la masse de travail qui s'annonce pour réparer les ravages de l'Homme sur la nature, des technologies avancées semblent indispensables pour mettre un coup d'accélérateur et enclencher des actions concrètes. L'IA est déjà utilisée pour faciliter la protection de notre écosystème, notamment à travers des initiatives comme AI FOR EARTH créée par Microsoft². Nous l'évoquons dans la partie précédente, Microsoft délivre des subventions et met également à disposition sa technologie d'IA pour soutenir des projets en faveur de l'environnement. Parmi les actions portées par Microsoft, on trouve notamment la surveillance de la baie de Chesapeake aux Etats-Unis.

[...] de nombreux projets liant l'IA à la protection des océans ont vu le jour.

¹ <https://news.un.org/fr/story/2019/05/1042791>

² <https://www.microsoft.com/fr-fr/ai/ai-for-earth>

Grâce à l'analyse ultra fine d'images, rendue possible par l'IA, la zone est maintenant cartographiée bien plus précisément qu'auparavant ce qui facilite la surveillance de la baie et de sa biodiversité riche mais précaire³.

Plus largement, Microsoft s'est également associé à l'organisation de protection de l'environnement The Nature Conservancy pour repérer géographiquement toutes les espèces océaniques en utilisant l'IA⁴. Le but est de créer des modèles d'aide à la décision afin de déterminer quelles sont les zones qui pourront être exploitées par l'Homme (pêche, récolte de fruits de mer, tourisme. ...) sans mettre en péril l'écosystème sous-marin. Une solution pour préserver la vie marine tout en prenant en compte l'économie liée aux océans.

De nombreux projets liant l'IA à la protection des océans ont vu le jour. L'un des plus marquants reste le projet Soft Robotic Fish, un poisson-robot capable d'observer discrètement les animaux marins sans les perturber dans leurs habitudes⁵. Une manière pour les scientifiques de récolter des informations sur les conséquences de la pollution des océans sur les poissons dans le respect de leur environnement.

³ <https://news.microsoft.com/on-the-issues/2018/01/26/ai-earth-aims-powerful-technologyplanets-biggest-environmental-threats/>

⁴ <https://blogs.microsoft.com/green/2018/04/19/the-nature-conservancy-case-study/>

⁵ <https://www.csail.mit.edu/research/soft-robotic-fish>

D'autres initiatives tentent de lutter directement contre la pollution responsable de l'appauvrissement de la biodiversité des océans. Premier exemple avec le projet The Ocean Cleanup qui fait appel à la robotique pour nettoyer massivement les eaux. Des robots autonomes de plus de 600 m de long, commandés par l'IA, sont chargés de repêcher jusqu'à 5 tonnes de plastiques par mois, des déchets qui devraient ensuite être recyclés⁶. Une autre action visant à dépolluer les eaux, a été lancée par ellipsis.earth qui se sert de drones pour retrouver les plastiques dans l'eau⁷. La détection des plastiques est réalisée grâce à l'IA.

*Ci-dessous
The Ocean
Cleanup utilise
l'IA pour
nettoyer
les océans.*

⁶ <https://theoceancleanup.com>

⁷ <http://www.ellipsis.earth>

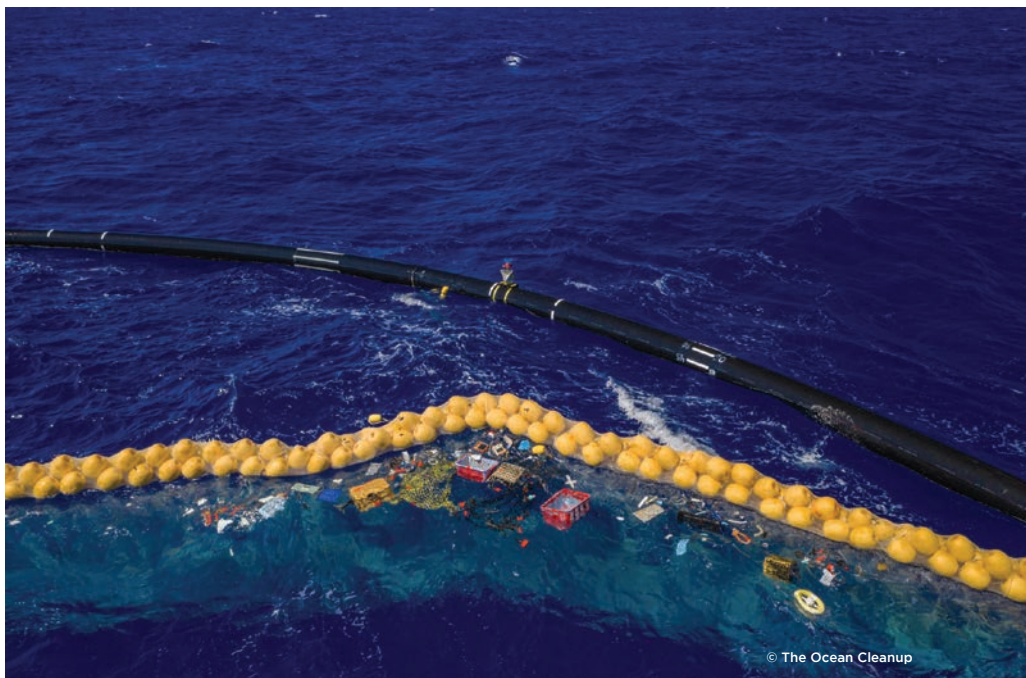


Les cas d'usages de l'IA en faveur de la protection de l'environnement sous-marin se multiplient : cartographie des fonds sous-marins pour la protection des coraux⁸, surveillance des espèces envahissantes menaçant l'équilibre de la biodiversité⁹, ou encore contrôle de la surpêche¹⁰, l'IA semble être un outil formidable pour analyser des données en temps réel qui permettront des interventions rapides et ciblées.

⁸ <https://www.lesechos.fr/tech-medias/intelligence-artificielle/lintelligence-artificielle-plonge-aussecours-des-coraux-1122142>

⁹ <https://www.futura-sciences.com/tech/actualites/robotique-rangerbor-robot-va-defendre-grandebarriere-coral-72673/>

¹⁰ <https://theconversation.com/artificial-intelligence-makes-fishing-more-sustainable-by-tracking-illegal-activity-115883>



Sauvegarder la faune et la flore dans les terres

La biodiversité des fonds marins est fragile mais la situation sur la terre ferme n'est pas meilleure. Animaux et végétaux sont également menacés.

À l'image de ce qui est fait pour cartographier les espèces marines, l'IA est aussi utilisée pour surveiller la biodiversité terrestre. Dans cet esprit, on peut citer le partenariat de l'entreprise SAS avec l'ONG NatureServe. SAS a mis à disposition sa technologie d'IA pour aider l'organisation à identifier rapidement les espèces en voie de disparition¹¹. Ce gain de temps va permettre à NatureServe de mettre à jour plus régulièrement sa base de données à moindre coût et surtout prendre les mesures qui s'imposent pour sauvegarder animaux et végétaux en danger.

Plus étonnant, l'IA se révèle être une arme de lutte contre le braconnage. L'Université de Californie du Sud a monté un projet en ce sens, intitulé « Protection Assistant for Wildlife Security » (PAWS) qui se sert de l'IA pour prédire où et quand les braconniers risquent de frapper à l'avenir¹². En se basant sur des données concernant la criminalité, le comportement des braconniers et les patrouilles passées des rangers, l'algorithme pourra donner des indications très précises afin d'interpeller les braconniers et éviter l'extinction des espèces protégées.

Sauvegarder la biodiversité, c'est aussi rendre à la nature des espaces détériorés par la main de l'homme puis laissés à l'abandon. Dans le Massachussets, aux Etats-Unis, une zone détruite par la production de canneberges a été réhabilitée pour faire revenir la biodiversité. Pour savoir de quelle manière la nature reprenait ses droits, les chercheurs du MIT Media Lab ont disposé des micros afin d'écouter les interac-

tions entre les espèces et savoir si les actions menées pour restaurer les lieux avaient été efficaces¹³. Après 4 ans d'écoute, l'équipe spécialisée en bioacoustique se retrouve avec des milliers d'heures de son à traiter. Un travail de titan qui prendrait un temps infini sans le concours de l'IA. En effet, pour traiter une telle masse d'informations, l'IA s'est vite imposée comme étant la méthode la plus adaptée pour obtenir des résultats rapides et fiables.



¹¹ https://www.decideofr/SAS-aide-NatureServe-a-protger-la-biodiversite-a-l-aide-de-l-intelligence-artificielle_a1944.html#:~:text=Compre%20tenu%20du%20risque%20d,les%20v%C3%A9g%C3%A9aux%20et%20les%20animaux

¹² <https://www.nationalgeographic.com/news/2016/06/paws-artificial-intelligence-fights-poaching-ranger-patrols-wildlife-conservation/>

¹³ <http://www.univ-lemans.fr/fr/actualites/agenda2019/octobre2019/l-intelligence-artificielle-et-la-bioacoustique-au-service-de-la-biodiversite-et-du-bien-etre-animal.html>

**FÉLIX MICHAUD**

Étudiant en Master Bioacoustique
à l'Université du Mans

Votre spécialité est la bioacoustique, pouvez-vous expliquer en quoi cela consiste ?

La bioacoustique consiste à étudier la manière dont le son est produit par les animaux, de quelle façon il va se propager dans leur environnement et ensuite comment il va être interprété par les autres congénères. Pour résumer, c'est l'étude des sons générés par le vivant.

Expliquez-nous quel est le contexte de vos recherches ?

La section Responsive Environnement du MIT Media Lab, dirigée par Joseph Paradiso a installé des microphones sur une zone protégée en restauration dans le Massachusetts. Cette zone avait été détruite par l'industrie de la canneberge, puis ce terrain a été abandonné et la vie ne pouvait pas revenir dans ces conditions. Il y a donc eu un projet de restauration du site auquel le Responsive Environnement du MIT Media Lab s'est lié. Leur objectif était de mettre en place un système pour mesurer le retour de la biodiversité sur le site et cela fait maintenant 4 ans qu'ils enregistrent en continu des données.

De quelle manière l'IA intervient dans ce projet ?

Comme je l'ai dit, cela fait 4 ans de sons enregistrés, c'est donc une énorme quantité de données impliquées, des heures et des heures d'audio à traiter pour essayer de comprendre les interactions entre espèces sur le site. Pour traiter cette masse de données, les algorithmes d'intelligence artificielle sont les plus compétents. Ces algorithmes vont nous permettre de corréler les données et essayer de comprendre les différentes dynamiques des espèces d'oiseaux et des amphibiens.

L'objectif final de ces recherches est de comprendre comment la biodiversité revient sur ce type de site ?

