

L'impact de l'intelligence artificielle en droit de l'environnement

Par Noémie Dallaire-Nicholas

Maîtrise en biologie avec cheminement en sciences de la vie et droit

Essai soumis à la Faculté des sciences et à la Faculté de droit de l'Université de Sherbrooke, Québec

8 février 2021

© Noémie Dallaire-Nicholas, 2021

Résumé de l'essai

L'utilisation de l'intelligence artificielle (IA) se développe rapidement en matière de protection de l'environnement. Que ce soit au niveau de la conservation des espèces (identification assistée), des changements climatiques (modèles théoriques), ou encore de l'aménagement du territoire (photos satellites), les technologies et les banques de données se développent à un rythme qui surpasse de beaucoup leur intégration dans le droit de l'environnement. Cet essai décrira le fonctionnement général de l'IA, les utilisations actuelles ou potentielles dans la protection de l'environnement et l'impact de l'IA sur le développement futur du droit de l'environnement.

Essay summary

The use of artificial intelligence (AI) is growing rapidly in environmental protection. Whether at the level of species conservation (assisted identification), climate change (theoretical models), land use planning (satellite photos), etc. technologies and databases are developing at a rate that far surpasses their integration into environmental law. This essay will describe the general functioning of AI, current or potential uses in environmental protection, and the impact of AI on the future development of environmental law.

Table des matières

Résumé de l'essai/ Essay summary	1
Introduction	3
1. Qu'est-ce que l'intelligence artificielle (IA) ?	4
1.1 Techniques utilisées en IA	5
1.2 Apprentissage automatique (machine learning)	10
1.3 Apprentissage profond (deep learning)	13
1.4 L'IA et le hardware	15
2. Utilisation de l'intelligence artificielle (IA) en environnement	18
2.1 Optimisation de l'efficacité énergétique	18
2.2 Gestion des ressources	24
2.3 Gestion des déchets	32
2.4 Prédiction climatique	34
2.5 Respect des normes environnementales	35
2.6 Impact environnemental du numérique	38
3. L'intégration de l'IA en gouvernance environnementale	43
3.1 Le traitement de l'IA dans le corpus juridique de diverses juridictions	43
3.2 Les enjeux entourant l'utilisation de l'IA en gouvernance environnementale	48
3.3 L'utilisation et la régulation de l'IA dans le droit environnemental canadien et québécois	50
Conclusion	58
Bibliographie	59

Introduction

Nous faisons face depuis plusieurs années à d'importants changements environnementaux. Que ce soit les changements climatiques, la déforestation, la pollution, l'extinction d'espèces ou la surpopulation, les préoccupations environnementales sont très nombreuses. Il est toutefois important de remonter à l'origine et voir d'où émergent les problèmes environnementaux auxquels nous faisons face, mais surtout les futurs problèmes que nous devons braver.

Un point tournant de l'écologie de la planète et de la relation de l'humain avec cette dernière est l'arrivée de la révolution industrielle.¹ C'est en effet vers le milieu du 18e siècle que la société occidentale plus rurale à cette époque a basculée vers une société industrielle. Cette révolution a projeté la population mondiale vers une ère de production, sans considérer les ressources qu'on croyait inépuisables.² Cette industrialisation a mis l'équilibre de la planète en jeu,³ mais a également mis en péril la capacité de l'humain de continuer à y vivre.

Cet essai traitera de l'impact de la montée du recours à l'intelligence artificielle (IA) en droit de l'environnement. Il décrira dans une première section le fonctionnement et les différentes techniques liés au développement de l'intelligence artificielle. Dans une seconde section, les utilisations de l'IA dans la protection de l'environnement seront présentées, ce qui permettra d'examiner dans une troisième section en quoi celles-ci pourraient entraîner le développement de nouvelles normes juridiques.

¹ MCLAMB, Eric. «The Ecological Impact of the Industrial Revolution», *Ecology Prime Media, Inc.*, 2 avril 2018, en ligne : <https://ens-newswire.com/2018/04/02/the-ecological-impact-of-the-industrial-revolution/> (Consulté le 31 août 2020).

² *Id.*

³ WORLD ECONOMIC FORUM, «Harnessing Artificial Intelligence for the Earth», *World Economic Forum*, janvier 2018, [PDF], p.9.

1. Qu'est-ce que l'intelligence artificielle (IA) ?

L'intelligence artificielle (ou IA) moderne existe depuis les années 1950. L'IA se définit généralement comme étant la capacité d'une machine de penser, d'agir et d'apprendre comme un humain. En pratique, ce sont des techniques qui permettent à la machine d'imiter une forme d'intelligence humaine.

Il existe actuellement deux types d'intelligence artificielle : l'intelligence artificielle *forte* ou *générale* et l'intelligence artificielle *faible* ou *étroite*.

L'IA forte relève, pour l'instant, de la science-fiction. Il s'agit d'une structure d'intelligence artificielle qui imiterait exactement les actions d'un être humain, y compris son pouvoir de compréhension et sa conscience. La définition de l'IA forte stipule que l'ordinateur est programmé comme un esprit humain, qu'il serait intelligent dans tous les sens du mot, qu'il serait doté de perception, croyances et tout autre état cognitif qui ne sont normalement attribués qu'à l'humain⁴. À cause de cette définition, il est très difficile, et pour l'instant impossible, de créer ce genre d'intelligence artificielle qui serait capable d'imiter pleinement un cerveau humain, puisqu'il n'y a pas encore de consensus sur la définition même de l'intelligence.⁵

L'IA *faible* est, par contre, présente partout autour de nous. Il s'agit d'une IA qui se concentre sur une tâche spécialisée ou un domaine d'étude précis. Sa capacité

⁴ S.A. «Strong Artificial Intelligence (Strong AI)», *Technopedia*, 13 mai 2020, en ligne : <<https://www.techopedia.com/definition/31622/strong-artificial-intelligence-strong-ai>> (Consulté le 31 août 2020).

⁵ *Id.*

d'apprentissage peut surpasser celle des humains dans ce domaine précis, mais elles sont très limitées dans leur champ d'action.⁶

Bien que fondamentalement conceptuelle, l'IA est surtout et presque exclusivement utilisée dans le milieu de l'informatique. On crée donc des programmes basés sur des algorithmes. L'Office québécois de la langue française (OQLF) définit un algorithme comme une «séquence de règles opératoires exécutées sur des données et qui permettent l'obtention d'un résultat»⁷.

1.1 Techniques utilisées en IA

Plusieurs techniques ont été développées au cours du développement de l'intelligence artificielle. Nous examinerons brièvement les plus importantes, de manière à mieux présenter comment l'intelligence artificielle est mobilisée dans le domaine de l'environnement.

La première technique est la **recherche par force brute**. Via cette technique, l'IA va tester toutes les solutions possibles pour trouver la réponse. C'est une technique de base, qui permet de résoudre des problèmes simples, mais qui échoue rapidement lorsque le nombre de décisions à prendre augmente. Si on prend l'exemple du jeu tic-tac-toe, au début d'une partie on a neuf possibilités de mouvement, puis huit contre-mesures et ainsi de suite, résultant en 362 880 options. Cependant, cet

⁶ HERRY, Julien. «The Artificial Intelligence explained to my grandmother», *MBA MCI*, 8 avril 2018, en ligne : <<https://mbamci.com/the-artificial-intelligence-explained-to-my-grandmother/>> (Consulté le 31 août 2020).

⁷ OFFICE QUÉBÉCOIS DE LA LANGUE FRANÇAISE. «algorithme», 2018, en ligne : <http://gdt.oqlf.gouv.qc.ca/ficheOqlf.aspx?Id_Fiche=8367804> (Consulté le 25 janvier 2021).

algorithme appliqué à un jeu plus complexe comme le jeu d'échecs démontre clairement la faiblesse de la technique.⁸

Une deuxième technique est celle du **perceptron et de la classification linéaire**, un des premiers algorithmes d'apprentissage supervisé de classifieur binaire (Figure 1). Cet algorithme permet de séparer deux classes de données différentes⁹. En utilisant un lot de données, on peut entraîner l'IA à séparer en deux celui-ci, en traçant une droite qui traverse le nuage de données. On peut donc entraîner une IA pour faire la différence entre 2 objets, par exemple faire la différence entre un chat et un humain. La limite du perceptron était son incapacité à traiter la fonction «OU», c'est-à-dire une donnée ne pouvait pas être classifiée à deux endroits.¹⁰ Les perceptrons multicouches (un réseau neuronal artificiel composé de plusieurs perceptrons)¹¹ ont réglé ce problème et ont ouverts la voie à des algorithmes plus complexes et à leur application pour le modèle de *l'apprentissage profond*,¹² branche de l'intelligence artificielle qui sera abordée plus tard dans cet essai.

⁸ JONES, M. Tim. «A beginner's guide to artificial intelligence, machine learning, and cognitive computing», *IBM*, 1er juin 2017, en ligne : <https://developer.ibm.com/articles/cc-beginner-guide-machine-learning-ai-cognitive/?lnk=hpmdev_dw&lnk2=learn> (Consulté le 31 août 2020).

⁹ NICHOLSON, Chris. «A Beginner's Guide to Multilayer Perceptrons (MLP)», *Pathmind*, s.d., en ligne : <<https://wiki.pathmind.com/multilayer-perceptron>> (Consulté le 31 août 2020).

¹⁰ *Id.*

¹¹ *Id.*

¹² JONES, M. Tim. *Op cit.* note 8.

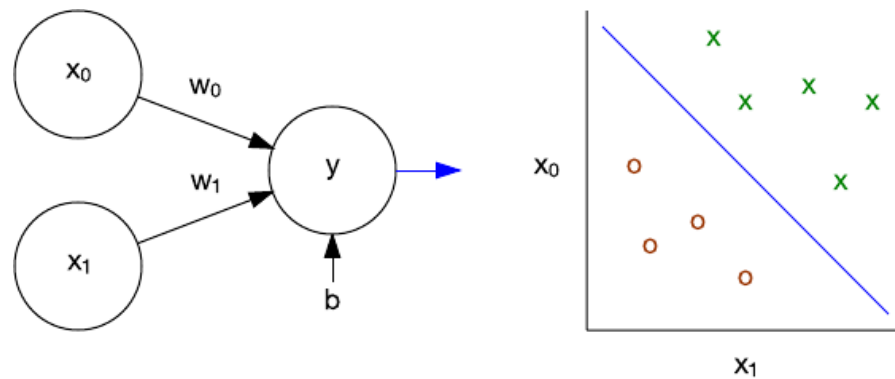


Figure 1¹³

Une troisième technique est la technique des algorithmes de **regroupement** (*clustering algorithm*) (Figure 2). Contrairement aux perceptrons qui fonctionnent selon un modèle d'apprentissage supervisé, les algorithmes de regroupement sont plutôt employés dans un contexte d'apprentissage non supervisé. L'algorithme organise et sépare lui-même un ensemble de données en groupes distincts.¹⁴

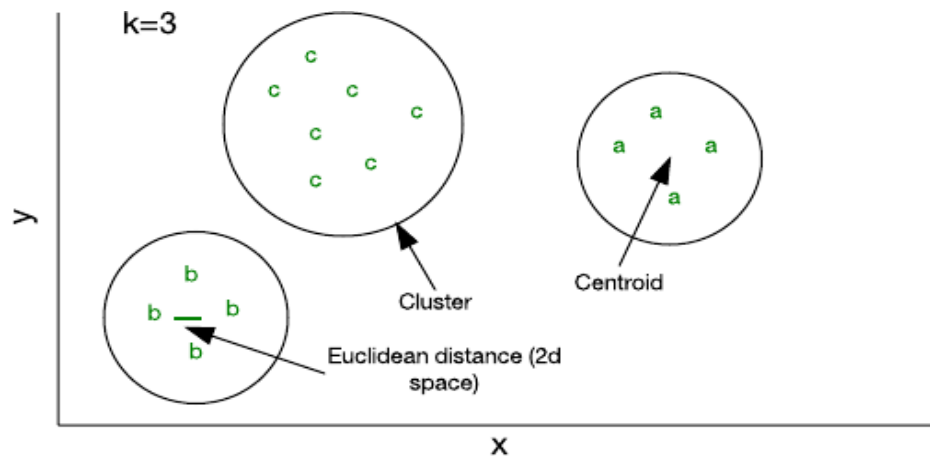


Figure 2¹⁵

¹³ *Id.*

¹⁴ KAUSHIK, Saurav. «An Introduction to Clustering and different methods of clustering», *Analytics Vidhya*, 3 novembre 2016, en ligne : <https://www.analyticsvidhya.com/blog/2016/11/an-introduction-to-clustering-and-different-methods-of-clustering/> (Consulté le 31 août 2020).