Dans un premier temps on veut en effet mesurer à quel point la vie est revenue sur le site. C'est le premier site en restauration qui est analysé de cette manière à ma connaissance, et l'objectif est de comprendre quel a été l'impact de la restauration de la zone sur la biodiversité. Le but est d'avoir un exemple, pour savoir si sur les prochains sites qui seront restaurés, il faudra refaire pareil ou trouver d'autres solutions pour que la vie revienne plus vite et multiplier le nombre d'espèces. Le deuxième objectif est de faire de l'écoacoustique. Grâce à toutes ces années d'écoute, on obtient des données écologiques, c'est-à-dire des interactions entre le vivant et son habitat. En dehors de la restauration, on peut essayer de comprendre ce qu'il se passe dans la nature en cas d'augmentation de la température de la planète par exemple. Avec des paramètres liés aux changements climatiques, on va tenter de déterminer de quelle manière les espèces vont s'adapter ou pas et ce qui les met en danger. L'intelligence artificielle va nous aider, entre autres, à analyser l'audio pour compter et classer automatiquement le nombre d'espèces sur un site...C'est un énorme gain de temps.

Avant ce projet, vous aviez déjà une conscience écologique forte, est-ce que pour vous l'IA est porteuse de vraies solutions pour préserver la biodiversité ?

Je m'attendais un peu à cette question ! Je vous renverrai à un article de l'ONU qui dit qu'aujourd'hui les premières menaces sur la biodiversité sont la disparition de l'habitat des animaux, la surpêche et l'exploitation des animaux pour se nourrir. Alors je dirais que non, ni l'IA, ni aucune autre technologie ne sera la solution directe à ce problème-là. C'est vraiment un point important parce qu'il y a énormément de « vendeurs de rêves » qui nous promettent que la technologie va résoudre tous nos soucis. En réalité, quand on regarde les causes de la disparition des espèces, de la dégradation des conditions de vie sur la terre, ce n'est pas une technologie développée par l'Homme qui va nous permettre de changer la donne. Toutefois, elle peut nous aider à comprendre les relations entre espèces, et les interactions entre les animaux et leurs habitats pour lutter contre leur disparition. L'IA pourrait aussi nous permettre de savoir comment le changement climatique impacte le vivant. Pour cela on a besoin que la recherche continue d'avancer en IA. Cependant, dans ce domaine c'est la course à la publication. Il y a d'énormes investissements qui poussent certains à faire de la recherche irraisonnée alors que nous devrions plutôt réfléchir à comment nous allons vivre dans un monde où les conditions de vie ne cessent de se dégrader. Je pense que chaque investissement dans les nouvelles technologies devrait avoir l'objectif d'aider les humains à vivre correctement dans leur environnement, mais pas à générer des produits de consommation qui polluent la nature inutilement. La recherche permet de comprendre, l'IA n'est qu'un outil, les décisions pour changer les choses resteront politiques.

Transports autonomes et mobilité durable

L'IA peut limiter la pollution liée aux transports en favorisant des conduites économes et en optimisant les moteurs afin qu'ils soient plus efficaces. Des entreprises du secteur automobile prennent le chemin de l'innovation vers des transports autonomes et durables. Les véhicules autonomes sont d'ailleurs devenus le deuxième pôle d'attractivité du célèbre CES (Consumer Electronic Show) de Las Vegas, avec une explosion de prototypes exposés en 2019¹.

Des constructeurs travaillent à la mise au point de transports partagés, intelligents et écologiques. C'est l'ambition de l'entreprise française Transdev, spécialiste de la mobilité, qui a mis en place un partenariat avec ZF (équipementier automobile allemand) et e.Go (constructeur de voiture électrique) pour développer sa navette écologique et autonome : l'e.Go Mover². Avec une capacité de 15 personnes, ces navettes électriques auraient pour objectif de compléter les réseaux de transports urbains déjà existants. D'autres constructeurs se sont aussi lancés dans la course à l'innovation pour proposer leur propre solution de transports partagés à l'instar de l'entreprise Transdev³, preuve que le mouvement va dans le sens d'une mobilité autonome mais en collectivité. On peut également penser qu'un réseau de transports en commun attractif, à la fois écologique et personnalisé, pourrait déclencher l'abandon de la voiture individuelle, à minima pour les trajets du quotidien.

¹ <https://les-smartgrids.fr/mobilite-propre-autonome-ces-2019/>

² <https://e-go-moove.com/en/>

³ <https://www.transdev.com/fr/nos-solutions/transport-autonome/>



Photo courtesy of e.GO Digital

*Ci-dessus
Bus autonome
e.Go piloté
par l'IA.*

Économie locale et durable

La crise sanitaire de 2020 a fait prendre conscience de l'affaiblissement de notre système productif. Nous avons vécu en premier lieu des pénuries sur des produits de première nécessité puis nous avons vu des entreprises s'adapter rapidement en ne modifiant que très peu leur outil productif pour fabriquer les produits qui manquaient : masques, gel hydroalcoolique. Les Français ont pris conscience de l'importance d'améliorer la *résilience productive* de la France, en développant une certaine autonomie productive.

Depuis 2011 une équipe de chercheurs d'Harvard dirigée par Ricardo Hausmann¹ développe un Atlas de la Complexité Economique² en s'appuyant sur les importations et exportations par pays^[12].

IAT Cohérence est un projet au service de l'Intelligence Artificielle Territoriale. Répondant à l'appel à projets du Centre des Hautes études du Ministère de l'Intérieur-CHEMI, la Fondation UBS a conçu le projet IAT Cohérence³. Ce premier Intégrateur de solutions IAT proposera aux SGAR⁴, préfetures de départements et collectivités territoriales, des scénarios contextualisés de politiques territoriales.

¹ <https://growthlab.cid.harvard.edu/people/ricardo-hausmann-o>

² <https://atlas.cid.harvard.edu>

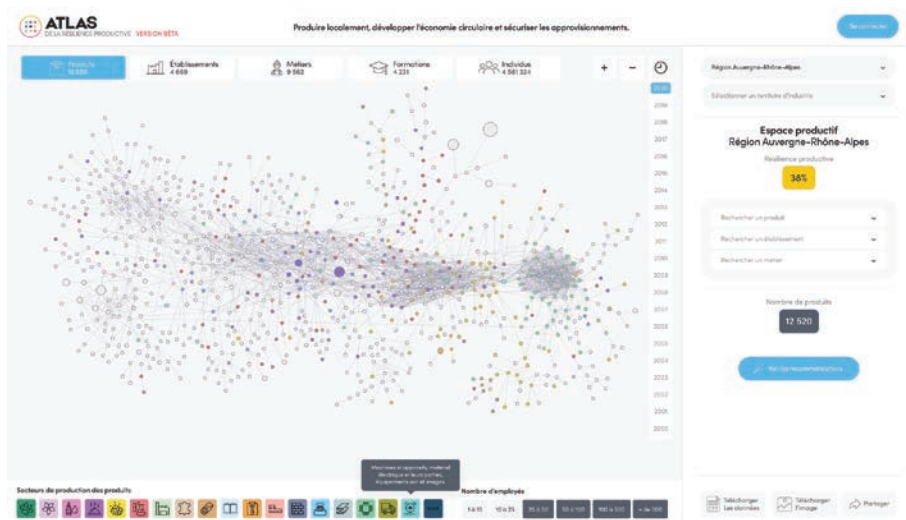
³ <https://www.univ-ubs.fr/fr/universite-bretagne-sud/l-ubs-en-bref/fondation-chaieres/la-chaire-cat-connaissance-et-action-territoriale.html>

⁴ Secrétariat général pour les affaires régionales

Ce projet est dirigé par Raphaël Souchier de l'Université Bretagne Sud, en partenariat avec l'Institut Pascal de l'Université Clermont Auvergne, le cabinet Utopies⁵ et OpenStudio. Il s'agit d'un outil d'aide à la décision pour « réconcilier décision publique et connaissance territoriale », en s'appuyant sur les travaux de Harvard, ainsi que de nombreuses données libérées au niveau des régions.

L'utilisation de l'IA offre un système de recommandation pour les entreprises d'un territoire et les agents de développement. L'IA va suggérer à des entreprises, des clients ou des fournisseurs à proximité de façon personnalisée, dans le but de développer l'économie locale et de limiter les importations. L'IA peut suggérer également à une entreprise de développer un nouveau type de produit, car ce produit n'est pas fabriqué sur son territoire et que son outil productif permet cette fabrication (notion de *sauts productifs* d'un produit A vers un produit B). Enfin, l'IA va identifier des produits stratégiques à développer sur un territoire pour améliorer la résilience productive et ainsi sécuriser les approvisionnements.

⁵ <https://www.utopies.com>



*Ci-dessus
L'Atlas de la
Résilience
Productive
s'appuie du l'IA
pour effectuer des
recommandations
dans le but
d'améliorer
la résilience
productive des
territoires et
de développer
l'économie
circulaire.*

**ADÉLAÏDE ALBOUY-KISSI**

Enseignante-Chercheuse
à l'Université Clermont Auvergne
sur le programme IAT

Comment est né le programme IAT ?

Ce programme IAT est associé à une chaire de recherche de l'Université Bretagne-sud. Parmi mes collègues de Bretagne-sud, Raphaël Souhier défend depuis le début des années 2000, l'idée d'une production locale et d'une économie circulaire. En 2019 le CHEMI (Centre des Hautes Études du Ministère de l'Intérieur) qui travaille sur des sujets d'anticipation ou de prospective, a posé cette question aux chercheurs de Bretagne-sud : Comment peut-on penser l'introduction des méthodes d'IA pour répondre à des questions de politiques territoriales ? Ils se sont donc mis à réfléchir à un projet qui s'appellerait IAT et proposerait la création d'une plateforme de services. Trois types de services sont donc associés au programme IAT qui correspondent à trois enjeux pour les territoires. Le premier est d'avoir une budgétisation verte, « le green budget », le but étant de trouver comment intégrer les objectifs environnementaux dans le budget des collectivités. La deuxième partie du projet concerne le foncier dans l'idée d'avoir un foncier le plus vert possible sans pesticide et autres pollutions de la terre. Enfin le troisième point sur lequel je travaille, est la réindustrialisation des territoires, c'est à dire la mise en place d'une industrie responsable sur tout le territoire. Évidemment l'IA est au cœur de ces trois grandes thématiques, elle doit permettre de définir des processus, une aide à la décision, afin de proposer des scénarios d'actions en intégrant les politiques publiques.

Votre partie du projet concerne la relocalisation, comment l'IA peut aider à réindustrialiser les territoires ?

L'idée de base est déjà de considérer que l'économie peut être décarbonée et qu'on peut sortir des approches binaires, entre d'un côté les « pro-mondialistes » qui ne veulent pas d'une forme d'autarcie, et de l'autre les « ultra-localistes ». Notre position, c'est que face aux enjeux climatiques, il faut réancrer l'industrie sur les territoires et cela doit se faire dans un cadre qui sort du débat manichéen autour de la production locale. Grâce à l'IA, on peut traiter de nombreuses données qui vont nous permettre de prendre des décisions et de les valider de manière rationnelle. Cela s'inscrit dans l'idée qu'à l'ère 2050, « l'ère post carbone » comme l'appellent les chercheurs, on pourra imaginer une économie plus circulaire, plus intégrée, plus locale, plus distribuée sur les territoires et plus respectueuse de l'environnement. À partir de là, il y a de nombreux indicateurs économiques que les acteurs du développement de la politique publique vont devoir s'approprier. Grâce à l'IA, on va pouvoir mettre en phase tous ces indicateurs avec les politiques publiques, afin que nos idéaux se transforment en actions qui soient faisables et concrètes.

De quelle manière votre projet s'inscrit-il dans la transition écologique ?

Comme je le disais, l'objectif est de décarboner l'industrie, il faut donc favoriser les circuits courts et limiter au maximum les transports de produits manufacturés. Il y a aussi un autre intérêt, c'est qu'en diversifiant notre industrie, il sera plus facile de faire face aux changements climatiques ou aux crises sanitaires comme le Covid-19. On sera en capacité, sur des domaines stratégiques, de produire localement, ou de créer des synergies entre les savoir-faire d'un même territoire pour pallier le manque. Et si vraiment le territoire n'a pas de solutions, on pourra imaginer des entreprises plug & play, c'est-à-dire la possibilité que le territoire accueille une petite unité productive qui va fonctionner comme un légo : elle sera modulaire et va pouvoir s'enraciner sur le territoire pour créer une chaîne de valeur productive. Grâce à cet outil on aura une solution sur le long terme qui va permettre de décarboner l'économie de manière significative en créant de vraies synergies productives dans la durée, et aussi une solution éphémère qui pourra permettre de réagir en cas d'urgence climatique ou sanitaire.



PARTIE 3

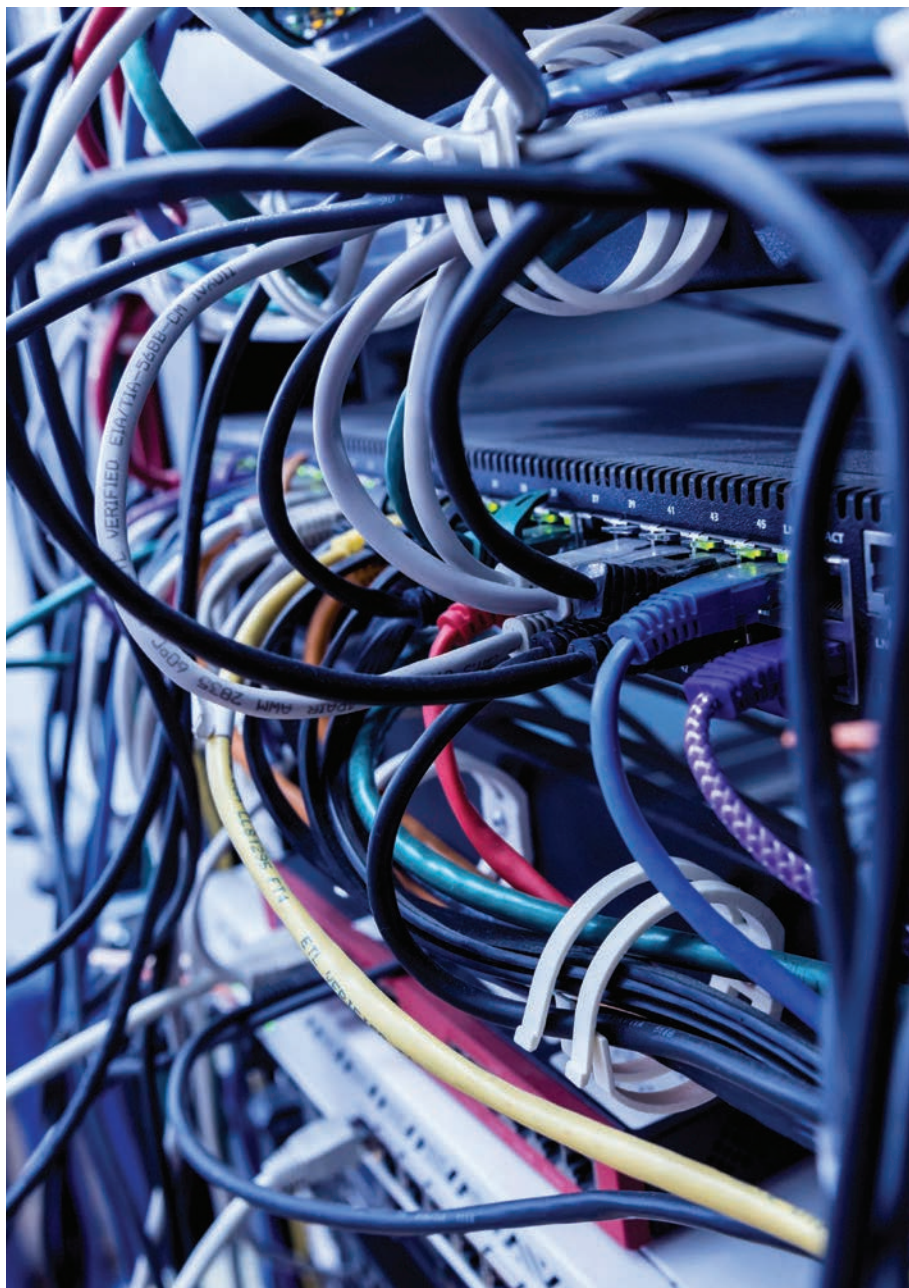
Problématiques environnementales de l'IA

Il faut être conscient que l'IA est une technologie aux multiples facettes. Il est même fondamental de ne pas se voiler la face, afin de partir sur de bonnes pistes, à la recherche d'innovations qui limiteront les effets néfastes du déploiement de l'IA. Garder les yeux grands ouverts sur les dérives actuelles n'empêche pas de croire au potentiel de l'IA. Nous avons maintenant le devoir d'en garder la maîtrise pour en tirer les bénéfices sans condamner notre futur. Il faut se résoudre aujourd'hui à se servir de l'IA, de manière intelligente et responsable.

L'écran de fumée de l'immatérialité du numérique

*Depuis quelques années, vous l'avez sans doute remarqué, nous sommes submergés de mails et de courriers pour nous pousser à choisir la dématérialisation de nos documents. Exit le papier, place au tout numérique, mais est-ce véritablement plus écologique ? Nous avons tendance à penser que le numérique est plus « propre » parce qu'il n'est que virtualité. Seulement le numérique est tout sauf immatériel. Comme le souligne Florence Rodhain dans son livre *La nouvelle religion du Numérique : Le numérique est-il écologique*^[6], le vocabulaire évanescent employé dans le domaine des TIC pourrait nous faire penser que le numérique n'a pas les pieds sur Terre. Pourtant cette fameuse « dématérialisation » et le stockage de données sur « le cloud » ont une présence physique bien réelle et tout à fait palpable : des câbles, des puces, des serveurs souvent bien cachés pour se faire oublier du grand public. Le fantasme d'une totale virtualité est également souvent associé à l'IA alors que cette branche du numérique implique des ressources physiques qui peuvent être considérables. Son impact environnemental est donc indéniable.*

*Ci-contre
Le numérique
n'est pas
immatériel.*



**VINCENT COURBOULAY**

Enseignant-chercheur
à l'Université de La Rochelle
Co-fondateur de l'Institut
du Numérique Responsable

© La Rochelle Université - Mélanie Chaigneau

Pourquoi à l'heure actuelle, le numérique est-il considéré comme l'un des secteurs les plus polluants de la planète ?

Le numérique est une technologie à double visage comme toutes les solutions, que ce soit la voiture, les médicaments, l'argent,... Tout ce qui provient de l'économie humaine possède plus ou moins un visage sombre et celui du numérique a ceci de particulier qu'il impacte l'environnement tout au long de son cycle de vie. Depuis l'extraction des matériaux qui sont nécessaires à sa fabrication jusqu'à sa non gestion de fin de vie, toutes les étapes d'existence du numérique sont néfastes pour la planète. Pour commencer, l'extraction des minéraux et des terres rares se font dans des conditions catastrophiques aussi bien au niveau environnemental que sanitaire. Elle provoque la disparition de la biodiversité, elle ne respecte pas les normes sanitaires pour les personnes qui travaillent dans les mines, utilise des solutions acides ultra polluantes, et demande un usage massif d'énergie primaire. Une fois que ces matières premières sont extraites, on les bascule ensuite dans des usines installées dans des pays d'Asie du Sud-Est, là encore les conditions environnementales et sanitaires sont déplorables. Rien que la fabrication des objets numériques représente trois quart des effets négatifs que peuvent avoir ce type de produits sur l'environnement. Ensuite vous avez la pollution de leur transport dans des containers sur des cargos. Puis on arrive aux infrastructures nécessaires comme les data centers et les équipements terminaux qui vont utiliser de l'énergie pour faire tourner tout ça. Des surfaces agricoles entières sont rayées de la carte pour pouvoir bâtir de plus en plus de data centers qui vont supporter toutes les technologies 4G, 5G et bientôt 6G. Une fois que ces équipements sont arrivés au terme de leur courte vie, on les retrouve pour la plupart dans des circuits mafieux et des décharges à ciel ouvert.

Peut-on chiffrer l'impact du numérique sur l'environnement ?

Pour vous donner une idée, le numérique pollue plus que l'aviation civile ! Le numérique est responsable d'environ 5 à 6 % des émissions de gaz à effet de serre. Il consomme environ 10 % de l'électricité mondiale et c'est un chiffre en progression constante. Enfin, on va bientôt arriver à près de 80-90 milliard de kilos de déchets électriques et électroniques dont des objets numériques.

Quels sont les usages qui polluent réellement ?

Vos achats. Tout ce que vous achetez pollue, que cela soit du matériel informatique, des smartphones, des séries ou des films... Et ensuite l'utilisation de ces vidéos et photos. Lorsque vous achetez une voiture, ce qui pollue c'est d'en acheter une neuve puis de laisser tourner le moteur. C'est pareil pour le numérique, ce qui pollue vraiment c'est l'achat et ensuite de laisser tourner les serveurs. Plus vous stockez de données, des photos, des vidéos, plus cela fait tourner les data centers qui sont comme des moteurs qui tourneraient 24 heures sur 24.

Le numérique, fossoyeur de ressources naturelles rares

Aujourd'hui la production à grande échelle d'objets numériques est en grande partie responsable de l'épuisement des ressources naturelles de la Terre. Que cela soit la fabrication d'appareils grand public (smartphone, tablette,...) ou liée aux déploiements de l'IA (capteurs, caméras, robots...), le problème est le même : les matériaux qui entrent dans leur composition sont de plus en plus difficiles à extraire. Plus le numérique gagne du terrain, et plus nous creusons un peu plus profondément pour trouver ces métaux précieux et ces terres rares, indispensables à la production de ces objets numériques^[3]. De l'épuisement des ressources naturelles rares à la pollution des sols en passant par la déforestation, les exploitations minières, qui ne cessent de s'agrandir, causent des dégâts écologiques très sérieux.