¹⁵ JONES, M. Tim. *Op cit.* note 6.

Une quatrième technique est celle de l'**apprentissage par arbre de décision** (Figure 3). C'est une méthode par apprentissage supervisé qu'on définit comme étant un modèle prédictif d'observations qui mènent à une conclusion. Les conclusions sont représentées par les feuilles dans l'arbre et les nœuds sont des points de décision où une observation diverge, par exemple en répondant oui ou non à une affirmation. Les différentes suppositions qui composent l'arbre mènent à une prédiction.¹⁶

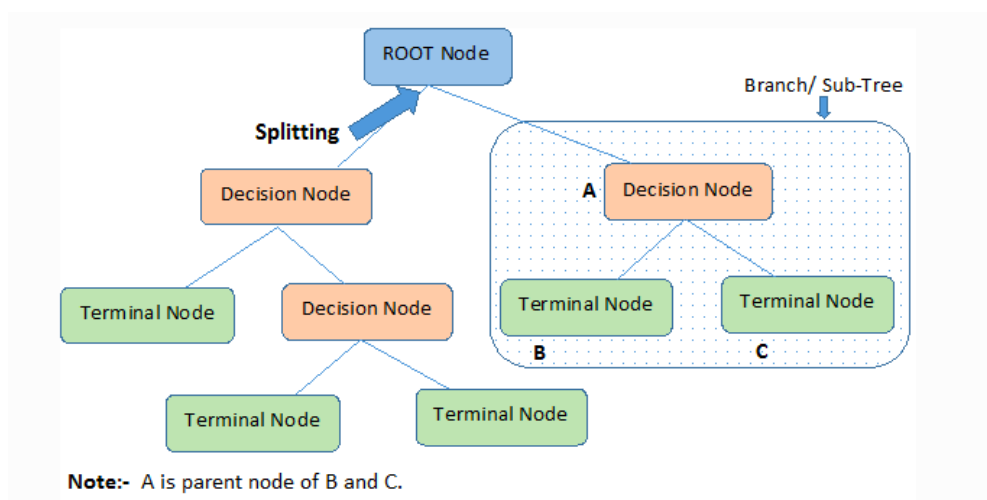


Figure 3¹⁷

Une dernière technique est celle du système basé sur des règles, autrement qualifié de système expert. Ce système utilise un ensemble d'affirmations et de règles prédéfinies afin d'effectuer des décisions et des choix sur la manière de traiter ces affirmations.¹⁸ Ce type de système est utilisé pour entreposer, trier et manipuler de l'information pour l'interpréter d'une façon utile. Pour fonctionner, le système nécessite un ensemble de faits ou de données connues et un ensemble de règles pour

¹⁶ *Id.*

¹⁷ CHAUHAN, Nagesh Singh. «Decision Tree Algorithm, Explained», *KDnuggets*, janvier 2020, en ligne : <<https://www.kdnuggets.com/2020/01/decision-tree-algorithm-explained.html>> (Consulté le 31 août 2020).

¹⁸ BEAL, Vangie. «rule-based system», *Webopedia*, s.d., en ligne : <https://www.webopedia.com/TERM/R/rule_based_system.html> (Consulté le 31 août 2020).

les manipuler. Ces règles ont tendance à suivre le modèle «SI X se produit, ALORS faites Y».¹⁹ Dans le langage courant, ce sont des instructions de type «si-alors» (Figure 4).

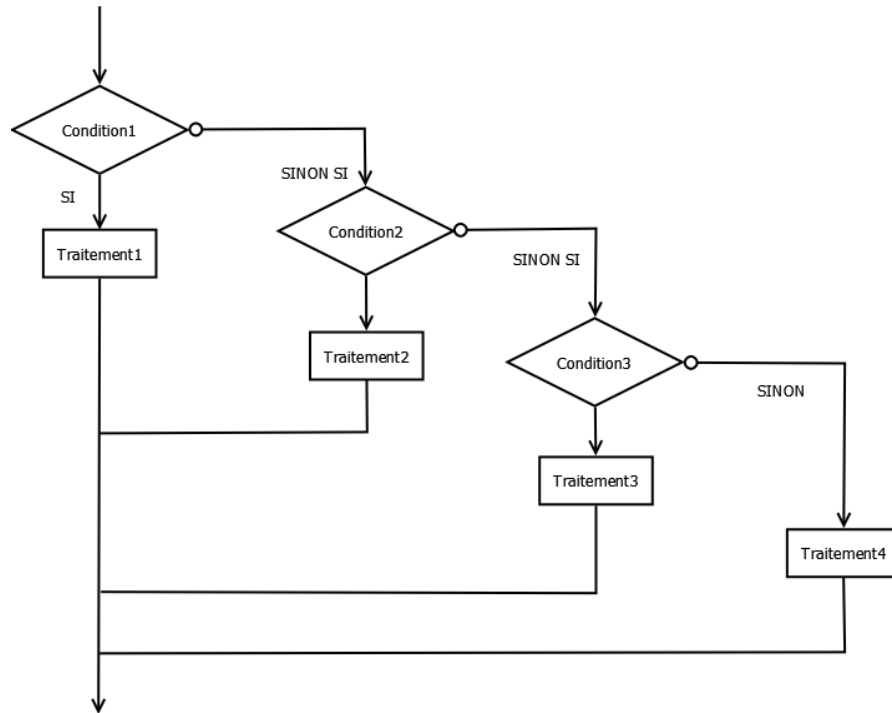


Figure 4 ²⁰

1.2 Apprentissage automatique (*machine learning*)

C'est dans les années 1980 qu'un mode d'apprentissage de l'IA très prometteur a commencé à émerger : celui de l'apprentissage automatique (*machine learning*). Cette branche de l'IA permet d'entraîner une intelligence artificielle pour qu'elle

¹⁹ S.A. «What is a rule-based system? What is it not?», *ThinkAutomation*, s.d., en ligne : <<https://www.thinkautomation.com/eli5/what-is-a-rule-based-system-what-is-it-not/>> (Consulté le 31 août 2020).

²⁰ S.A. «Tutoriel : Introduction aux algorithmes», *Site du Zéro*, s.d., en ligne : <<http://sdz.tdct.org/sdz/introduction-aux-algorithmes.html>> (Consulté le 31 août 2020).

apprenne à prendre des décisions, sans être directement programmée pour y arriver.²¹ Le principe de base de l'apprentissage automatique est de créer des algorithmes qui sont capables de recevoir des données, les analyser et prédire un résultat ou conclusion, tout en les mettant à jour dès que de nouvelles données sont introduites.²² Dans l'apprentissage automatique, on «nourrit» l'algorithme de données d'entraînement (*training data*), lui permettant ensuite de prendre des décisions sur la base de données nouvelles qui relèvent du problème à résoudre. Plus on lui donne de données pour s'entraîner et plus l'IA apprend sur les données et plus elle peut traiter l'information nouvelle avec précision.²³

Il existe quatre types populaires d'apprentissage automatique : l'apprentissage avec supervision, l'apprentissage sans supervision, l'apprentissage semi-supervisé et l'apprentissage par renforcement.²⁴

L'apprentissage avec supervision permet de trouver des modèles prédictifs en utilisant à la fois des données d'entrée et des données de sortie.²⁵ Dans ce type d'algorithme, on entraîne donc l'IA en lui donnant des données en entrée, puis en lui

²¹ ROUSE, Margaret. «machine learning», *TechTarget*, juin 2020, en ligne : <<https://searchenterpriseai.techtarget.com/definition/machine-learning-ML>> (Consulté le 31 août 2020).

²² *Id.*

²³ GARBADE, Michael J. «Clearing the Confusion: AI vs Machine Learning vs Deep Learning Differences», *Medium*, 14 septembre 2018, en ligne : <<https://towardsdatascience.com/clearing-the-confusion-ai-vs-machine-learning-vs-deep-learning-differences-fce69b21d5eb>> (Consulté le 31 août 2020).

²⁴ FURBUSH, James. «Machine learning: A quick and simple definition», *O'Reilly*, 3 mai 2018, en ligne : <<https://www.oreilly.com/content/machine-learning-a-quick-and-simple-definition/>> (Consulté le 31 août 2020).

²⁵ SONI, Yash. «Machine Learning for dummies — explained in 3 mins!», *Medium*, 24 juillet 2017, en ligne : <<https://becominghuman.ai/machine-learning-for-dummies-explained-in-2-mins-e83fbc55ac6d>> (Consulté le 31 août 2020).

donnant les bons résultats correspondants.²⁶ L'IA peut donc établir des modèles prédictifs. L'apprentissage avec supervision se retrouve sous deux formes : l'une est associée à la classification et l'autre à la régression. On parle de classification lorsque la variable de sortie est une catégorie, comme «victoire» ou «défaite» ou comme «rouge» ou «bleu», et de régression lorsque la valeur de sortie est une valeur directe et réelle, comme l'âge de quelqu'un ou les prévisions météorologiques.²⁷

L'apprentissage sans supervision permet de trouver des modèles prédictifs en n'utilisant que les données d'entrée. Le système tente donc d'apprendre une structure à partir de ces données sans assistance humaine. Les techniques utilisées par l'apprentissage sans supervision sont généralement basées sur l'analyse par regroupement (*clustering analysis*).²⁸ La détection d'anomalies, comme le signalement de transactions inhabituelles sur carte de crédit est un exemple d'apprentissage automatique sans supervision.

L'apprentissage semi-supervisé est un intermédiaire entre l'apprentissage sans supervision et l'apprentissage avec supervision. En effet, les données d'entrée sont partiellement étiquetées, c'est-à-dire qu'une partie seulement des données d'entrée sont associées à leur donnée de sortie.²⁹

Finalement, **l'apprentissage par renforcement** est une méthode qui permet d'optimiser les résultats³⁰ en prenant des décisions par essai-erreur qui maximisent les

²⁶ FUMO, David. «Types of Machine Learning Algorithms You Should Know», *Medium*, 15 juin 2017, en ligne : <https://towardsdatascience.com/types-of-machine-learning-algorithms-you-should-know-953a08248861> (Consulté le 31 août 2020).

²⁷ SHUKLA, Sagar. «Regression and Classification | Supervised Machine Learning», *GeeksforGeeks*, 21 août 2020, en ligne : <https://www.geeksforgeeks.org/regression-classification-supervised-machine-learning/> (Consulté le 31 août 2020).

²⁸ SONI, Yash. *Op cit.* note 25.

²⁹ FURBUSH, James. *Op cit.* note 24.

³⁰ *Id.*

récompenses et minimisent les risques.³¹ Contrairement à l'apprentissage supervisé où la décision est prise sur la donnée d'entrée, l'apprentissage par renforcement consiste à prendre une suite de décisions où chacune s'appuie sur la précédente.³² Ainsi, en utilisant un renforcement positif ou un renforcement négatif, on peut arriver à une décision optimale en fonction d'un contexte donné.

1.3 Apprentissage profond (*deep learning*)

L'apprentissage profond est une branche de l'apprentissage automatique. Bien que connu depuis les années 1980, ce n'est que récemment que l'apprentissage profond a trouvé une application réelle. Ce type d'intelligence artificielle requiert, en effet, une immense quantité de données et une grande puissance d'analyse de l'ordinateur, deux caractéristiques qu'il sont désormais disponibles.³³ Aujourd'hui, l'apprentissage profond atteint des niveaux de précisions qui vont même jusqu'à dépasser les performances humaines.³⁴

L'apprentissage profond repose sur une famille d'algorithmes qui fonctionnent sur la base de réseaux profonds de neurones artificiels (Figure 5)³⁵. La profondeur est en fait un terme technique qui détermine le niveau de couches cachées dans le réseau de

³¹ FUMO, David. *Op cit.* note 26.