*Ci-dessous
Extraction
de terres rares
en Chine.*



**CÉDRIC VASSEUR**

Conférencier et formateur en IA
et robotique

Pour déployer l'IA, nous avons besoin de matériaux rares et donc de puiser dans des ressources naturelles qui ne se renouvellent pas. Peut-on croire au développement de l'IA si on ne trouve plus ces terres rares et ces métaux précieux indispensables à la fabrication d'objets connectés ?

On peut y croire parce que d'autres techniques de fabrication sont sur le point d'émerger. Par exemple, une société qui s'appelle LightOn utilise des rayons laser avec des plaques en verre pour faire de l'IA. On est également en train de travailler sur des processeurs biologiques qui utilisent de la matière organique. Même si aujourd'hui l'essentiel de ce qui est développé en IA utilise effectivement des métaux rares, il y a des recherches en cours sur de nouveaux matériaux et de nouvelles façons de faire qui seraient plus écologiques et qui nécessiteraient moins de métaux rares. On cherche aussi comment retraiter ces métaux rares pour éviter de les dilapider et les faire disparaître. Etant donné que ce sont des produits rares, donc coûteux, et que nous sommes dans une société de consommation, on essaye forcément de faire des économies en utilisant moins de matériaux non renouvelables. C'est aussi bête que ça. Il y a la pensée écologique, mais la pensée financière qui est derrière va pousser à trouver d'autres solutions. Le jour où on arrivera à mettre moins de métaux rares dans nos téléphones portables, on sera vraiment sur la bonne voie.



© Joshua Sordino / Unsplash

Des centres de données voraces en énergie

Outre les diverses pollutions provoquées par la fabrication des objets connectés, n'oublions pas les data centers chargés de stocker toutes les données collectées sur le *cloud*. Un nuage qui pèse sacrément lourd¹. Tous ces serveurs en surchauffe sont des monstres qui avalent des quantités phénoménales d'eau et d'électricité. Dissimulés sous l'océan ou dans des hangars climatisés à l'abri des regards, ces centres de données ne sont pas forcément connus du grand public. L'internaute qui envoie son mail en toute innocence ne se doute pas que ce dernier passe par des câbles et se retrouvent sur des serveurs ultra énergivores. Lorsque nous enregistrons nos 3000 photos de vacances sur le *cloud*, nous n'avons pas la sensation de dépenser de l'énergie, pourtant elles sont bien stockées dans ces lieux

¹ <https://www.lebigdata.fr/cloud-energie-chine>



physiques, sur des serveurs qui enflent à vue d'œil pour répondre à nos besoins toujours plus grands. Aujourd'hui, on trouve 8,4 millions de data centers disséminés dans le monde². Un chiffre qui ne risque pas d'être revu à la baisse avec la démocratisation de l'IA et du *deep learning*. Pour s'entraîner à identifier un type d'objet sur une image par exemple, il lui faut de nombreuses heures d'apprentissage et donc des serveurs puissants qui tournent en permanence pendant des mois. L'intérêt de l'IA réside aussi dans sa capacité à traiter de gigantesques volumes de données pour aider à la prise de décision. À l'image de nos 3000 photos de vacances, toutes ces données doivent bien être stockées quelque part. Ainsi l'IA engendre rapidement des dépenses énergétiques très importantes³.

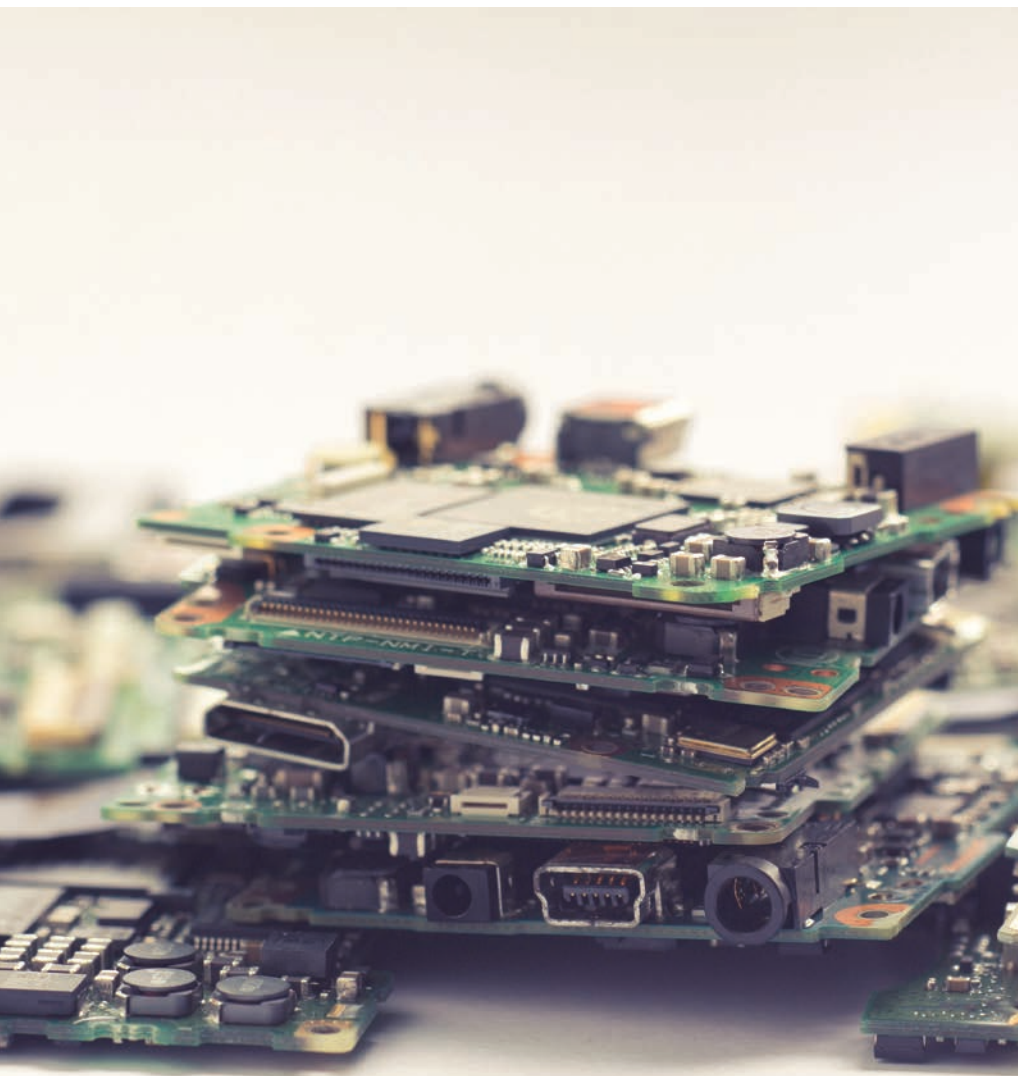
² <https://www.statista.com/statistics/500458/worldwide-datacenter-and-it-sites/>

Des déchets électroniques qui s'amoncellent

D'après Éric Vidalenc, spécialiste des questions énergétiques, « plus on est high tech, moins on est recyclable ». En se basant sur l'étude du recycleur Belge Umicore, il révèle dans son essai *Pour une écologie numérique*^[21], que sur 60 métaux qui composent un smartphone, seuls 17 ont des chances d'être recyclés. Le souci est le même avec le matériel nécessaire au fonctionnement de l'IA. Capteurs, robots, et autres caméras intelligentes sont des concentrés de technologie qui s'invitent déjà de plus en plus fréquemment dans nos objets du quotidien et qui finiront tôt ou tard par être jetés. Des déchets électroniques qui ont un taux de recyclage proche du néant du fait de la miniaturisation et de la multitude de matériaux qui les composent. Évidemment ces déchets ne restent pas dans les pays occidentaux sous les yeux des consommateurs, ils sont envoyés dans des pays en voie de développement, en Afrique ou en Asie, qui croulent sous notre vieux matériel hors d'usage⁴. Des conséquences écologiques catastrophiques pour la population locale qui cultive des sols pollués par la dissolution de métaux lourds présents dans ces objets numériques. Sans parler des produits chimiques indispensables à la production des TIC : phtalates, solvants, nonylphénols, etc, qui s'infiltrent jusque dans les nappes phréatiques et polluent les eaux^[3].

[...] sur 60 métaux qui composent un smartphone, seuls 17 ont des chances d'être recyclés

⁴ <https://www.digitalbusiness.africa/dechets-electroniques-comment-lafrique-est-devenu-ledepotoir-de-leurope-et-queelles-solutions-adopter/>



L'effet rebond du numérique

Qu'est-ce que l'effet *rebond* ? Dans le cadre qui nous intéresse, c'est-à-dire l'impact du numérique, et par extension de l'IA, sur l'environnement, il s'agit de l'annulation des effets bénéfiques d'une technologie, par le nouveau comportement qu'elle induit. Donnons un exemple concret qui parle à tout le monde : la consommation de papier. On pourrait penser que la fameuse *dématérialisation* aurait eu un effet positif sur notre consommation de papier et aurait permis de freiner la déforestation. Malheureusement, c'est tout à fait l'inverse. Selon les auteurs du livre *Impacts écologiques des Technologies de l'Information et de la Communication*^[1], un rapport démontre que la production mondiale de papier s'élevait à 375 millions de tonnes en 2009, alors qu'elle était d'environ 170 millions de tonnes dans les années 80. Pourquoi ce phénomène ? Plusieurs



explications : premièrement, Internet nous a ouvert l'accès à une masse d'informations imprimables. Deuxièmement, il est aujourd'hui très simple de se procurer une imprimante, donc tout le monde peut imprimer ses documents à la maison, ce qui n'était pas le cas avant. Enfin, même si nos documents importants nous sont envoyés par mail, la tentation est grande de les conserver sur de multiples espaces de stockage : clef USB, disque dur externe, sans oublier la version papier.

L'autre effet rebond très notable concerne les transports. Grâce à internet, nous avons la possibilité de communiquer facilement à distance partout dans le monde. Par conséquent, les visio-conférences et le télétravail auraient dû avoir raison de nos déplacements professionnels et diminuer la pollution provoquée par les transports. Le contact humain étant toujours privilégié, les déplacements n'ont pas diminué. Pour ceux qui ont choisi le télétravail, cela s'accompagne souvent d'un allongement de la distance entre leur domicile et leur entreprise, ce qui signifie plus de temps de trajets lorsqu'il faut tout de même aller sur son lieu de travail de temps à autre. Le numérique n'a donc pas résolu le problème du papier, ni le problème de la pollution des transports, comme promis, pire, il les a amplifiés. On peut donc se demander si des applications de l'IA comme les voitures autonomes n'auraient pas le même résultat inopportun. C'est le point de vue que défend le site Reporterre.net dans un article qui dénonce l'effet rebond que pourrait provoquer la généralisation des voitures autonomes, pourtant annoncée comme le futur de la mobilité

**les véhicules autonomes
seraient donc une belle
opportunité pour diminuer
les dépenses énergétiques
et l'émission de CO2 liées
à la mobilité**

durable⁵. L'article cite notamment le rapport du cabinet d'analyse financière Morgan Stanley^[18], qui soutient le fait qu'une voiture autonome trop attractive aurait trois effets négatifs majeurs : elle détournerait les gens des transports en commun, elle multiplierait le nombre de véhicules sur la route et elle prolongerait les temps de trajet puisque la fatigue liée à la conduite ne serait plus un problème : « Si l'automobile devient un moment de confort, dépourvu de stress, qui offre au consommateur son espace privé, des horaires flexibles, et presque aucune tâche de conduite, le consommateur pourrait échapper aux désagréments des transports publics en optant pour la "conduite" d'un véhicule autonome personnel. » Comme nous l'avons évoqué dans la première partie de cet ouvrage, les véhicules autonomes seraient donc une belle opportunité pour diminuer les dépenses énergétiques et l'émission de CO₂ liées à la mobilité, si cette technologie était réservée dans un premier temps aux transports partagés.

⁵ <https://reporterre.net/La-voiture-autonome-Une-catastrophe-ecologique>

**LAURENT BERNARD**

Co-fondateur de l'entreprise Ecojoko

Comment faire pour réveiller la conscience écologique des personnes ?

Des études montrent qu'en France, les gens ont envie d'agir individuellement mais ne trouvent pas de solutions. Ce n'est pas une solution de leur dire de ne pas prendre l'avion, c'est juste une contrainte. Il faut leur proposer des actions simples. La France est une grande puissance mondiale, je crois qu'un Français consomme trois fois les ressources qu'il devrait consommer, et d'autres pays vont bientôt atteindre notre niveau de vie occidental, il faut donc montrer la voie. Si nous redescendons d'un cran, les autres pays suivront. C'est vertueux. Il faudra du temps, Rome ne s'est pas faite en un jour, mais il y a du sens à commencer à proposer un autre modèle. De notre côté, ce que nous voulons transmettre va au-delà d'une simple baisse de facture d'électricité, même si ce n'est pas négligeable, c'est aussi une autre façon de voir la vie, d'aller chercher un tout petit peu moins de confort et de consumérisme pour plus de sobriété. Nous sommes persuadés que cette sobriété-là peut être cool, sympa, marrante tout en étant loin des anciens modèles, c'est-à-dire, consommer toujours plus, moins cher, mais des produits de mauvaises qualités. On ne peut pas forcer les gens, cela fait 50 ans que l'État français nous dit comment il faut régler la température chez nous et les gens ne le font pas, donc ce n'est pas comme ça qu'on va les entraîner. Ce qu'il faut c'est faire passer le message de façon bienveillante et très ciblée. Au lieu de rester dans le vague en parlant de montant moyen qui pourrait être économisé, nous on va vous dire comment ça se passe chez vous. On pourra vous dire que vous avez dépensé 150 €, et que vous pourriez descendre à 30 € et vous donner la solution directement ! Si les gens testent et voient que ça marche, ils garderont ces bonnes habitudes. C'est un changement de paradigme, donner une mesure et les moyens de l'améliorer de façon positive à travers une application ludique et très simple.

Les pratiques abusives du numérique

Durant tout leur cycle de vie, les objets connectés provoquent différentes catastrophes écologiques : extractions de matériaux rares non renouvelables, data centers énergivores, difficulté à recycler les déchets électroniques, et même augmentation de la consommation de papier. Pollution de la terre, de l'eau et de l'air, le numérique est donc loin d'être vertueux à ce jour. Pour résumer, plus on fabrique du matériel informatique, plus on pousse la puissance de nos débits internet, plus on maltraite notre environnement. Ce constat alarmant pose question, puisque si nous voulons continuer à bénéficier du confort que nous apporte le numérique, développer l'utilisation de haute technologie comme l'IA et vivre sur une planète respirable, il est grand temps de remettre en question certaines pratiques aux antipodes d'une dynamique écologique.

L'obsolescence programmée

Comme nous l'avons vu précédemment, nous savons que les déchets électroniques sont très peu recyclés, et finissent dans des déchetteries à l'autre bout du monde. Cette recrudescence de déchets électroniques est notamment causée par l'obsolescence précoce de nos appareils numériques^[3].

On peut parler d'obsolescence programmée lorsque les raisons de l'achat d'un matériel numérique neuf viennent de batteries usées et irremplaçables, de périphériques qui ne sont plus adaptés, ou encore des mises à jour de logiciels incompatibles avec nos appareils actuels... Plus puissant, plus performant, plus beau, et même parfois plus « écologique », les arguments marketing sont aussi pléthoriques pour nous faire croire que nos équipements sont obsolètes et doivent absolument être remplacés par du neuf, même s'ils sont toujours en état de marche. Il n'est pas difficile de comprendre pourquoi

les Français gardent leur smartphone seulement un an et demi en moyenne.

Cette obsolescence prématurée est aussi due aux progrès fulgurants du numérique, particulièrement de l'IA, qui demandent un renouvellement constant du matériel informatique pour s'adapter aux nouvelles découvertes et rester performant. D'autre part, des algorithmes d'IA, parfois très complexes, impliquent une puissance de calcul impressionnante ce qui va forcément accélérer l'usure des ordinateurs utilisés. L'obsolescence des objets numériques précipitée par toutes les raisons que nous venons de détailler, accroît le nombre de déchets mais aussi la production de ces équipements, et donc l'épuisement des ressources naturelles rares indispensables à leur fabrication.

Cette recrudescence de déchets électroniques est notamment causée par l'obsolescence précoce de nos appareils numériques.



VINCENT COURBOULAY

Enseignant-chercheur
à l'Université de La Rochelle
Co-fondateur de l'Institut
du Numérique Responsable

© La Rochelle Université - Mélanie Chaigneau

Lors de vos conférences, vous préconisez de faire réparer nos appareils en panne, mais cela s'avère souvent impossible ou beaucoup plus cher que racheter un appareil neuf, alors comment être « numérique responsable » ?

80 % des appareils que l'on change sont réparables. Mais se poser cette question, c'est déjà se poser la question trop tard. C'est en amont de son achat, qu'il faut se demander : comment j'achète et ce que j'achète ? On peut commencer par favoriser des appareils facilement réparables pour les pannes les plus courantes. Il faut aussi faire comprendre aux entreprises que c'est un enjeu financier important de renouveler le plus tard possible les machines, puis leur offrir une deuxième vie, voire une troisième vie dans des associations par exemple.

Ce sont des gestes en tant que particuliers ou entreprises utilisatrices du numérique, mais est-ce qu'il n'y aurait pas des choses à faire du côté du secteur du numérique pour que les fabricants produisent des appareils plus durables et réparables ?

Il y a déjà de belles initiatives, de belles tentatives mais il y a un marché qui est là. Je pense que c'est au niveau politique qu'il faut agir. Il y a un certain nombre de lois qui ont déjà été votées et d'autres qui arrivent sur la réparation, la durabilité, et qui vont changer la donne, parce qu'elles vont donner l'information nécessaire au consommateur. S'il est informé le consommateur, la plupart du temps, va opter pour un matériel réparable ou plus vertueux.

Vous défendez le principe de la sobriété numérique, mais comment faire quand le numérique est partout dans nos vies ?

Pour avoir les bons gestes il faut déjà être informé et avoir conscience de l'impact du numérique. On ne peut pas demander à quelqu'un de moins utiliser sa voiture s'il n'a pas conscience que sa voiture pollue. Il faut aussi avoir une idée de ce qui pollue vraiment. On peut essayer de supprimer le mail de 3 ko qu'on vient de recevoir à juste titre puisqu'on se dit qu'il ne sera pas stocker dans les data centers, mais si c'est pour ensuite binge-watcher toutes les saisons de Black Mirror en 4G, ou s'amuser à prendre en photo sa tasse de café parce que la mousse a dessiné un trèfle à quatre feuilles et la poster en très haute définition sur tous ses réseaux sociaux, il y a des questions à se poser. La sobriété peut être un petit peu culpabilisante. Il faut donc se poser une question essentielle : « est-ce que j'en ai besoin ou est-ce que j'en ai envie ? » Si la réponse est « oui j'ai envie que tout le monde voit ma tasse de café », on sait que cette envie est impactante et on y réfléchira à deux fois. Alors que si j'ai besoin de faire une visio avec mes clients parce que la santé financière de ma boîte en dépend, ce n'est plus la même histoire. J'ai l'habitude de dire : « si vous en avez besoin faites-le, si vous en avez envie ne le faites pas. » Après le problème de l'envie c'est qu'on a aussi besoin de se faire plaisir, seulement aujourd'hui on est dans une société où l'urgence climatique et sociale est telle que l'on doit vraiment se poser la question de la nécessité de cette envie.

Vous êtes enseignant-chercheur à l'université donc vous côtoyez des étudiants, les jeunes se sentent souvent très concernés par l'environnement mais ils sont aussi très connectés. Pensez-vous qu'il serait possible de demander à cette jeunesse née avec Internet d'utiliser le numérique de manière responsable ?

C'est une question qu'on me pose souvent. Moi j'ai 43 ans et c'est ma génération et celle de nos parents qui sont fautifs. Ce n'est pas raisonnable de demander aux jeunes de faire cet effort, alors qu'indirectement ils font déjà le job, parce qu'ils n'ont souvent pas beaucoup d'argent et qu'ils ne renouvellent pas leurs appareils numériques sans arrêt et les gardent même quand ils ont un écran cassé. Ce n'est pas parce qu'ils regardent Netflix qu'il faut leur jeter des cailloux, alors que nous nous sommes gavés de voyages en avion, de voitures neuves, d'appareils derniers cris, sous prétexte qu'on a réussi à obtenir une certaine sécurité financière. Alors les jeunes, qu'on les informe et qu'on leur fiche la paix. D'autant que les réseaux sociaux qu'ils utilisent sont pensés pour être addictifs comme la cigarette.

Les nouvelles générations sont habituées dès la petite enfance à se servir des écrans, notamment à l'école, est-ce que ce n'est pas les conditionner à un usage massif du numérique ?

On commence à en revenir du tout numérique à l'école. Les politiques sont en train de changer d'avis. Il est vrai que pendant 10 ou 15 ans le numérique était le Graal mais aujourd'hui on commence à avoir du recul et aller vers plus de sobriété. Il y a aussi un manque de moyens dans les collectivités qui fait qu'aujourd'hui on prône un peu plus de sobriété numérique, en tout cas en France.

Numérique utile contre Numérique futile

Les nouvelles technologies sont une source de progrès incroyables dans de très nombreux domaines. Le numérique s'est imposé et s'est vite rendu indispensable dans nos vies personnelles et professionnelles. L'objectif ne serait donc pas de rétrograder mais d'innover sans oublier notre bon sens. Aujourd'hui certaines utilisations du numérique, comme la généralisation des tablettes dans les écoles dénoncées par l'ingénieur Philippe Bihouix[4] ou les liseuses numériques fustigées par Florence Rodhain[16], s'avèrent finalement peu efficaces et encore moins écologiques. Pour trouver l'équilibre entre le développement des nouvelles technologies et une conscience écologique forte, la question de l'utilité paraît essentielle.