³² BAJAJ, Prateek. «Reinforcement learning», *GeeksforGeeks*, 17 mai 2020, en ligne : <<https://www.geeksforgeeks.org/what-is-reinforcement-learning/>> (Consulté le 31 août 2020).

³³ MATHWORKS. «What Is Deep Learning? 3 things you need to know», *The MathWorks, Inc.*, s.d., en ligne : <<https://www.mathworks.com/discovery/deep-learning.html>> (Consulté le 31 août 2020).

³⁴ *Id.*

³⁵ L'OQLF définit le réseau de neurones profond comme un «Réseau de neurones artificiels comportant de nombreuses couches cachées qui lui permettent, en multipliant les possibilités de traitement, d'augmenter ses capacités d'apprendre, d'améliorer son efficacité à effectuer certaines opérations complexes et d'accroître ses moyens de résoudre certains problèmes difficiles.»

OFFICE QUÉBÉCOIS DE LA LANGUE FRANÇAISE. «réseau de neurones profond», 2018, en ligne : <http://gdt.oqlf.gouv.qc.ca/ficheOqlf.aspx?Id_Fiche=26544067> (Consulté le 25 janvier 2021).

neurones.³⁶ Les réseaux de neurones artificiels s'inspirent fortement de ce qu'on peut retrouver dans le système nerveux biologique avec une couche d'entrée, une ou plusieurs couches dites «cachées» et une couche de sortie.

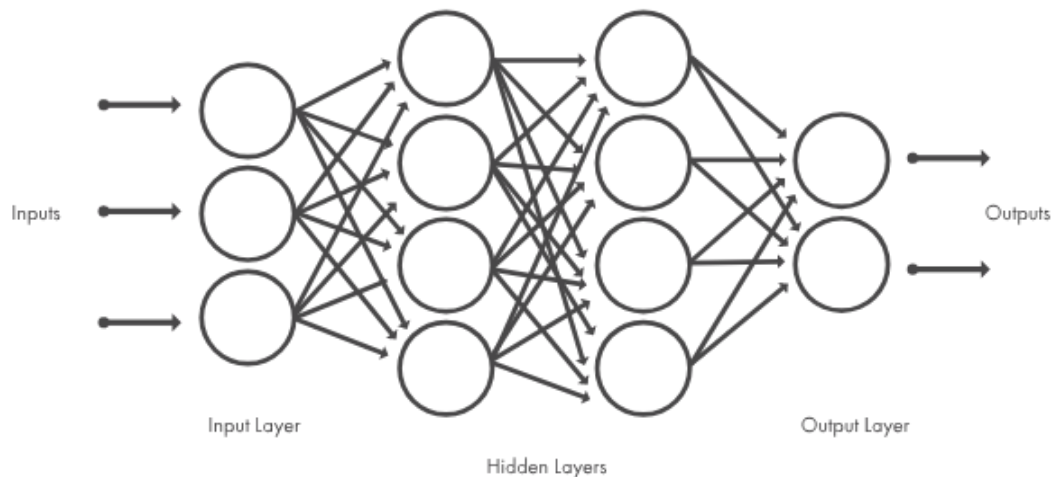


Figure 5³⁷

Chaque couche est interconnectée par des neurones ou des nœuds, et chaque couche utilise la couche précédente comme entrée.³⁸ Contrairement au réseau peu profond qui ne comporte qu'une seule couche cachée, les réseaux de neurones profonds en ont plusieurs, parfois jusqu'à 150.³⁹ C'est cette quantité de couches cachées qui permet à l'apprentissage profond de résoudre et classifier des problèmes si complexes. Chaque entrée est divisée en plusieurs niveaux d'abstractions et le réseau de neurone peut ainsi apprendre les caractéristiques des données dans une hiérarchie de

³⁶ SEROKELL. «Artificial Intelligence vs. Machine Learning vs. Deep Learning: What's the Difference», *Medium*, 10 avril 2020, en ligne : <<https://medium.com/ai-in-plain-english/artificial-intelligence-vs-machine-learning-vs-deep-learning-whats-the-difference-dccec18efe7f>> (Consulté le 31 août 2020).

³⁷ MATHWORKS. «What Is a Neural Network? 3 things you need to know», *The MathWorks, Inc.*, s.d., en ligne : <<https://www.mathworks.com/discovery/neural-network.html>> (Consulté le 31 août 2020).

³⁸ SEROKELL. *Op cit.* note 36.

³⁹ MATHWORKS. *Op cit.* note 37.

caractéristiques, puisque des caractéristiques simples (un pixel, par exemple) vont se recombinaer d'une couche à l'autre pour former des caractéristiques plus complexes (une ligne, par exemple) pour finalement résoudre le problème soumis (tel que la reconnaissance d'une image par les algorithmes).⁴⁰

L'apprentissage profond est utilisé dans plusieurs domaines, comme la reconnaissance faciale, la conduite automobile autonome, les assistants vocaux, la traduction, etc.⁴¹

1.4 L'IA et le hardware

Aujourd'hui, l'intelligence artificielle est exploitée via les ordinateurs. Il est donc important de comprendre quel est le matériel informatique utilisé pour pouvoir ensuite mieux comprendre les contraintes que ce matériel emmène, particulièrement au niveau de l'intelligence artificielle. Lorsqu'on parle d'intelligence artificielle, deux acronymes qu'on retrouve régulièrement sont CPU et GPU.

L'acronyme CPU signifie *Central Processing Unit*, soit le processeur en termes plus courants. Sa principale tâche est d'effectuer les différents calculs nécessaires au bon fonctionnement de l'ordinateur.⁴² Il est souvent comparé au cerveau de l'ordinateur puisqu'il est impliqué dans la plupart des tâches et calculs effectués par toutes les

⁴⁰ SEROKELL. *Op cit.* note 36.

⁴¹ MARR, Bernard. «What Is Deep Learning AI? A Simple Guide With 8 Practical Examples», *Forbes*, 1er octobre 2018, en ligne : <<https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2018/10/01/what-is-deep-learning-ai-a-simple-guide-with-8-practical-examples/#4d22c12d8d4b>> (Consulté le 31 août 2020).

⁴² S.A. «CPU (Central Processins Unit) : définition, traduction et acteurs», *Journal du Net*, 10 janvier 2019, en ligne : <<https://www.journaldunet.fr/web-tech/dictionnaire-du-webmastering/1203307-cpu-central-processins-unit-definition-traduction-et-acteurs/>> (Consulté le 31 août 2020).

autres composantes.⁴³ C'est l'endroit où sont regroupées et traitées toutes les informations permettant à l'ordinateur d'effectuer les tâches demandées par l'utilisateur.⁴⁴

L'acronyme GPU, quant à lui, signifie *Graphic Processing Unit*, soit la carte graphique de l'appareil. Le GPU est conçu pour effectuer des tâches qui nécessitent beaucoup de puissance. Son rôle dans l'ordinateur est généralement de gérer l'affichage de l'image à l'écran.⁴⁵

Un autre terme souvent retrouvé lorsqu'on commence à regarder le fonctionnement d'un CPU et d'un GPU est le concept de cœur ("*core*" en anglais). Un cœur de CPU est en fait un processeur. Autrefois, chaque processeur n'avait qu'un seul cœur qui pouvait se concentrer sur une seule tâche à la fois. Aujourd'hui, le CPU contient généralement entre deux et dix-huit cœurs, chacun pouvant travailler sur une tâche différente.⁴⁶ Malgré le fait qu'il n'y ait pas de consensus sur une définition de cœur de GPU, pour nos fins, nous pouvons affirmer qu'il en contient beaucoup qu'un CPU (soit environ un millier). Grâce à leurs milliers de cœurs qui fonctionnent simultanément, les GPU peuvent effectuer une quantité massive de tâches en parallèle où chaque cœur se concentre sur des calculs efficaces.⁴⁷

⁴³ PERRET, Christelle. «CPU, GPU, APU : qu'est-ce que c'est et quelles différences?», PaperGeek, 20 novembre 2018, en ligne : <<https://www.papergeek.fr/cpu-gpu-apu-qu-est-ce-que-c-est-et-queelles-differences-81278>> (Consulté le 31 août 2020).

⁴⁴ S.A. *Op cit.* note 42.

⁴⁵ CAULFIELD, Brian. «What's the Difference Between a CPU and a GPU?», *Nvidia*, 16 décembre 2009, en ligne : <<https://blogs.nvidia.com/blog/2009/12/16/whats-the-difference-between-a-cpu-and-a-gpu/>> (Consulté le 31 août 2020).

⁴⁶ HARDING, Scharon. «What Is a CPU Core? A Basic Definition», *Future US inc.*, 23 août 2018, en ligne : <<https://www.tomshardware.com/news/cpu-core-definition.37658.html>> (Consulté le 31 août 2020).

⁴⁷ OMNISI. «How CPU and GPU Work Together», *OmniSci*, s.d., en ligne : <<https://www.omnisci.com/technical-glossary/cpu-vs-gpu>> (Consulté le 31 août 2020).

Alors que les CPU parcourent une série de tâches nécessitant beaucoup d'interactivité, les GPU décomposent les problèmes complexes en plusieurs tâches qu'ils accomplissent en même temps. Puisque les GPU peuvent effectuer en parallèle une grande quantité de tâches, ils sont maintenant couramment utilisés pour des tâches non graphiques comme l'apprentissage informatique et le calcul scientifique.⁴⁸ En décomposant un problème complexe en en milliers de calculs en parallèle, les GPU accélèrent de façon drastique la vitesse des calculs effectués et donc la vitesse d'apprentissage et de traitement des données par des algorithmes d'apprentissage automatique.⁴⁹

Ayant ainsi examiné les différentes techniques employées dans le domaine de l'intelligence artificielle, nous examinerons au cours de la seconde section de cet essai ses applications possibles dans une optique de protection de l'environnement. Cette seconde section nous permettra plus précisément d'identifier les différents secteurs d'intérêts pour lesquels l'utilisation de l'IA apparaît la plus prometteuse.

⁴⁸ *Id.*

⁴⁹ S.A. *Op cit.* note 42.

2. Utilisation de l'intelligence artificielle (IA) en environnement

Parmi les différentes finalités de l'utilisation de l'IA, certaines d'entre elles promettent d'améliorer l'efficacité (2.1) et la gestion de ressources énergétiques (2.2) ou de déchets (2.3). D'autres promettent pour leur part de renforcer les prédictions climatiques (2.4) ou l'application des normes environnementales (2.5). Toutefois, l'utilisation de l'IA entraîne certains impacts négatifs, notamment liés à la pollution électronique (2.6). Nous examinerons ainsi respectivement au cours des sous-sections suivantes les avantages et inconvénients reliés à l'utilisation de l'IA dans le domaine de l'environnement.

2.1 Optimisation de l'efficacité énergétique

L'intelligence artificielle, et plus particulièrement l'apprentissage automatique, peut contribuer au développement et à l'utilisation de sources d'énergie plus écoresponsables en informant la recherche, le déploiement et le fonctionnement des technologies des systèmes électriques. En effet, l'IA peut servir à optimiser l'efficacité énergétique soit en **prévoyant efficacement l'offre et la demande énergétique**, en **planifiant les meilleurs sites de déploiement** ou en **réduisant les pertes énergétiques** dans les réseaux de distribution. Plusieurs initiatives ont déjà été entreprises en ce sens.

Par exemple, Google utilise l'IA dans ses propres centres de données pour optimiser sa consommation énergétique. Google est carbone neutre depuis 2007 en ayant choisi des énergies renouvelables et en investissant dans des programmes de compensation

carbone, comme la plantation d'arbres et l'investissement dans l'énergie éolienne et solaire.