Cette problématique de l'utilité du numérique se pose particulièrement dans le domaine de l'IA. Nous l'avons vu, l'IA est employée dans de nombreux projets en faveur de l'environnement, tout en étant une technologie ultra gourmande en énergie. Lorsque l'IA est utilisée pour nous suggérer les séries susceptibles de nous plaire sur notre plateforme vidéo, ou complexifier les réactions de personnages dans des jeux vidéos : le coût écologique paraît disproportionné.

**VINCENT COURBOULAY**

Enseignant-chercheur
à l'Université de La Rochelle
Co-fondateur de l'Institut
du Numérique Responsable

© La Rochelle Université - Mélanie Chaigneau

Est-ce que pour vous l'intelligence artificielle est compatible avec le numérique responsable ?

Oui mais pas comme on la fait aujourd'hui. Il faudrait faire une intelligence artificielle tournée vers l'humain et pas que l'humain soit tourné vers l'IA. Avec une IA qui soit réellement utile, totalement utilisable et partageable par tous, là oui je pense que cela serait vraiment une opportunité pour l'environnement. Utiliser l'IA pour prévoir des pandémies, trouver de nouveaux médicaments, anticiper le lieu où va se déclencher telle ou telle catastrophe climatique, d'accord. En revanche si on se sert de l'IA pour s'entendre dire qu'on s'est bien brossé les dents à part peut-être la dent en haut à gauche, là on est sur deux niveaux d'action : une action d'utilité et une action de futilité.

Souvent c'est le côté futile de l'IA qui est le plus médiatisé ...

Oui c'est comme avec les smartphones, à une époque à chaque fois qu'une nouvelle fonctionnalité apparaissait, il y avait toute une mise en scène, et finalement aujourd'hui tous les smartphones font à peu près la même chose. Aujourd'hui pour se démarquer, on va plutôt aller sur des batteries qui durent une semaine et consomment moins d'énergie. Pour l'IA ça sera pareil. Il va y avoir une période qui va permettre à chaque innovation un peu idiote de se démarquer et puis à un moment donné, lorsqu'elle sera démocratisée, on va arriver à une intelligence artificielle responsable. Notre rôle à nous c'est de faire en sorte que cette période soit la plus courte possible.

**LAURENT BERNARD**

Co-fondateur de l'entreprise Ecojoko

Vous vous servez de l'IA pour Ecojoko, mais pour vous l'IA est-elle toujours la bonne réponse pour résoudre les problématiques environnementales ?

La technologie en général est un outil qui a prouvé son efficacité dans la résolution de problèmes. L'IA est un outil parmi d'autres, des outils low tech peuvent être aussi pertinents que de l'IA. Finalement peu importe le moyen, ce qui compte c'est le résultat. Et avant tout, ce qui a de l'importance c'est le problème à résoudre. L'IA comme n'importe quelle autre technologie peut ne servir strictement à rien si elle résout un problème dont tout le monde se fiche. Sur l'environnement en particulier, c'est un outil très puissant, on arrive à faire des choses que l'on n'arrivait pas à faire il y a 5 ou 10 ans. Les évolutions sont rapides, l'IA est un accélérateur exceptionnel, nous serions incapables de proposer notre solution sans l'IA. Elle peut être décriée sur plein d'autres côtés mais la vraie question reste : quel problème on résout ? Si l'IA est utilisée par exemple pour optimiser des algorithmes sur nos données personnelles pour mieux nous cibler et nous vendre des produits de consommation, là on n'est pas sur les mêmes objectifs ! D'un point de vue business c'est intéressant mais est-ce que la planète s'en portera mieux, je ne crois pas. La bonne nouvelle c'est qu'en France il y a beaucoup de personnes qui sont intéressées par les problématiques environnementales. Tout le monde doit proposer des solutions, les entreprises, les associations, les politiques, on a besoin de tout le monde sur ces questions d'environnement. Avec nos compétences, on essaye de proposer une solution mais vu les problèmes qui se présentent il faut s'y mettre tous.

Obésité numérique : un régime s'impose

Frédéric Bordage, créateur de greenIT.fr et défenseur de la sobriété numérique, s'attaque au phénomène des *obésiciels*, contraction des mots *obèse* et *logiciel*, dans son guide pratique^[6]. L'obésité des sites internet, ce gras numérique est l'un des facteurs de l'obsolescence programmée. Plus un logiciel est mal construit, plus il est lourd à utiliser, ce qui nous pousse à changer régulièrement de smartphone, d'ordinateur ou de tablette pour gagner en puissance. Pour mieux comprendre ce problème d'obésiciel, Frédéric Bordage donne un chiffre très révélateur : le poids moyen d'une page web a été multiplié par 115 en 20 ans, passant de 14 ko en 1995 à 1600 ko en 2015¹, une prise poids qui n'a pas de réelle utilité puisque le service rendu est toujours le même, notamment lorsqu'il s'agit d'acheter un billet de train ou de consulter son compte bancaire. En dehors de l'accélération de l'obsolescence programmée, il faut savoir qu'un site internet trop lourd va mobiliser de manière inutile le réseau internet et ses serveurs physiques. Partant de ce constat, comment faire pour que l'IA ne vienne pas alourdir encore un outil numérique déjà trop gras ?

Ci-après

Les 70 Ko du logiciel qui a permis d'aller sur la Lune en 1969 suffisent désormais à peine à envoyer un e-mail^[5].

¹ <https://www.greenit.fr/2015/06/04/comment-reduire-l-empreinte-environnementale-du-web/>



© Nasa image and Video Library

Développer une IA verte

Le coût énergétique de l'IA n'est pas encore réellement pris en compte. Les chercheurs qui travaillent à mettre au point de nouvelles méthodes d'IA se focalisent principalement sur la précision des résultats obtenus : nombre d'objets différents reconnus dans une image, score de prédiction,... Ce sont des indicateurs importants mais qui doivent être mis en perspective avec le coût énergétique qui a été nécessaire pour obtenir chaque score : par exemple, un gain de quelques millièmes de pourcent de reconnaissance justifie-t-il toujours un coût énergétique multiplié par 1000 ? La réponse ne sera pas la même lorsqu'il s'agit de détecter une maladie grave et sauver des vies, ou lorsqu'il s'agit d'un système de recommandation de vidéos en ligne. L'exemple des plateformes telles que Kaggle¹ illustre le fait que la prise de conscience du coût énergétique (à la fois coût financier et coût pour l'environnement) parmi les Data Scientists n'est pas encore généralisée. Kaggle organise des concours internationaux de prédiction où à partir d'un même jeu de données, des équipes du monde entier s'affrontent pour obtenir le meilleur score de prédiction. Il n'est jamais question d'efficacité.

Plusieurs travaux ont pourtant été réalisés sur l'efficacité énergétique de l'IA en comparant l'efficacité de différentes méthodes^[15, 14, 9]. Mais c'est en 2019 que la publication d'une équipe de chercheurs de l'Université du Massachusetts a fait l'effet d'une bombe au sein de la communauté IA. Cette équipe a mesuré l'énergie nécessaire à l'apprentissage d'un modèle d'IA servant au traitement du langage naturel^[19]. Ce modèle de deep learning nommé

« Transformer² » a été introduit en 2017 par Google^[20]. L'originalité de cette étude a été de prendre en compte l'intégralité de l'énergie nécessaire à la mise au point du modèle. En effet, la mise au point d'une IA passe toujours par de longues phases d'essais pour calibrer le système : lors de la phase d'apprentissage d'un modèle d'une part (phase durant laquelle l'IA cherche par essais successifs une valeur optimale des poids de son réseau), mais également lors de la recherche de ce que l'on appelle les « hyperparamètres ». Il s'agit d'une série de paramètres globaux qui définissent l'architecture du réseau et les paramètres d'apprentissage. À chaque essai d'un nouvel hyperparamètre, un réapprentissage complet du modèle est nécessaire. Ainsi, après de nombreux essais, un modèle optimal est trouvé. Dans l'exemple cité par l'équipe du Massachusetts, le coût global nécessaire à la mise au point d'une IA s'est avéré 3200 fois plus important que le coût d'apprentissage d'un seul modèle.

L'équipe de chercheurs a comparé les émissions de CO₂ nécessaires à la mise au point globale d'un modèle de type Transformer et les a comparés avec des émissions de CO₂ connues pour des dépenses énergétiques usuelles³. On apprend dans l'étude que la mise au point de cette IA a généré autant de CO₂ que 5 voitures pendant toute la durée de leur vie et autant que 315 aller-retours en avion entre New York et San Fransisco.

¹ <https://www.kaggle.com>

² <https://medium.com/inside-machine-learning/what-is-a-transformer-do7ddjfbeco4>

³ En se basant sur les émissions de CO₂ moyennes par Kw/h aux Etats-Unis, qui peut donc varier selon les pays.

Consumption	CO2e (lbs)
Air travel, 1 passenger, NY<=> SF	1984
Human life, avg, 1 year	11,023
American life, avg, 1 year	36,156
Car. avg incl. fuel, 1 lifetime	126,000
Training one model (GPU)	
NLP pipeline (parsing, SRL)	39
w/ tuning & experimentation	78,468
Transformer (big)	192
w/ neural architecture search	626,155

*Ci-dessus
Émissions
de CO2
estimées pour
l'apprentissage
d'IA de
traitement
du langage,
comparées à des
consommations
courantes ^[19].*

**FÉLIX MICHAUD**

Étudiant en Master Bioacoustique
à l'Université du Mans

L'IA fait partie d'un secteur plus large, celui du numérique, qui on le sait, est un secteur très polluant responsable en partie de la disparition des forêts, de la pollution de l'air et de l'eau, comment réduire cette impact néfaste pour ne garder que le meilleur de l'IA ?

C'est compliqué. En effet le numérique pose de gros problèmes en termes de ressources utilisées et de destruction de l'habitat, mais j'ai aussi lu que les chercheurs en IA sont de plus en plus conscients des enjeux énergétiques. Il y a des entreprises qui intègrent dans leur code des algorithmes qui vont calculer leur dépense énergétique. On commence à comprendre qu'on ne doit pas se lancer dans une course à la technologie sans prendre en compte les limites de la planète. De plus en plus de spécialistes de l'énergie et du climat sont de cet avis. Jean-Marc Jancovici* explique notamment que grâce aux ressources énergétiques comme le pétrole, le charbon, nous en sommes arrivés à avoir des machines capables de faire le travail d'un million de personnes, avec une seule personne aux commandes. Quand les économistes ont pensés ce modèle de production massive, ils n'ont pas pris en compte les limites des ressources de la Terre. Jusqu'à aujourd'hui on a toujours fait les choses sans se soucier « du droit de la nature ». Bientôt, on sera en manque de pétrole et on va avoir un gros problème d'énergie comme le dit Monsieur Jancovici. Il va donc falloir se raisonner pour investir dans des nouvelles technologies vraiment utiles et efficaces, et ne plus faire tourner un algorithme pendant des mois pour qu'une main artificielle résolve un rubik's cube. Pour moi les recherches en IA doivent s'inscrire dans le contexte historique, politique et écologique qui est le nôtre. Il faut faire de la recherche en phase avec notre présent et pour préserver notre avenir. Personnellement c'est sur ce chemin que je souhaite aller : faire de la recherche scientifique en faveur de l'écologie et militer pour faire prendre conscience au plus grand nombre qu'il faut être vigilant avec notre planète.