Afin de réussir leur objectif de n'utiliser que de l'énergie renouvelable, Google utilise son programme AI DeepMind qui a réussi à réduire d'environ 40 % l'énergie utilisée par les systèmes de refroidissement de ses centres de données du monde entier et d'environ 15 % pour sa consommation globale d'énergie.⁵⁰

Une autre grande compagnie américaine qui s'est lancée dans l'intelligence artificielle est IBM. En juillet 2014, IBM a lancé une initiative de 10 ans en Chine nommée «*Green Horizon*» dans le but de donner à la Chine les moyens de transformer ses systèmes énergétiques nationaux et de répondre à ses besoins d'urbanisation durable.⁵¹ Parmi les trois projets de l'initiative, on retrouve l'intégration des énergies renouvelables et l'efficacité énergétique industrielle.⁵²

À cet égard, il y avait en 2013 une capacité d'énergie éolienne de 92 GW en Chine, mais environ 25 à 40% de ce potentiel énergétique n'était pas utilisé.⁵³ L'un des plus gros défis liés à l'utilisation d'énergies renouvelables comme l'énergie éolienne ou l'énergie solaire réside dans le fait qu'elles sont générées de façon variable et intermittente, et qu'elles sont ainsi peu contrôlables. Les producteurs d'énergie ont besoin de prévoir la production d'énergie pour en maximiser son utilisation. En

⁵⁰ EVANS, Richard et Jim GAO. «DeepMind AI Reduces Google Data Centre Cooling Bill by 40%», *DeepMind*, 20 juillet 2016, en ligne : <<https://deepmind.com/blog/article/deepmind-ai-reduces-google-data-centre-cooling-bill-40>> (Consulté le 31 août 2020).

⁵¹ IBM. «Green Horizon», *IBM*, s.d., en ligne : <<http://research.ibm.com/labs/china/greenhorizon.html>> (Consulté le 31 août 2020).

⁵² *Id.*

⁵³ *Id.*

combinant les prévisions météorologiques et l'analyse de mégadonnées (*Big Data*)⁵⁴ pour prévoir avec précision la disponibilité des énergies renouvelables, la solution IBM Hybrid Renewable Energy Forecasting (HyREF) permet aux entreprises de services publics de minimiser leurs pertes d'énergie en sachant à l'avance la quantité d'énergie qui pourra être distribuée dans leur réseau ou stockée.⁵⁵ La solution d'IBM permet donc une optimisation de l'utilisation des énergies renouvelables et contribue à garantir le moins de gaspillage énergétique possible. Le système a déjà été utilisé pour une trentaine de sources d'énergie éolienne, solaire et hydraulique. Le plus grand projet fut celui de la ville de Zhangbei en Chine, géré par la State Grid Jibei Electricity Power Company Limited (SG-JBEPC). Grâce au système d'IBM, SG-JBEPC a été en mesure d'intégrer 10% plus d'énergie alternative éolienne avec une précision de prédiction de 90%, ce qui en fait un des systèmes de prévision d'énergie les plus précis au monde.⁵⁶

De plus, la Chine s'était engagée à réduire son empreinte carbone de 40-45% d'ici 2020. Afin d'atteindre cet objectif, IBM a développé un nouveau système pour aider à surveiller, gérer et optimiser la consommation d'énergie des entreprises industrielles qui représentent plus de 70% de la consommation totale d'énergie en Chine. À l'aide

⁵⁴ Les mégadonnées (*Big Data*) désignent un ensemble des données numériques extrêmement volumineuses qui peuvent être analysées par ordinateur pour révéler des modèles, des tendances et des associations; S.A. «Big data», *Lexico*, s.d., en ligne : <https://www.lexico.com/definition/big_data> (Consulté le 31 août 2020).

En 2001, un analyste du cabinet Meta Group (devenu Gartner) définit les mégadonnées avec le principe des «trois V» :

- un volume de données de plus en plus massif
- la variété de ces données qui viennent de différentes sources et peuvent être brutes, non structurées ou semi-structurées
- la vélocité, soit la vitesse de collecte, de création et de partage de ces données qui désigne le fait que ces données sont produites, récoltées et analysées en temps réel.

S.A. «Big data», *Futura*, s.d., en ligne : <<https://www.futura-sciences.com/tech/definitions/informatique-big-data-15028/>> (Consulté le 31 août 2020).

⁵⁵ IBM. *Op cit.* note 51.

⁵⁶ *Id.*

d'une plateforme de mégadonnées et d'analyses déployées sur le cloud,⁵⁷ le système permettra d'analyser de grandes quantités de données générées par des dispositifs de surveillance de consommation d'énergie et pourra par la suite identifier les opportunités de conservation d'énergie. Il pourrait, par exemple, identifier que dans une aciérie, le four à oxygène gaspille de l'énergie parce que la température de la fumée dégagée est trop élevée. L'utilisation du système permettrait ainsi, selon IBM, d'orienter les décisions d'optimisation et d'investissement dans les industries chinoises qui sont plus énergivores, comme l'acier, le ciment, les produits chimiques et les métaux non ferreux.⁵⁸

Face au succès de Green Horizon en Chine, IBM a poursuivi sur sa lancée avec un accord avec un grand fournisseur chinois d'énergie éolienne pour utiliser l'Internet of Things (IoT)⁵⁹, le cloud computing, l'analyse des mégadonnées et d'autres technologies avancées pour stimuler l'innovation et transformer leurs modèles

⁵⁷ Le cloud (aussi appelé cloud computing ou informatique en nuage) est une infrastructure dans laquelle les données stockées et la puissance de calcul sont gérés par des serveurs qui sont accessibles par une liaison internet; S.A. «Cloud computing», *Futura*, s.d., en ligne : <<https://www.futura-sciences.com/tech/definitions/informatique-cloud-computing-11573/>> (Consulté le 31 août 2020).

Les serveurs cloud sont situés dans des centres de données du monde entier. En utilisant le cloud computing, les utilisateurs et les entreprises n'ont pas à gérer eux-mêmes des serveurs physiques ou à exécuter des applications logicielles sur leurs propres machines ; CLOUDFLARE. «What Is the Cloud? | Cloud Definition», *Cloudflare*, s.d., en ligne : <<https://www.cloudflare.com/learning/cloud/what-is-the-cloud/>> (Consulté le 31 août 2020).

⁵⁸ IBM. *Op cit.* note 51.

⁵⁹ L'Internet of Things (IoT) est un concept décrivant le réseau d'appareils connectés ensemble grâce à l'Internet. En combinant ces appareils connectés avec des systèmes automatisés, il est possible de «recueillir des informations, de les analyser et de créer une action» pour aider quelqu'un dans une tâche particulière ou apprendre d'un processus; BURGESS, Matt. «What is the Internet of Things?», *Wired*, 16 février 2018, en ligne : <<https://www.wired.co.uk/article/internet-of-things-what-is-explained-iot>> (Consulté le 31 août 2020).

Presque n'importe quel objet physique peut être transformé en appareil IoT s'il peut être connecté à Internet pour être contrôlé ou pour communiquer des informations. Ces objets peuvent être de toute taille, en passant des montres intelligentes et lumières programmables aux camions roulant sans conducteurs; RANGER, Steve. «What is the IoT? Everything you need to know about the Internet of Things right now», *ZDNet*, 3 février 2020, en ligne : <<https://www.zdnet.com/article/five-industries-that-will-be-affected-by-the-combination-of-5g-and-iot/>> (Consulté le 31 août 2020).

commerciaux et technologiques. La technologie IBM se retrouve également au Royaume-Uni pour aider à prévoir la production d'électricité dans les parcs éoliens. Au Japon, IBM travaille sur un projet avec la Toyo Engineering Corporation et la société d'énergie renouvelable Setouchi Future Creations LLC qui aidera à gérer et à contrôler l'énergie des 890 000 panneaux solaires de l'usine.⁶⁰ Finalement, aux États-Unis, IBM met sa technologie de prévision des énergies renouvelables à la disposition des agences gouvernementales, des services publics et des opérateurs de réseaux pour prendre en charge la planification de l'offre et de la demande.⁶¹

Le géant américain Microsoft s'est également lancé dans l'utilisation de l'IA en environnement avec son programme de 5 ans *AI for Earth* lancé, en 2017, au coût de 50 millions de dollars.⁶² Ce programme accorde des subventions aux chercheurs et aux innovateurs dédiés à la résolution des problèmes environnementaux.

Parmi les bénéficiaires de ces subventions, le «Symbiosis Institute of Technology», en Inde, développe des algorithmes de regroupement afin d'utiliser les données générées par les compteurs électriques intelligents.⁶³ Une fois appliqués aux données des compteurs intelligents et aux données socio-économiques correspondantes, ces algorithmes permettent de prédire la demande et les charges de pointe, d'établir des modèles régionaux, saisonniers et communautaires de consommation. Ces algorithmes permettent également aux services publics d'aligner la production sur la demande prévue pour réduire les pertes d'énergie et aident les consommateurs à

⁶⁰ IBM. «Green Horizons», *IBM*, s.d., en ligne : <<http://www.research.ibm.com/green-horizons/#fbid=g1UcJof4EKi>> (Consulté le 31 août 2020).

⁶¹ *Id.*

⁶² SAWERS, Paul. «Microsoft commits \$50 million more to its AI for Earth program», *VentureBeat*, 11 décembre 2017, en ligne : <<https://venturebeat.com/2017/12/11/microsoft-commits-50-million-more-to-its-ai-for-earth-program-to-save-the-planet/>> (Consulté le 21 janvier 2021).

⁶³ MICROSOFT. «Microsoft AI for Earth grantee gallery», *Microsoft*, s.d., en ligne : <<https://microsoft.github.io/AIforEarth-Grantees/>> (Consulté le 31 août 2020).

planifier leur propre consommation d'électricité pour réduire la demande en énergie ainsi que les émissions de carbone.⁶⁴

Microsoft utilise également l'intelligence artificielle pour réduire sa propre consommation d'énergie dans ses centres de données et campus. En plus de se concentrer sur la recherche et le développement ainsi que sur l'utilisation d'énergies renouvelables, l'entreprise a annoncé en 2019 qu'elle lancera une nouvelle initiative de cloud en utilisant l'*Internet of Things (IoT)*, le blockchain⁶⁵ et l'intelligence artificielle afin de surveiller les performances et rationaliser la réutilisation, la revente et le recyclage des actifs des centres de données, ce qui comprend leurs serveurs.⁶⁶

À plus large échelle, l'intelligence artificielle peut favoriser un meilleur **accès à l'électricité** en modélisant des systèmes énergétiques très peu documentés à partir de systèmes énergétiques aux données abondantes. L'IA peut également déterminer quelles méthodes d'électrification propres seraient les meilleures pour une région particulière.⁶⁷

⁶⁴ SYMBIOSIS INSTITUTE OF TECHNOLOGY. «Smart meter data analytics», *Microsoft*, 1er juillet 2019, [PDF], p.2.

⁶⁵ «La blockchain est une technologie de stockage et de transmission d'informations, transparente, sécurisée, et fonctionnant sans organe central de contrôle.[...] Par extension, une blockchain constitue une base de données qui contient l'historique de tous les échanges effectués entre ses utilisateurs depuis sa création. Cette base de données est sécurisée et distribuée : elle est partagée par ses différents utilisateurs, sans intermédiaire, ce qui permet à chacun de vérifier la validité de la chaîne.» L'exemple le plus populaire de l'utilisation de la blockchain est la cryptomonnaie, comme les Bitcoins ; BLOCKCHAINFRANCE. «Qu'est-ce que la blockchain ?», *Blockchain France*, s.d., en ligne : <<https://blockchainfrance.net/decouvrir-la-blockchain/c-est-quoi-la-blockchain/>> (Consulté le 31 août 2020).

⁶⁶ SMITH, Brad. «We're increasing our carbon fee as we double down on sustainability», *Microsoft*, 15 avril 2019, en ligne : <<https://blogs.microsoft.com/on-the-issues/2019/04/15/were-increasing-our-carbon-fee-as-we-double-down-on-sustainability/>> (Consulté le 31 août 2020).

⁶⁷ DONTI Priya L. «Tackling Climate Change with Machine Learning», 5 novembre 2019, [PDF], p.11.

Outre la gestion de l'efficacité énergétique, l'IA permet aussi d'améliorer celle des ressources naturelles. La prochaine sous-section examinera en quoi l'utilisation de l'IA permet de contribuer à cet objectif environnemental important.

2.2 Gestion des ressources

La protection de notre environnement repose essentiellement sur la conservation des ressources naturelles qui le composent. L'intelligence artificielle est un outil qui permet un contrôle plus efficace de la qualité de l'eau et de l'air et une meilleure gestion des ressources biotiques renouvelables.