* Jean-Marc Jancovici est un ingénieur français, consultant et spécialiste de l'énergie et du climat.

**CÉDRIC VASSEUR**

Conférencier et formateur en IA
et robotique

Aujourd'hui les problématiques environnementales inquiètent, est-ce que selon vous l'IA est une chance ou une menace pour la planète ? Les deux ?

Je dirais les deux en même temps ! C'est un peu comme de l'eau qu'on verse sur un champ, si vous l'utilisez à mauvais escient vous pouvez noyer les cultures, mais sans eau rien ne poussera... Il faut donc savoir l'utiliser intelligemment au bon moment. L'IA offre beaucoup d'opportunités pour améliorer les choses sur le plan écologique. Mais elle devient une menace, lorsqu'elle est développée pour des objectifs futiles, comme détecter des chats sur une photo. Juste pour reconnaître un chat sur une photo, cela va demander beaucoup d'énergie, beaucoup de calculs, de la chaleur, ce qui n'est pas bon pour l'environnement. À l'heure actuelle, nous sommes encore dans une phase d'analyse et de développement, au fur et à mesure l'IA sera de plus en plus rationalisée. Des sociétés comme Facebook s'engagent déjà à utiliser de l'énergie verte pour leurs recherches.

Donc pour vous il y a une prise de conscience du secteur du numérique ?

Oui, la nouvelle génération a besoin d'un sens à son travail et le sens de l'écologie est quelque chose d'assez marqué. Maintenant il est de plus en plus rare de voir une société qui ne s'intéresse pas du tout à l'impact environnemental et écologique de son travail, donc que l'on fasse de l'IA ou autre chose, l'écologie a son importance. Cette prise de conscience arrive progressivement d'année en année.

Est-ce qu'il serait possible de trouver un équilibre et d'être plus responsable sur notre usage du numérique et sur le développement de l'IA ?

Même si comme je le disais de plus en plus d'entreprises du numérique font attention à leur bilan carbone, il n'existe pas encore de label IA bio. Peut-être que cela va arriver petit à petit, comme cela existe déjà pour l'électroménager avec des systèmes de lettres. Ce type d'indicateurs permettrait de mieux communiquer sur la consommation réelle lorsqu'on fait appel à telle ou telle IA. D'un autre côté il y a aussi la partie recherches & développement qui consomme énormément d'énergie sans aucune garantie de résultats. Cela peut apparaître comme du gâchis aux yeux du grand public, mais c'est normal lorsqu'on fait de la recherche, on ne sait pas où on va, on sait que quelque chose va en ressortir mais on ne sait pas à quel moment. C'est un peu comme la recherche d'un vaccin, des milliers de sociétés à travers le monde vont investir du temps, de l'argent, de l'énergie, mais il y en a peut-être qu'une seule ou deux qui vont vraiment trouver la solution.

Certains prônent un retour en arrière sur notre usage du numérique pour limiter les dégâts environnementaux, pensez-vous que freiner le déploiement du numérique soit possible et souhaitable ?

Il y a un magazine qui a fait son site web sur un petit ordinateur qui s'appelle un Raspberry Pi, en noir et blanc et qui fonctionne uniquement à l'énergie solaire. Donc ça ne serait pas impossible. On peut avoir ce rebond, ça serait d'ailleurs une bonne chose de revenir en arrière sur certaines technologies : par exemple pour s'informer, on n'a pas besoin d'avoir des images HD, des vidéos et plein de pubs. Déjà si on arrivait à limiter les publicités ça serait pas mal. Il y a un retour en arrière, en tout cas une limitation, qui pourrait se mettre en place pour certaines choses. En revanche le grand public aura du mal. Si demain on vous dit « voilà vous n'avez plus de lave-linge, plus de lave-vaisselle, il va falloir aller nettoyer votre linge dans le cours d'eau le plus proche », je pense qu'il y a très peu de personnes qui vont choisir ce retour en arrière. Là j'exagère, mais c'est pareil sur les nouvelles technologies, si on nous demande de limiter le nombre d'heures d'utilisation de notre ordinateur et de notre téléphone, on ne sera pas prêt à le faire non plus. On est dans une société de consommation malheureusement, qui fait que plus on consomme, plus notre société fonctionne, plus elle dépense de l'argent... etc. Revenir en arrière serait très délicat dans la société dans laquelle on est installé aujourd'hui. En tout cas s'il y a un changement à faire dans les prochaines années, il ne faut pas non plus qu'il soit l'œuvre d'un seul pays. Il faut que ce soit un choix mondial, parce que si un pays décide, je vais dire une bêtise, de limiter le nombre d'heures d'utilisation d'un ordinateur par jour dans les entreprises, et que le pays voisin lui n'a pas de limites, cela va poser des difficultés de compétitivité. Il faut vraiment des règles technologiques et écologiques au niveau mondial pour que tout le monde soit sur un même pied d'égalité.

Éco-conception de l'IA

En comparaison des consommations évoquées, la très faible consommation du cerveau nous interpelle. Des chercheurs s'inspirent de son fonctionnement pour faire évoluer les méthodes d'IA⁴. Ils cherchent à économiser de l'énergie, en particulier dans le choix des hyperparamètres à partir d'*optimisation bayésienne* ou d'*algorithmes évolutionnaires*^[1, 2].

La société française Another Brain développe une nouvelle approche de l'IA *bio-inspirée* qui s'oppose au deep learning et à la quantité de données et de traitements qu'il nécessite⁵. Peu de données et de puissance de calcul sont nécessaires pour cette IA prometteuse.

Notons également l'intérêt énergétique de l'apprentissage par transfert (*transfert learning*) qui est une branche de l'IA consistant à réutiliser tout ou partie d'une autre IA et de l'adapter pour de nouveaux besoins. De cette manière les IA apprennent les unes des autres, à la manière des humains qui se transmettent un savoir. Le principe est d'économiser du temps de calcul, puisqu'il n'est pas nécessaire de tout réapprendre et de réaliser ainsi les économies d'énergies associées.

⁴ <https://www.nature.com/articles/d41586-019-02212-4>

⁵ <https://anotherbrain.ai/home>

Des composants électroniques optimisés pour l'IA

En parallèle, de nouvelles puces *neuromorphiques* ambitionnent de remplacer les transistors habituellement utilisés par des composants s'inspirant directement des neurones, afin de gagner en efficacité⁶.

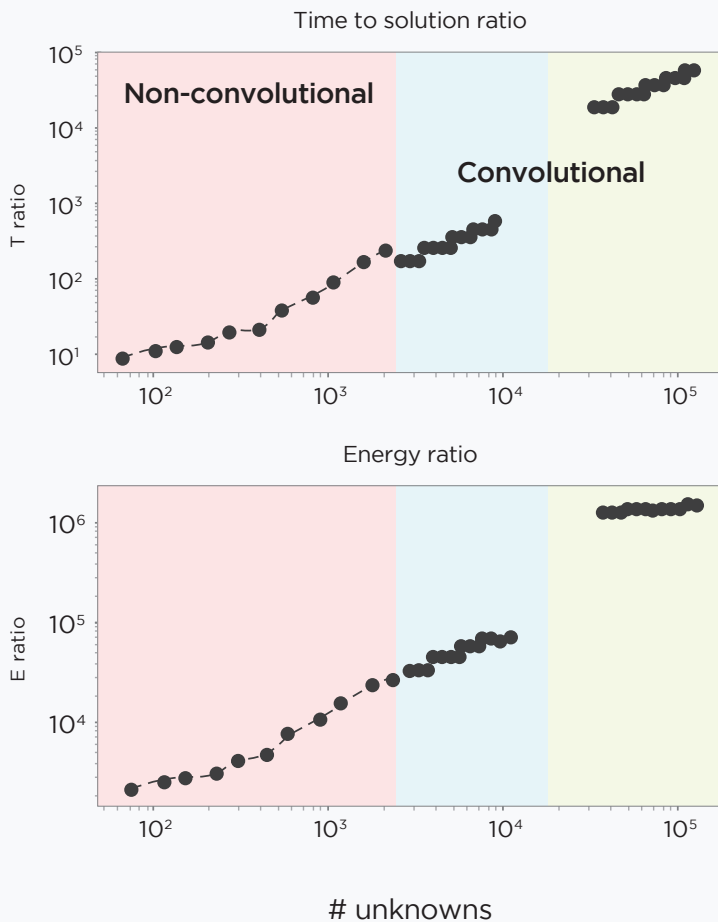
Intel annonce que la nouvelle puce neuromorphique Loihi est 10000 fois plus efficace qu'un CPU du point de vue énergétique¹⁰⁷.

Le fabricant de puces GraphCore promet quant à lui une économie d'énergie de 20% avec ses puces IPU (Intelligent Process Unit) optimisées pour l'IA⁸

⁶ <https://www.industrie-techno.com/article/intel-devoile-un-ordinateur-neuromorphique-a-8-millions-de-neurones.56725>

⁷ <https://www.usinenouvelle.com/article/intel-construit-un-systeme-de-calcul-neuromorphique-a-100-millions-de-neurones.N942576>

⁸ <https://www.graphcore.ai>

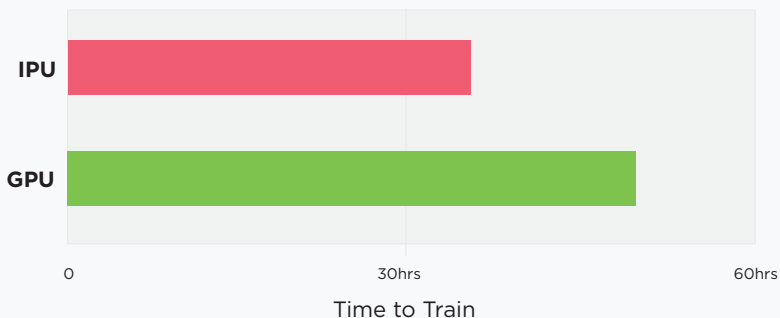


Ci-dessus

Ratios des temps d'exécution et de l'énergie requise pour la résolution d'une régression LASSO (entre 60 et 120,000 inconnues) entre un CPU et la puce neuromorphique Loihi.

Source : <https://www.intel.com/content/www/us/en/artificialintelligence/posts/exploringneuromorphic-computing-forai-why-spikes-part-two.html>

> 25% Faster Time To Train : 36.3 hours on IPU @ 20% lower power



Ci-dessus

Comparaison
de l'efficacité entre
GPU et IPU
sur l'exemple
de l'apprentissage
d'un modèle
de reconnaissance
du langage.