Le programme de Microsoft *AI for Earth* compte plus de 230 bénéficiaires qui utilisent, entre autres, sa plateforme d'apprentissage profond «*Azure*» sur le *cloud*, et l'intelligence artificielle pour résoudre des problèmes environnementaux.⁶⁸ Parmi les 51 bénéficiaires mentionnés par Microsoft sur leur site d'*AI for Earth*, plusieurs utilisent le programme, ses outils et ses subventions afin de **surveiller la biodiversité**.⁶⁹ Par exemple, l'organisation *Ashoka Trust for Research in Ecology and Environment (ATREE)* utilise l'apprentissage automatique et la vision par ordinateur pour cartographier, cataloguer et créer un atlas de la biodiversité du nord-est de l'Inde.

⁷⁰ Leur but est de créer une base de données complète de la biodiversité de la région afin d'aider les décideurs et les communautés locales à prendre des décisions économiques, écologiques et relatives aux infrastructures qui soient mieux informées.

⁷¹ Dans le même ordre d'idée, l'organisation *Conservation Metrics* développe des solutions automatiques sur *Azure* qui permettent, grâce à des capteurs à distance, de

⁶⁸ SMITH, Brad. *Op cit.* note 66.

⁶⁹ MICROSOFT. *Op cit.* note 63.

⁷⁰ ATREE. «Biodiversity atlas for northeast India», *Microsoft*, 28 juin 2019, [PDF], p.1.

⁷¹ *Id.*

collecter, traiter et analyser des données sur la faune.⁷² Ces données servent à créer des modèles prédictifs qui soutiennent la conservation des espèces à risque.⁷³ Un autre exemple est la plateforme de réseaux sociaux *iNaturalist* qui utilise la subvention de Microsoft pour créer et déployer un modèle de vision par ordinateur pouvant reconnaître et identifier instantanément et efficacement différentes espèces animales ou végétales. Avec le développement de modèles de reconnaissance d'image avec l'IA, la plateforme peut détecter en temps réel des anomalies dans l'environnement et aider à dresser un tableau global des processus écosystémiques. En utilisant les données via des modèles d'IA prédictifs, *iNaturalist* peut passer de la collecte passive de données sur les écosystèmes à la mobilisation active des scientifiques et des communautés locales pour enquêter sur des situations inhabituelles et prendre des mesures pour protéger les écosystèmes.⁷⁴ D'autres organisations font un suivi plus précis de la biodiversité en surveillant, par exemple, les populations de lions⁷⁵, de singes⁷⁶, de pingouins⁷⁷, d'ours⁷⁸ ou d'abeilles⁷⁹ dans une région donnée. L'organisation *Long Live the Kings* surveille le rétablissement du saumon et la pêche durable dans la mer des Salish, au sud de l'île de Vancouver.⁸⁰

⁷² CONSERVATION METRICS. «Automated wildlife monitoring», *Microsoft*, 28 juin 2019, [PDF], p.1.

⁷³ *Id.*

⁷⁴ INATURALIST. «A community for naturalists to help protect biodiversity», *Microsoft*, 28 juin 2019, [PDF], p.1.

⁷⁵ LINC. «Capturing and sharing data on lion populations», *Microsoft*, 28 juin 2019, [PDF], p.1.

⁷⁶ IIT DELHI. «Intelligent tool for monitoring monkey populations», *Microsoft*, 28 juin 2019, [PDF], p.1.

⁷⁷ LYNCH, Heather. «Tracking Antarctic penguin populations», *Microsoft*, 28 juin 2019, [PDF], p.1.

⁷⁸ LAMB, Clayton. «Massively parallel computing for grizzly bear conservation», *Microsoft*, 28 juin 2019, [PDF], p.1.

⁷⁹ PEREIRA, Agustin Garcia. «Curbing the decline of wild and managed bees», *Microsoft*, 28 juin 2019, [PDF], p.1.

⁸⁰ LONG LIVE THE KINGS. «Salish Sea Marine Survival Project», *Microsoft*, 28 juin 2019, [PDF], p.1.

L'IA est également utilisée afin d'**assurer une gestion adéquate de l'eau** dans différentes régions. Par exemple, le projet EqWater du *Indian Institute of Science* utilise l'analyse de données et l'apprentissage automatique afin d'identifier les inégalités dans la distribution de l'eau dans les mégapoles d'Inde et proposer des recommandations afin d'assurer une distribution équitable en eau.⁸¹ Pour ce faire, les chercheurs de ce projet se basent sur des données issues de capteurs qui montrent la quantité d'eau s'écoulant à travers les tuyaux de certains quartiers, des données de mesure résidentielle d'utilisation d'eau, des données sur la quantité d'eau acheminée par de grands réservoirs à l'intérieur et autour de la ville, des données démographiques et socioéconomiques ainsi que des données météorologiques saisonnières.⁸² D'autres bénéficiaires d'*AI for Earth* utilisent l'IA afin de prédire les inondations. Michael Souffront, un ingénieur logiciel chez Aquaveo a amélioré le Global Flood Awareness System (GloFAS) développé conjointement par la Commission européenne et le Centre européen de prévisions météorologiques à moyen terme (ECMWF).⁸³ Le travail de Souffront a permis d'augmenter la précision globale de GloFAS et de prévenir les inondations dans les cours d'eau de petites et moyennes tailles, plutôt que de prévenir les inondations uniquement des cours d'eau principaux.⁸⁴ De leur côté, l'*University of Massachusetts Boston* développe des modèles d'apprentissage automatique dans le but de prévoir avec précision les inondations jusqu'à 15 jours à l'avance.⁸⁵ Les chercheurs évaluent si les données historiques des inondations précédentes peuvent révéler des modèles permettant des prévisions futures.⁸⁶ Finalement, la chercheuse Africa Flores travaillant au *Earth System Science Center* de l'Université de l'Alabama et son équipe utilisent l'IA afin d'analyser, avec des algorithmes d'apprentissage profond, des images satellites et

⁸¹ INDIA INSTITUTE OF SCIENCE. «EqWater project», *Microsoft*, 28 juin 2019, [PDF], p.1-3.

⁸² *Id.*

⁸³ SOUFFRONT, Michael. «Global streamflow prediction», *Microsoft*, 28 juin 2019, [PDF], p.1-2.

⁸⁴ *Id.*

⁸⁵ UNIVERSITY OF MASSACHUSETTS BOSTON. «Long-range flood prediction», *Microsoft*, 28 juin 2019, [PDF], p.1-2.

⁸⁶ *Id.*

modèles météorologiques couvrant des variables telles que les précipitations, la température, la couverture nuageuse, le changement de la couverture terrestre, le ruissellement et le rayonnement solaire.⁸⁷ Leurs analyses aident à identifier les variables qui pourraient prédire les futures proliférations d'algues sur le lac Atitlán dans les Hautes terres guatémaltèques. La professeure Flores espère que le projet, à court terme, permettra aux autorités de prendre des mesures préventives précoces grâce à ces informations et, à plus long terme, d'appliquer l'algorithme à d'autres masses d'eau douce ayant des conditions similaires en Amérique du Sud et centrale.⁸⁸

Enfin, parmi les bénéficiaires de la subvention *AI for Earth*, on retrouve plusieurs organismes qui utilisent l'IA pour **surveiller et conserver les forêts**. Entre autres, SilviaTerre travaille en collaboration avec Microsoft afin de développer un inventaire des forêts aux États-Unis avec des estimations de bois, d'habitat et de carbone pour chaque acre. Cet inventaire détaillé permet à SilviaTerre de fournir aux propriétaires fonciers des recommandations afin d'améliorer la valeur, la santé et l'avenir de leurs forêts, notamment en leur offrant un meilleur accès aux marchés du carbone.⁸⁹ Un autre exemple sur le sujet de protection des forêts est le chercheur David Dao qui a développé son concept de GainForest afin de lutter contre la déforestation.⁹⁰ Une grande partie de la déforestation est due aux agriculteurs locaux qui défrichent la forêt pour l'élevage du bétail ou les cultures. Ce processus réduit non seulement la forêt, mais contribue également à l'épuisement des sols qui ne fourniront qu'une seule période fertile, perpétuant ainsi la demande pour plus de défrichement. Face à cette situation, la solution de l'ONU a été de lancer, en 2008, le Programme de collaboration des Nations Unies sur la réduction des émissions dues à la déforestation

⁸⁷ FLORES, Africa. «Early warning of harmful algal blooms», *Microsoft*, 28 juin 2019, [PDF], p.1-2.

⁸⁸ *Id.*

⁸⁹ SILVIATERRA. «National forest inventory and carbon offset pilot», *Microsoft*, 28 juin 2019, [PDF], p.1.

⁹⁰ DAO, David. «GainForest», *Microsoft*, 28 juin 2019, [PDF], p.1.

et à la dégradation des forêts (REDD +) dans les pays en développement.⁹¹ REDD + offre des incitations financières aux pays en développement afin de ne pas abattre leurs arbres, réduire leurs émissions provenant des terres boisées et s'engager dans la conservation et la gestion durable.⁹² Une problématique rencontrée dans certaines régions, dont la forêt amazonienne, est qu'il serait trop long et difficile de déterminer qui a la prétention légale d'être le gardien d'une section particulière de la forêt afin de lui donner une incitation financière pour préserver les arbres. David Dao a voulu aider l'ONU en créant un système qui permettrait à n'importe qui d'avoir un intérêt financier dans la conservation de la forêt, transformant tout le monde en «gardiens» potentiels.⁹³ Sa solution fonctionne en trois grandes parties. En premier lieu, il utilise la télédétection, soit l'analyse d'images satellites pour déterminer facilement où les arbres sont préservés et où ils sont enlevés. Ensuite, un algorithme d'apprentissage automatique permet de prédire quelles zones d'une forêt sont à risque de déforestation et à quel point ce risque est important. Cette étape prédictive permet de définir le montant des incitatifs à investir en fonction de la gravité de la situation. Finalement, Dao utilise la technologie blockchain afin de créer des contrats intelligents qui permettent un transfert de fonds efficace, transparent et hautement sécurisé aux personnes concernées.⁹⁴

Éventuellement, l'apprentissage automatique pourrait permettre d'automatiser le reboisement à grande échelle en localisant les sites de plantation appropriés. Des entreprises comme BioCarbon Engineering et DroneSeed développent même des drones capables de planter des paquets de semences plus rapidement et à moindre coût que les méthodes traditionnelles.⁹⁵ L'apprentissage automatique pourrait

⁹¹ UN-REDD PROGRAMME. «About UN-REDD PROGRAMME», *UN-REDD*, 17 janvier 2020, en ligne : <<https://www.unredd.net/about/un-redd-programme.html>> (Consulté le 30 août 2020).

⁹² DAO, David. *Op cit.* note 90.

⁹³ *Id.*, p.2.

⁹⁴ *Id.*, p.2-3.

⁹⁵ LACOSTE, Alexandre. «Tackling Climate Change with Machine Learning», 5 novembre 2019, [PDF], p.32.

également être utilisé afin de surveiller la santé des forêts, prédire les risques d'incendie et contribuer à une foresterie durable.⁹⁶

L'intelligence artificielle peut également jouer un rôle important dans **le contrôle de la qualité de l'air**, particulièrement au niveau du CO₂ et des autres gaz à effet de serre. Le premier secteur où l'IA peut être utilisé à cet effet est le secteur des transports, qui représente le quart des émissions de CO₂.⁹⁷ L'utilisation de l'IA, mais surtout de l'apprentissage automatique pourrait permettre de réduire les activités de transport globalement en utilisant des capteurs permettant de traduire les données brutes récoltées en information utile. Ces données pourraient ensuite être utilisées afin de modéliser la demande des différents types de transport et leur impact, allant du covoiturage et des transports en commun au transport industriel de marchandises et aux transports actifs, et ultimement, d'optimiser ces transports.⁹⁸ L'IA pourrait aussi être utilisée comme un outil qui permettrait d'améliorer l'efficacité des véhicules lors de leur conception en réduisant leur consommation d'énergie.⁹⁹ L'intelligence artificielle offre également un grand potentiel de réduction de gaz à effet de serre dans le secteur de l'industrie. Entre autres, l'utilisation de l'IA promet d'optimiser les chaînes d'approvisionnement, d'améliorer la qualité de la production et des matériaux, de prévoir les pannes de machines, d'optimiser les systèmes de chauffage et de refroidissement et de prioriser l'utilisation d'électricité propre par rapport aux combustibles fossiles.¹⁰⁰

⁹⁶ *Id.*, p.30.