Source : [https://
www.graphcore.ai/
posts/microsoft-and-
graphcorecollaborate-
to-accelerate-artificial-
intelligence](https://www.graphcore.ai/posts/microsoft-and-graphcorecollaborate-to-accelerate-artificial-intelligence)

Des centres de données éco-responsables

Comme l'indique Cédric Villani^[22], les efforts sur l'efficacité des architectures d'IA doivent s'accompagner d'un «verdissement de la chaîne de valeur des centres de données.» Il y a eu de nombreuses initiatives de la part des centres de données visant à privilégier des énergies renouvelables pour alimenter les serveurs⁹ ou pour les refroidir à l'instar du partenariat entre la startup Verne Global et l'opérateur télécom Colt en Islande¹⁰.

Le marché de l'hébergement éco-responsable se structure avec l'émergence d'un indicateur de performance énergétique (nommé PUE) depuis 2007 par le consortium *The Green Grid*¹¹. Cet indicateur a été complété par l'indicateur européen DCEM (Data Centre Energy Management) qui tient compte également des énergies réutilisées et renouvelables.

En utilisant des énergies renouvelables, en refroidissant les serveurs avec des ressources naturelles ou en réutilisant la chaleur émise, les data centers éco-responsables représentent le levier le plus important dans la réduction des émissions de CO₂ nécessaires au fonctionnement de l'IA. Citons l'exemple du data center Green Mountain en Norvège, qui en refroidissant ses serveurs avec les fjord et les rivières, a pu diviser par plus de 2 ses coûts en énergie¹².

⁹ <https://www.zdnet.fr/actualites/microsoft-promet-des-data-center-fonctionnant-a-60-a-l-energie-renouvelable-d-ici-a-2020-39883543.htm>

¹⁰ <https://www.lesechos.fr/2012/02/islande-inaugure-le-premier-data-center-propre-351368>

¹¹ <https://www.thegreengrid.org>

¹² <https://greenmountain.no/>



Conclusion

Ce fut un pari difficile mais fascinant de rédiger un livre blanc à la croisée de deux domaines que sont « l'écologie » et « les nouvelles technologies ». Nous avons parcouru des centaines de références sur le sujet dans lesquelles les auteurs exposent leurs points de vue souvent diamétralement opposés. Deux visions du monde semblent s'opposer : la conviction que la technologie résoudra les problèmes environnementaux et développera une économie verte, créatrice de richesse pour la société ; et l'éloge de la sobriété pour sauver la planète, nécessitant une remise en question plus générale du système politique actuel.

Est-il possible de conduire une politique environnementale qui réconcilie avec mesure ces deux visions opposées ?

Une IA vertueuse dont les gains réels sont mesurables saura résoudre des problématiques environnementales. L'IA est déclinée aujourd'hui dans de nombreuses applications, sans qu'il n'y ait toujours un réel intérêt. Ce fut le cas avec l'émergence d'autres technologies comme la blockchain ou des objets connectés¹³, et le temps fera le tri entre les gadgets et les innovations réellement utiles.

¹³ <https://www.rtl.fr/actu/futur/blog-numerique-ces-2014-les-objets-connectes-stars-a-las-vegas-7771237950>

La communauté scientifique doit s'emparer des problématiques écologiques de l'IA, comme elle l'a fait avec les questions d'éthique et de transparence¹⁴. L'IA n'est pas immatérielle. Nécessitant des ressources naturelles en partie non renouvelables, l'IA est une ressource limitée, dont il convient de faire un usage responsable.

L'IA doit évoluer vers plus de *frugalité* en limitant au maximum les ressources dont elle a besoin. Le deep learning et la quantité de données et de calculs qui l'accompagnent doivent être progressivement remplacés par d'autres IA moins énergivores, à l'instar de ce qui est réalisé par la startup Another Brain. Pour en finir avec le *Green Washing*, nous devons valoriser les projets qui intègrent réellement une optimisation énergétique et exiger de la transparence sur l'impact environnemental des solutions IA.

Conjuguer IA et transition écologique est une mission délicate mais ce *challenge* peut aussi fédérer un écosystème vertueux. En donnant du sens à l'IA^[22], l'Europe peut jouer un rôle moteur dans la *révolution écologique de l'IA*. Ce faisant, les contraintes écologiques de l'IA deviennent alors autant d'opportunités pour nos entreprises de se démarquer en développant un savoir-faire spécifique, tel un avantage concurrentiel, liant IA et efficacité énergétique.

¹⁴ Après la prise conscience des problèmes d'éthique soulevés par l'IA, des conférences scientifiques dédiées ont été mises en place offrant aux chercheurs du monde entier un support pour la publication de travaux visant à limiter les biais cognitifs dans l'IA et à rendre possible l'explicabilité d'un résultat.

La conférence FAcCT en est un exemple : <https://facctconference.org>

Signe qu'une prise de conscience émerge, au salon AI Paris en 2020, pour la première fois deux conférences sont axées sur la consommation d'énergie associée à l'IA.

Nous assistons actuellement à une orientation forte de l'IA vers d'avantage *d'équité*, de *responsabilité* et de *transparence*. Dans ce contexte, l'éthique environnementale de l'IA va naturellement s'imposer comme un objectif essentiel.

La *transition écologique de l'IA* est en marche.

Références

- [1] Erfan Azarkhish et al. “Neurostream: Scalable and Energy Efficient Deep Learning with Smart Memory Cubes”. In: *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems* 29.2 (Feb. 2018). arXiv: 1701.06420, pp. 420–434. issn: 1045-9219. doi: 10.1109/TPDS.2017.2752706. url: <http://arxiv.org/abs/1701.06420> (visited on 08/21/2020).
- [2] James Bergstra and Yoshua Bengio. “Random Search for Hyper-Parameter Optimization”. In: *Journal of Machine Learning Research* 13.10 (2012), pp. 281–305. url: <http://jmlr.org/papers/v13/bergstra12a.html>.
- [3] Philippe Bihouix. *L'âge des low tech: vers une civilisation techniquement soutenable*. Anthropocène Seuil. Paris: Éditions du Seuil, 2014. isbn: 978-2-02-116072-7.
- [4] Philippe Bihouix and Karine Mauvilly. *Le désastre de l'école numérique: plaidoyer pour une école sans écrans*. Paris: Éditions du Seuil, 2016. isbn: 978-2-02-131918-7.
- [5] Frédéric Bordage. *Sobriété numérique: les clés pour agir*. French. OCLC: 1120760940. 2019. isbn: 978-2-283-03215-2.
- [6] Frédéric Bordage, Stéphane Bordage, and Jérémie Chatard. *Ecoconception web: les 115 bonnes pratiques : doper son site et réduire son empreinte écologique*. French. OCLC: 1132887566. 2019. isbn: 978-2-212-67806-2.
- [7] Tim Caro et al. “Benefits of zebra stripes: Behaviour of tabanid flies around zebras and horses”. In: *PLOS ONE* 14.2 (Feb. 2019). Ed. by Elissa Z. Cameron, e0210831. issn: 1932-6203. doi: 10.1371/journal.pone.0210831. url: <https://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0210831> (visited on 08/12/2020).
- [8] Rachel Connolly. AlphaGo defeats world Go champion Ke Jie. May 2017. url: <https://www.theneweconomy.com/technology/alphago-defeats-world-go-champion-ke-jie>
- [9] Anton Dalgren and Ylva Lundegård. “GreenML: A methodology for fair evaluation of machine learning algorithms with respect to resource consumption”. In: 2019.
- [10] M. Davies et al. “Loihi: A Neuromorphic Manycore Processor with On-Chip Learning”. In: *IEEE Micro* 38.1 (2018), pp. 82–99.
- [11] Groupe EcoInfo (Grenoble). *Impacts écologiques des technologies de l'information et de la communication: les faces cachées de l'immatérialité*. French. ISBN: 9782759808649 OCLC: 872378399. 2013.
- [12] Ricardo Hausmann, Harvard University, and Center for International Development. *The Atlas of economic complexity: mapping paths to prosperity*. English. OCLC: 781855824. Cambridge, Mass.: Center for International Development, Harvard University, 2011. url: <http://atlas.media.mit.edu/book/> (visited on 08/30/2020).

- [13] Kai-Fu Lee. *AI superpowers: China, Silicon Valley, and the new world order*. Boston: Houghton Mifflin Harcourt, 2018. isbn: 978-1-328-54639-5.
- [14] D. Li et al. “Evaluating the Energy Efficiency of Deep Convolutional Neural Networks on CPUs and GPUs”. In: 2016 *IEEE International Conferences on Big Data and Cloud Computing (BDCloud), Social Computing and Networking (SocialCom), Sustainable Computing and Communications (SustainCom) (BDCloud-SocialCom-SustainCom)*. 2016, pp. 477–484.
- [15] Fabian Pedregosa et al. “Scikit-learn: Machine Learning in Python”. In: *Journal of Machine Learning Research* 12.85 (2011), pp. 2825–2830. url: <http://jmlr.org/papers/v12/pedregosa11a.html>.
- [16] Florence Rodhain. *La nouvelle religion du numérique: le numérique est-il écologique ?* French. OCLC: 1128025203. 2019. isbn: 978-2-37687-292-4 978-2-37263-058-0.
- [17] David Rolnick et al. “Tackling Climate Change with Machine Learning”. In: arXiv:1906.05433 [cs, stat] (Nov. 2019). arXiv: 1906.05433. url: <http://arxiv.org/abs/1906.05433> (visited on 08/31/2020).
- [18] Morgan Stanley. Autonomous Cars : Self-Driving the New Auto Industry Paradigm. Tech. rep. Nov. 2013. url: <https://orfe.princeton.edu/~alaink/SmartDrivingCars/PDFs/Nov2013MORGAN-STANLEY-BLUEPAPER-AUTONOMOUS-CARS%EF%BC%9A-SELF-DRIVING-THE-NEW-AUTOINDUSTRY-PARADIGM.pdf>.
- [19] Emma Strubell, Ananya Ganesh, and Andrew McCallum. “Energy and Policy Considerations for Deep Learning in NLP”. In: arXiv:1906.02243 [cs] (June 2019). arXiv: 1906.02243. url: <http://arxiv.org/abs/1906.02243> (visited on 08/20/2020).
- [20] Ashish Vaswani et al. “Attention Is All You Need”. In: arXiv:1706.03762 [cs] (Dec. 2017). arXiv: 1706.03762. url: <https://arxiv.org/abs/1706.03762> (visited on 08/29/2020).
- [21] Éric Vidalenc. *Pour une écologie numérique. Politiques de la transition*. Paris: Les Petits Matins : Institut Veblen pour les réformes économiques, 2019. isbn: 978-2-36383-261-0.
- [22] Cédric Villani et al. *Donner un sens à l’intelligence artificielle*. Mission Villani sur l’intelligence artificielle, Mar. 2018. url: <https://hal.inria.fr/hal-01967551>.

Open. Studio

L'IA est une technologie aux multiples facettes. Côté pile, l'IA est une formidable chance pour mieux comprendre et résoudre les problématiques environnementales, mais côté face, les puissances de calcul qu'elle implique induisent une consommation d'énergie excessive. Engagée pour une utilisation du numérique plus responsable, OpenStudio s'est lancée dans l'écriture d'un livre blanc afin de chercher des pistes pour une IA plus verte délivrée de ses paradoxes.

openstudio.fr