⁹⁷ KAACK, Lynn H. «Tackling Climate Change with Machine Learning», 5 novembre 2019, [PDF], p.13.

⁹⁸ *Id.*, p.13-16.

⁹⁹ *Id.*, p.16-17.

¹⁰⁰ WALDMAN-BROWN, Anna. «Tackling Climate Change with Machine Learning», 5 novembre 2019, [PDF], p.26-29.

Un autre projet de la compagnie IBM au travers de son initiative Green Horizon en Chine traite de la gestion de la qualité de l'air. La solution d'IBM comprend des prévisions de la qualité de l'air à haute résolution, l'identification et la traçabilité des sources d'émissions et une aide à la décision politique quantitative.¹⁰¹ La solution utilise l'apprentissage automatique afin d'analyser les prévisions météorologiques précédentes pour déterminer la qualité de ces prévisions dans différents scénarios et afin de construire ensuite de meilleurs modèles de prévision au fil du temps.¹⁰² IBM collabore également avec d'autres villes en Inde et en Afrique du Sud sur le même enjeu.

La compagnie Google aide 20 regroupements qui ont été sélectionnées suite à un appel ouvert aux organisations du monde entier pour qu'elles soumettent leurs idées sur la manière dont elles pourraient utiliser l'IA pour relever les défis de la société. Parmi ces 20 organisations, on retrouve par exemple l'*Université Makerere* en Ouganda. Celle-ci a proposé un projet afin de lutter contre la pollution atmosphérique, lequel est un facteur majeur de mortalité et de mauvaise santé dans les pays en développement. Plus particulièrement, des chercheurs de l'Université de Makerere utilisent l'IA pour analyser les données provenant de capteurs d'air à faibles coûts installés sur des motos-taxis et à d'autres endroits autour de Kampala dans le but d'améliorer la surveillance et les prévisions de la qualité de l'air et ainsi éclairer les interventions futures.¹⁰³

¹⁰¹ IBM. *Op cit.* note 51.

¹⁰² HOWARD, Alexander. «How IBM Is Using Big Data To Battle Air Pollution In Cities», *Huffpost US*, 9 décembre 2015, en ligne : <https://www.huffingtonpost.ca/entry/ibm-big-data-air-pollution_n_56684e44e4b080eddf565510?ri18n=true&gucounter=1> (Consulté le 31 août 2020).

¹⁰³ GOOGLE AI. «Meet the Google AI Impact Challenge grantees», *Google*, s.d., en ligne : <<https://ai.google/social-good/impact-challenge/>> (Consulté le 31 août 2020).

Un autre enjeu environnemental important dans notre société moderne est la production de déchets. La prochaine sous-section examinera en quoi l'utilisation de l'IA permet de contribuer à la gestion des déchets.

2.3 Gestion des déchets

La Chine commence déjà à faire des efforts pour intégrer l'intelligence artificielle dans la protection environnementale de ses villes. Alors que le pays s'efforce de devenir plus vert, la gestion des déchets par l'intelligence artificielle prend son envol grâce à une plus grande sensibilisation des citoyens face au recyclage. En moins d'un an, et avec le soutien du gouvernement chinois, la compagnie *Xiaohuanggou* a déployé plus de 10 000 contenants de tri dans 33 villes chinoises.¹⁰⁴ Le fonctionnement de ces contenants de tri repose sur l'intelligence artificielle pour trier automatiquement les déchets à l'aide de caméras et à partir de la densité et la taille moyenne des déchets. Les contenants de tri retournent également aux utilisateurs un certain montant pour des boîtes en métal, en plastique ou en carton. Ils fournissent également des services comme l'analyse de mégadonnées (*big data*), le cloud computing et la localisation précise qui permet aux utilisateurs de suivre leurs déchets.¹⁰⁵ Le système de surveillance de ces poubelles informe également les ramasseurs de déchets lorsque 80% de l'espace de la poubelle est rempli. Les déchets sont ensuite livrés au centre de tri où ils seront traités et transférés vers les usines en tant que ressources renouvelables.¹⁰⁶ Face à cette popularité croissante des contenants de tri, le Conseil d'État Chinois a récemment publié un plan de construction de villes

¹⁰⁴ PEOPLE'S DAILY ONLINE. «AI-powered waste management underway in China», *People's Daily Online*, 26 février 2019, en ligne : <<http://en.people.cn/n3/2019/0226/c98649-9549956.html>> (Consulté le 31 août 2020).

¹⁰⁵ *Id.*

¹⁰⁶ *Id.*

zéro déchet qui promeut le « modèle de recyclage Internet Plus » afin d'intégrer les nouvelles technologies au tri des déchets.¹⁰⁷

Un autre exemple de gestion des déchets grâce à l'intelligence artificielle est l'organisation canadienne WikiNet, récipiendaire d'une subvention *AI for Earth* de Microsoft. WikiNet utilise l'intelligence artificielle et l'apprentissage automatique afin d'améliorer les décisions de nettoyage des sites contaminés. Les projets d'assainissement des sites contaminés ont souvent un budget et des ressources limitées, surtout dans les pays en développement. De plus, bien que de nombreuses études de cas sur les techniques d'assainissement soient disponibles dans des revues scientifiques ou des rapports de conférence, les données des études sont très peu structurées, ce qui rend difficile l'évaluation et la prise en compte rapides de diverses techniques.¹⁰⁸ La solution WatRem de WikiNet s'appuie sur les connaissances accumulées des efforts de nettoyage antérieurs pour fournir des recommandations automatisées afin de rendre le nettoyage de ces sites plus efficace et efficient. Après avoir importé une étude de cas, la solution WatRem utilise des algorithmes d'apprentissage profond afin d'extraire et identifier les données utiles de cette étude de cas. La solution utilise des mots clés comme des contaminants spécifiques, des types de sol ou des méthodologies de traitement. En créant ces ensembles de données structurés, les algorithmes d'apprentissage automatique peuvent être programmés afin de recommander des traitements dans diverses conditions de site, ou encore éliminer les traitements inefficaces ou inapplicables à une situation donnée.¹⁰⁹ WikiNet permet donc aux agences gouvernementales et aux experts de traiter plus facilement ces informations rapidement et d'obtenir de meilleures recommandations pour le traitement des zones contaminées.¹¹⁰

¹⁰⁷ *Id.*

¹⁰⁸ WIKINET. «Improving contaminated site cleanup with AI», *Microsoft*, s.d., [PDF], p.1.

¹⁰⁹ *Id.*

¹¹⁰ *Id.*

Outre la gestion des déchets, l'IA permet aussi d'améliorer la prédiction climatique. La prochaine sous-section examinera comment cette prédiction par l'utilisation de l'IA permet d'anticiper et réduire les risques liés aux changements environnementaux et conditions climatiques extrêmes.

2.4 Prédiction climatique

L'apprentissage automatique pourrait permettre d'avoir un impact positif important sur la prédiction climatique, en unissant différents modèles et données liés au climat ou en prévenant des événements climatiques extrêmes comme des catastrophes naturelles.¹¹¹ En effet, les modèles météorologiques qui utilisent l'apprentissage automatique sont vraisemblablement plus précis et moins coûteux que certains modèles pour lesquels les données sont abondantes mais difficiles à modéliser ou d'autres qui ont de bons modèles mais qui sont trop coûteux à utiliser en pratique.¹¹² Lorsqu'il y a beaucoup de données présentes, l'IA pourrait être utilisée afin de surmonter les problèmes techniques rencontrés dans l'élaboration de modèles. À l'inverse, lorsqu'il n'y a pas beaucoup de données, l'IA peut être utilisée comme approximateurs de réseaux neuronaux, améliorant ainsi les coûts et la précision de modèles climatiques mondiaux. L'apprentissage automatique pourrait également être utilisé afin d'identifier et exploiter les relations entre les variables climatiques en vue d'obtenir de meilleures prédictions d'ensemble.¹¹³

En plus de travailler à perfectionner les modèles climatiques, l'apprentissage automatique pourrait être utilisé pour prévoir les changements dans les tendances à

¹¹¹ KOCHANOSKI, Kelly. «Tackling Climate Change with Machine Learning», 5 novembre 2019, [PDF], p.36.

¹¹² *Id.*, p. 37.

¹¹³ *Id.*, p.38.

long terme comme la fréquence des sécheresses et l'intensité des tempêtes.¹¹⁴ L'utilisation de l'IA pourrait également grandement améliorer les prévisions locales, en traduisant les prévisions climatiques en scénarios de risque. Le recours à l'IA dans de tels scénarios s'effectuerait, par exemple, en utilisant les données d'inondations passées pour informer les particuliers qui désirent acheter une maison ou une assurance.¹¹⁵

Outre la gestion de ces différents enjeux environnementaux, l'IA permet également d'assurer le respect des normes environnementales. La prochaine sous-section examinera en quoi l'utilisation de l'IA permet de contribuer à cet objectif environnemental important.

2.5 Respect des normes environnementales

Certaines applications développées grâce au soutien des fonds d'*AI for Earth* sont plus directement reliées au respect des normes juridiques. Par exemple, *OceanMind* utilise l'IA et le cloud afin d'analyser les données satellites des mouvements de navire et identifier leur comportement et leur conformité réglementaire. Cette analyse permet d'aider les gouvernements à appliquer plus efficacement les lois existantes et aide les acheteurs de fruits de mer à faire des choix plus responsables.¹¹⁶

La compagnie Rainforest Connection des États-Unis est une compagnie qui utilise la technologie mobile et l'apprentissage profond (*deep learning*) pour faire de la surveillance biacoustique pour suivre la santé de la forêt tropicale et détecter les menaces immédiates. Les menaces qui sont détectées incluent les activités d'exploitation forestière illégale, le braconnage et d'autres dangers

¹¹⁴ *Id.*, p.39.

¹¹⁵ *Id.*, p.39.

¹¹⁶ OCEANMIND. «Curbing illegal fishing with satellite data and AI», *Microsoft*, 1er juillet 2019, [PDF], p.1.

environnementaux. En analysant la santé de la forêt tropicale, ils rendent également disponibles les données recueillies pour tout scientifique du monde entier.¹¹⁷

Google a également mis en place un système de subventions de par son programme *AI for Social Good*.¹¹⁸ En effet, la compagnie aide 20 regroupements ayant été sélectionnés suite à un appel ouvert aux organisations du monde entier pour qu'elles soumettent leurs idées sur la manière dont elles pourraient utiliser l'IA pour relever les défis de la société.¹¹⁹ Parmi ces 20 organisations, on retrouve le «Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario» situé en Colombie.¹²⁰ Les chercheurs Colombiens utilisent l'imagerie satellite et l'apprentissage automatique pour détecter les mines illégales dans tout le pays qui polluent les zones environnantes, contaminent l'eau et les stocks de poissons et mettent en danger les travailleurs et communautés locales. Ce travail permet aux communautés et au gouvernement colombien de prendre des mesures afin de protéger les personnes et les ressources naturelles.¹²¹

L'apprentissage automatique pourrait également être utilisé pour différencier la coupe sélective de la coupe à blanc en utilisant l'imagerie de télédétection ou, en utilisant de vieux micro-ordinateurs alimentés par des panneaux solaires, afin de détecter et signaler les sons de tronçonneuses.¹²² L'intelligence artificielle pourrait également, à l'aide de caméras et des capteurs de haute précision, cartographier en temps réel les émissions de gaz à effet de serre provenant des activités forestières.¹²³ Ces outils de

¹¹⁷ RAINFOREST CONNECTION. «OUR WORK», *Rainforest Connection*, s.d., en ligne : <https://www.rfcx.org/our_work> (Consulté le 31 août 2020).

¹¹⁸ GOOGLE AI. «Meet the Google AI Impact Challenge grantees», *GOOGLE AI*, s.d., en ligne : <<https://ai.google/social-good/impact-challenge/>> (Consulté le 21 janvier 2021).

¹¹⁹ *Id.*

¹²⁰ *Id.*

¹²¹ *Id.*

¹²² LACOSTE, Alexandre. *Op cit.* note 95, p.33.

¹²³ *Id.*, p.33.

surveillance peuvent fournir des preuves précieuses pour l'application des recours judiciaires luttant contre les activités illégales.

Ayant ainsi examiné les différents bénéfices liés à l'utilisation de l'IA dans le domaine de l'environnement, la dernière sous-section suivante examinera pour sa part les conséquences négatives qu'entraîne le recours à cette technologie par les différents acteurs publics et privés.

Malgré les impacts positifs que peuvent avoir l'utilisation de l'IA en environnement, il reste tout de même que cette utilisation a un coût environnemental en soi. La prochaine sous-section examinera quel est l'impact environnemental lié à l'utilisation de l'IA.

2.6 Impact environnemental du numérique

Malgré l'impact positif des nouvelles technologies sur l'environnement, l'utilisation de l'intelligence artificielle crée néanmoins une pollution dite numérique. Un premier point à considérer est la consommation en électricité. En effet, en 2018, le secteur des nouvelles technologies engloutissait 10% de la consommation mondiale d'électricité et, produisait de ce fait près de 4 % de nos émissions de gaz à effet de serre.¹²⁴ De cette consommation, environ 30% sont imputables aux équipements, c'est-à-dire les ordinateurs, téléviseurs, écrans, tablettes, et autres objets connectés qui sont très gourmands en énergie, particulièrement lors de leur recharge (ex : téléphones intelligents).¹²⁵ Ensuite, un autre 30% sont liés aux centres de données (*data centers*)

¹²⁴ CAILLOCE, Laure. «Numérique : le grand gâchis énergétique», *CNRS*, 16 mai 2018, en ligne : <<https://lejournale.cnr.fr/articles/numerique-le-grand-gachis-energetique>> (Consulté le 22 octobre 2020).

¹²⁵ ROLLAND, Sylvain. «Comment le numérique pollue dans l'indifférence générale», *LaTribune*, 18 décembre 2018, en ligne : <<https://www.latribune.fr/technos-medias/internet/comment-le-numerique-pollue-dans-l-indifference-generale-801385.html>> (Consulté le 22 octobre 2020).

qui, non seulement utilisent beaucoup d'énergie, mais produisent également beaucoup de chaleur qu'il faut refroidir. Finalement, 40% de la consommation énergétique seraient liés aux réseaux, qui comprend des kilomètres de câbles et tuyaux, garnis d'antennes et de routeurs nous permettant d'avoir accès au web.¹²⁶ Un autre aspect de cette utilisation est l'hyper disponibilité continue du web. Les infrastructures (centres de données, routeurs, etc...) sont conçues pour absorber les afflux de données lors de leurs pics d'utilisation qui ne durent que quelques heures par jour. Les serveurs restent donc allumés et consomment de l'énergie même lorsqu'ils sont inactifs et qu'ils ne sont pas directement sollicités.¹²⁷ De plus, les couches logicielles qui permettent à ces équipements de fonctionner sont très peu optimisées. Depuis que la mémoire n'est plus une préoccupation pour les développeurs informatiques, le code est de moins en moins synthétique et efficace, ce qui signifie des calculs plus longs et plus gourmands en électricité.¹²⁸ L'électricité utilisée peut provenir en partie d'énergies renouvelables (nucléaire, hydroélectricité), mais une grande partie est produite à partir d'énergie non renouvelable, comme la combustion fossile.¹²⁹ Certaines initiatives sont déjà mises en place afin de lutter contre cette utilisation énergétique, particulièrement en ce qui a trait à la chaleur dégagée par les serveurs. Au Québec, le climat, l'hiver, est idéal pour redistribuer la chaleur produite à faible coût. Par exemple, à l'Université de Sherbrooke, la chaleur générée dans le bâtiment qui abrite notamment le super ordinateur Mammouth est récupérée pour chauffer d'autres bâtiments de la Faculté des sciences.¹³⁰ Certaines démarches sont amorcées

¹²⁶ *Id.*

¹²⁷ CAILLOCE, Laure. *Op cit.* note 124.

¹²⁸ *Id.*

¹²⁹ HAILLUS, Morgan. «Comment Internet est devenu le 3ème consommateur d'électricité mondial», *Katchak*, 2 octobre 2019, en ligne : <<https://katchak-agency.fr/comment-internet-est-devenu-le-3eme-consommateur-delectricite-mondial/>> (Consulté le 23 octobre 2020).

¹³⁰ MASSE, Pierre. «Un nouveau projet d'économie d'énergie à la Faculté des sciences», *Université de Sherbrooke*, 19 décembre 2005, en ligne : <<https://www.usherbrooke.ca/actualites/nouvelles/facultes/sciences/sciences-details/article/10529/>> (Consulté le 23 octobre 2020).

afin de réduire la consommation énergétique liée à l'IA. Développé en collaboration avec l'Institut québécois d'intelligence artificielle à Montréal (MILA), l'outil CodeCarbon a récemment été dévoilé et permet aux chercheurs en intelligence artificielle de mesurer et de réduire leurs émissions de CO₂. CodeCarbon est un code informatique qui, ajouté aux modèles d'apprentissage automatique des chercheurs, permet d'estimer les émissions de CO₂ produites en analysant le travail effectué, les composantes informatiques du serveur, la localisation du centre de données, etc...¹³¹

En plus de la consommation énergétique, les nouvelles technologies posent un autre défi environnemental : l'utilisation de ressources rares (ex : or, cobalt, lithium). Non seulement la quantité même d'appareils électroniques est en augmentation, mais le nombre et la quantité de métaux utilisés dans les composantes électroniques ne cessent d'augmenter à mesure que les appareils se miniaturisent et deviennent plus performants. Qui plus est, ces ressources sont extraites et raffinées en utilisant des techniques particulièrement destructives et des produits nocifs pour l'environnement comme l'acide sulfurique, le mercure ou le cyanure.¹³²

Un autre aspect de cet enjeu environnemental est le faible taux de recyclage de ces matériaux. La quantité de déchets électroniques (*E-waste*) augmente très rapidement. Selon le Recycle San Diego, environ 70% des métaux lourds toxiques retrouvés dans les dépotoirs américains proviennent de produits électroniques jetés à la poubelle. Ce problème s'accélère, de plus en plus, puisque l'espérance de vie moyenne des

¹³¹ JOHNSON, Maxime. «Un logiciel pour rendre l'intelligence artificielle plus verte», L'actualité, 5 décembre 2020, en ligne : <https://lactualite.com/techno/un-logiciel-pour-rendre-lintelligence-artificielle-plus-verte/?fbclid=IwAR3kntAjVWZHUpDKvdLuOWtM-btqxN6ut7eiL4YzjfvghSE9aWJE5ICIAc> (Consulté le 21 janvier 2021).

¹³² CAILLOCE, Laure. *Op cit.* note 124.

appareils électroniques diminue¹³³. En effet, les entreprises et les particuliers mettent à jour leurs appareils électroniques beaucoup plus souvent qu'avant, créant une plus grande quantité de déchets électroniques et menant à une perte de ressources naturelles alors que celles-ci sont de plus en plus employées dans leur processus de fabrication.¹³⁴

Un enjeu qui touche à la fois l'utilisation de ressources rares et l'augmentation de déchets électroniques est l'obsolescence. Cette dernière est séparée en deux types : l'obsolescence relative et l'obsolescence programmée. L'obsolescence programmée se définit par tout stratagème par lequel un bien voit sa durée de vie sciemment réduite dès sa conception, limitant ainsi sa durée d'usage pour des raisons de modèle économique. Les cas reconnus d'obsolescence programmée sont très rares et relèvent davantage de suspicions (parfois fortes) que de démonstrations ou de preuves avérées.¹³⁵ De son côté, l'obsolescence relative se définit plutôt comme la fin prématurée du produit causée par différentes motivations, comme des motivations fonctionnelles (dépréciation économique, changement technologique, nouveaux besoins), psychologiques (changement subjectif, expérience passée, mode, esthétique).¹³⁶

L'utilisation de l'IA passe nécessairement par l'usage de matériel informatique, qui est souvent source de pollution lors de sa construction ou à cause du faible taux de recyclage de ses composantes électroniques (voir ci-haut). Le recours à l'IA dans le domaine de l'environnement nécessite du matériel de plus en plus performant pour

¹³³ En 1997, l'espérance de vie moyenne des ordinateurs était de six ans. En 2005, cette espérance de vie était tombée à deux ans.
BLANK, Chris. «The Environmental Pros & Cons of Using Computer Technology», *Hearst Newspapers*, s.d., en ligne : <https://smallbusiness.chron.com/environmental-pros-cons-using-computer-technology-41941.html> (Consulté le 23 octobre 2020).

¹³⁴ *Id.*

¹³⁵ GIRARD, Annick et al. «Obsolescence des appareils électroménagers et électroniques : quel rôle pour le consommateur?», *Équiterre*, mai 2018, [PDF], p.14.

¹³⁶ *Id.*, p.16.

effectuer des calculs de plus en plus complexes, ce qui entraîne une forme de paradoxe technologique. Selon cette logique, l'emploi de la technologie pour améliorer l'environnement risquerait inversement de le dégrader à un autre égard. Il s'agit donc d'un point de vigilance important à garder en tête lorsque le moment vient d'utiliser l'IA.

Qu'elle soit programmée ou relative, l'obsolescence entraîne un besoin d'action de la part des consommateurs et des entreprises, mais également des institutions législatives. À plus petite échelle, il est premièrement important de sensibiliser les citoyens-consommateurs pour assurer le réemploi et le recyclage des appareils électroniques et ainsi augmenter leur espérance de vie. Cela peut s'effectuer en utilisant par exemple un calculateur du prix de revente des appareils électroniques pour inciter les consommateurs à leur donner une deuxième vie. Les entreprises ont aussi leur part de responsabilité afin de favoriser la réparation et limiter le remplacement prématuré des appareils.¹³⁷ La responsabilité des entreprises face à l'obsolescence sera abordée à la section 3.3.

Ayant ainsi examiné les différents impacts positifs et négatifs liés à l'utilisation de l'IA dans le domaine de l'environnement, nous examinerons au cours de la dernière section de quelle manière cette technologie pourrait être intégrée dans la gouvernance environnementale. Il s'agira plus particulièrement d'analyser en quoi les normes juridiques dans le domaine de l'environnement peuvent intégrer des techniques d'IA dans leur mise en œuvre.

¹³⁷ *Id.*, p.29.

3. L'intégration de l'IA en gouvernance environnementale

Dans cette dernière section, nous examinerons d'abord le traitement de l'IA dans les corpus juridiques de différentes juridictions (Chine, France, États-Unis et Canada) (3.1), pour ensuite analyser les enjeux liés à la gouvernance environnementale (3.2). Nous terminerons ensuite sur une réflexion afin d'identifier comment et dans quels domaines l'IA pourrait être intégrée dans la juridiction canadienne et québécoise existante.

3.1 Le traitement de l'IA dans le corpus juridique de diverses juridictions

Parmi les différentes juridictions ayant élaboré différentes stratégies politiques et nationales pour encourager le développement de l'IA, certaines d'entre elles ciblent plus spécifiquement le domaine de l'environnement. Nous examinerons plus en détail celles-ci au cours de cette section.

La **Chine** a, en 2017, mis en place de façon globale une planification politique en trois étapes visant à développer rapidement les technologies liées à l'intelligence artificielle (IA).¹³⁸ La première d'entre elles consiste à suivre de près le développement de l'ensemble des technologies de pointe de l'IA et leur application d'ici 2020. Ensuite, la seconde étape consiste à réaliser des avancées majeures d'ici

¹³⁸ WEBSTER, Graham et al. «A Next Generation Artificial Intelligence Development Plan», *China Copyright and Media*, 1er août 2017, en ligne : <<https://chinacopyrightandmedia.wordpress.com/2017/07/20/a-next-generation-artificial-intelligence-development-plan/>> (Consulté le 31 août 2020).

2025, ce qui devrait mener à la dernière étape de son plan, l'établissement de la Chine en tant que leader mondial dans le domaine de l'IA d'ici 2030. La politique chinoise de développement des technologies liées à l'intelligence artificielle s'étend à toutes les sphères de sa société. Elle prévoit non seulement la réalisation d'avancées importantes, mais aussi l'implémentation de l'intelligence artificielle pour aider, entre autres, le système de santé, l'éducation, les industries, les cours de justice, les transports et infrastructures, l'armée, l'agriculture et la protection environnementale.¹³⁹ Afin de garantir la réussite de sa politique, la Chine prévoit d'élaborer des lois, des règlements et des normes éthiques qui favorisent le développement de l'IA, en plus de participer activement à la gouvernance mondiale de l'IA, de contribuer à l'étude des grands problèmes communs internationaux, d'accentuer la coopération internationale sur la réglementation en matière d'IA, et de faire face conjointement aux défis mondiaux.¹⁴⁰

Au niveau de la protection environnementale, la Chine prévoit mettre en place une plateforme de données et des systèmes intelligents et de construire des réseaux de partage d'informations afin de surveiller l'atmosphère, l'eau, les sols et autres zones environnementales. Une autre action de la politique concernant la protection environnementale prévoit de rechercher et développer des modèles et des méthodes de prévision intelligentes et des programmes d'alerte précoce pour la consommation de ressources énergétiques et les rejets de polluants environnementaux.¹⁴¹

En **France**, Cédric Villani, un député et mathématicien, a écrit en 2018 un rapport élaborant la stratégie principalement française, mais aussi généralement européenne sur l'IA nommé «Donner un sens à l'intelligence artificielle pour une stratégie

¹³⁹ *Id.*

¹⁴⁰ *Id.*

¹⁴¹ *Id.*

nationale et européenne». ¹⁴² Le rapport est séparé en six parties traitant respectivement de l'impact des données dans l'économie, de la recherche et le développement de l'IA, des impacts de l'IA sur le travail et l'emploi, de l'IA utilisé afin de développer une économie plus écologique, des débats éthiques liés à l'IA, puis de l'inclusivité et diversité de l'IA.

Concernant plus particulièrement le développement d'une économie plus écologique, l'auteur introduit quatre objectifs que la France devrait chercher à atteindre relativement à l'utilisation de l'IA à cette fin en France et en Europe. Le premier objectif proposé serait pour la France de prendre le *leadership* pour inscrire l'intelligence artificielle à l'agenda international, en se proposant d'étudier les impacts de l'IA et proposant la mise en place d'un événement de grande envergure pour mettre en avant des initiatives exemplaires et à fort impact. ¹⁴³

Le deuxième objectif de Villani serait de favoriser la convergence de la transition écologique et du développement de l'IA. ¹⁴⁴ Cet objectif serait atteint par la mise en place d'un lieu dédié à la rencontre de la transition écologique et de l'IA ¹⁴⁵, puis en instaurant par la suite une plateforme au service de la mesure de l'impact environnemental des solutions numériques intelligentes ¹⁴⁶. Cette rencontre des différents acteurs permettrait de chercher à optimiser l'utilisation de l'intelligence artificielle par rapport aux ressources énergétiques et matérielles nécessaires à son exploitation. Villani évoque dans son rapport quelques suggestions de domaines pour lesquels la recherche pourrait se développer, comme la recherche sur des modes de stockage alternatifs, sur ADN par exemple, ¹⁴⁷ ou encore sur le climat et la météo. En

¹⁴² VILLANI, Cédric. «Donner un sens à l'intelligence artificielle pour une stratégie nationale et européenne», 2018, [PDF], p.1.

¹⁴³ *Id.*, p.125.

¹⁴⁴ *Id.*, p.125.

¹⁴⁵ *Id.*, p.125.

¹⁴⁶ *Id.*, p.125.

¹⁴⁷ *Id.*, p.126.

ce qui concerne la plateforme au service de la mesure de l'impact environnemental des solutions numériques intelligentes, l'idée de Villani est d'informer les citoyens et les entreprises des enjeux environnementaux qu'entraîne le numérique.¹⁴⁸ Il propose la création d'un site web pour comparer et évaluer l'impact écologique du numérique. Villani mentionne dans son rapport que: «Ce site devra s'appuyer sur une base de données permettant d'évaluer l'impact environnemental de tous les aspects de la dématérialisation à l'œuvre via le numérique, tant pour les particuliers que pour les entreprises, afin de leur permettre d'évaluer leurs fournisseurs numériques.»¹⁴⁹ Villani mentionne également qu'une action pour encourager les entreprises à l'écoconception pourrait être mise en place.¹⁵⁰

Le troisième objectif est d'avoir une IA qui est moins consommatrice d'énergie.¹⁵¹ Pour ce faire, Villani recommande de pousser la recherche vers le développement de nouvelles cartes graphiques qui utilisent du silicium pour former les circuits électriques et les transistors, d'accompagner l'industrie du *cloud* dans sa transition écologique et de favoriser le recyclage de chaleur produite par les centres de données.

152

Finalement, le dernier objectif selon Cédric Villani serait de rendre accessibles gratuitement toutes les données écologiques¹⁵³, en constituant une base de données qui croisent entre elles diverses sources. Pour ce faire, il propose de rendre disponible les données publiques comme les données météorologiques, agricoles, de transports, d'énergie, de biodiversité, de climat, de déchets, de cadastres, de diagnostic de performance énergétique, etc.¹⁵⁴ Villani propose également de rendre disponibles les

¹⁴⁸ *Id.*, p. 127.

¹⁴⁹ *Id.*, p.127.

¹⁵⁰ *Id.*, p.127.

¹⁵¹ *Id.*, p.127.

¹⁵² *Id.*, p.127.

¹⁵³ *Id.*, p.130.

¹⁵⁴ *Id.*, p.131.

données privées grâce à une politique incitative destinée aux grandes entreprises françaises des secteurs liés à la transition écologique (fourniture d'eau, de collecte des déchets, etc).¹⁵⁵

De notre côté, le gouvernement du Canada a annoncé en 2017 l'attribution de 125 millions de dollars à la Stratégie pancanadienne en matière d'intelligence artificielle, un programme de cinq ans qui est coordonné par le CIFAR (l'Institut canadien de recherches avancées).¹⁵⁶ La stratégie canadienne permet, par ses quatre objectifs, de financer des centres d'excellence, qui sont l'Alberta Machine Intelligence Institute (AMII) à Edmonton, le Vector Institute à Toronto et l'Institut des algorithmes d'apprentissage de Montréal (MILA), mais ne mentionne pas directement la protection de l'environnement.¹⁵⁷ Il relève donc à ces centres d'excellence d'innover dans cette direction. Par exemple, le MILA a mis en place un projet de visualisation du changement climatique au travers de son programme d'IA pour l'humanité grâce à la mise en place d'un site web interactif montrant les résultats précis et personnels du changement climatique en utilisant des techniques de pointe issues de l'IA et de la modélisation climatique.¹⁵⁸

Comme au Canada, la stratégie des États-Unis sur l'IA (l'«American AI Initiative») mise en place en février 2019 vise le soutien de l'innovation pour le progrès de l'IA,¹⁵⁹ mais ne fait aucune mention directe à la protection de l'environnement. Hormis les

¹⁵⁵ *Id.*, p.131.

¹⁵⁶ STARK, Luke et Zenon W. PYLYSHYN. «Intelligence artificielle (IA) au Canada», *L'Encyclopédie Canadienne*, 10 mars 2020, en ligne : <<https://www.thecanadianencyclopedia.ca/fr/article/intelligence-artificielle>> (Consulté le 31 août 2020).

¹⁵⁷ *Id.*

¹⁵⁸ S.A. «Visualiser le changement climatique», *MILA*, s.d., en ligne : <<https://mila.quebec/ia-dans-la-societe/visualiser-le-changement-climatique/>> (Consulté le 25 janvier 2021).

¹⁵⁹ THE WHITE HOUSE. «Artificial Intelligence for the American People», *The White House*, s.d., en ligne : <<https://www.whitehouse.gov/ai/executive-order-ai/>> (Consulté le 31 août 2020).

exemples cités comme la Chine ou la France, les stratégies nationales des pays n'envisagent pratiquement pas l'utilisation de l'IA dans leurs énoncés. Les stratégies nationales apparaissent beaucoup plus axées sur les retombées économiques possibles que la protection environnementale. Il serait donc important pour ces États de faire face à la pauvreté de leur engagement concernant l'utilisation de l'IA dans le domaine environnemental et d'agir pour assurer un avenir plus vert. À ce sujet, nous discuterons dans la section 3.3 différentes pistes de solutions quant à l'utilisation et la régulation de l'IA dans le droit environnemental canadien et québécois.

3.2 Les enjeux entourant l'utilisation de l'IA en gouvernance environnementale

L'environnement est constitué d'un amalgame d'éléments aux relations complexes. En matière de lutte contre les changements climatiques, par exemple, la protection de l'environnement nécessite une prise de décisions efficace et essentiellement basée sur l'incertitude scientifique par divers acteurs tant aux niveaux des communautés que des entreprises, en passant par les gouvernements, les organisations intergouvernementales, et bien d'autres intervenants. Les actions qui sont nécessaires à la lutte aux changements climatiques nécessitent l'élaboration de normes au niveau local, national et international.¹⁶⁰ Dans ce monde complexe en changement continu, l'IA pourrait être utilisée afin de mieux comprendre comment les organisations et individus agissent et interagissent face à différentes contraintes et incitations, afin de modéliser un environnement complexe d'interactions sociales. Cette modélisation pourrait aider les décideurs publics et privés à guider leurs prises de décision.

¹⁶⁰ MAHARAJ, Tegan et Nikola MILOJEVIC-DUPONT. «Tackling Climate Change with Machine Learning», 5 novembre 2019, [PDF], p.52.

L'IA pourrait également permettre de traiter des données pour l'analyse normative, et aider à améliorer les normes existantes ou à en développer des nouvelles en évaluant les options et leurs effets sur l'environnement et la société.¹⁶¹ L'analyse normative utilise différents outils quantitatifs issus des statistiques, de l'économie et de la recherche opérationnelle comme l'analyse coûts-avantages, l'analyse d'incertitudes et la prise de décisions multicritères pour éclairer le processus d'élaboration des normes environnementales.¹⁶² L'IA peut aider à évaluer les résultats des normes passées afin d'éclairer les choix d'intervention de diverses institutions.¹⁶³ Des approches informatiques, telles que la simulation et les modèles d'équilibre partiel peuvent aussi être utilisées pour comparer différentes options, évaluer les effets des hypothèses sous-jacentes ou proposer des stratégies cohérentes avec les objectifs des décideurs.¹⁶⁴ En effet, l'IA, et plus particulièrement l'apprentissage automatique, est très efficace pour modéliser des systèmes socio-économiques vastes et complexes qui permettent d'évaluer les résultats de stratégies particulières.¹⁶⁵

La gouvernance environnementale serait également facilitée par la centralisation mondiale des données. Nous vivons dans un monde connecté où des quantités de données astronomiques sont créées chaque jour, mois ou année.¹⁶⁶ Cependant, la plupart des organisations qui utilisent l'IA le font soit à un niveau local, ou doivent travailler d'arrache-pied afin de collecter des données. La centralisation des acteurs et des données pourrait permettre une meilleure collecte des données, et un meilleur

¹⁶¹ *Id.*

¹⁶² *Id.*

¹⁶³ *Id.*

¹⁶⁴ *Id.*, p.53.

¹⁶⁵ *Id.*

¹⁶⁶ En 2018, le monde a créé 33 zettaoctets de données; ARMSTRONG, Martin. «All of the data created in 2018 is equal to...», *STATISTA DIGITAL ECONOMY COMPASS*, 16 avril 2019, en ligne : <<https://www.statista.com/chart/17723/the-data-created-last-year-is-equal-to/>> (Consulté le 10 septembre 2020).

accès pour l'analyse. Elle pourrait également permettre d'envisager l'analyse socio-économique, environnementale et politique à un niveau plus large que local.¹⁶⁷

3.3 L'utilisation et la régulation de l'IA dans le droit environnemental canadien et québécois

L'intelligence artificielle n'est pas mentionnée dans la régulation, mais plusieurs indices laissent croire qu'elle pourrait être utile ou même être rendue obligatoire pour l'application du droit de l'environnement, entre autres pour diminuer l'incertitude scientifique.

Une première application de l'IA en environnement est au niveau des modèles météorologiques et climatiques. Par exemple, l'utilisation de l'IA pourrait être obligatoire pour assurer une meilleure gestion des inondations, des épisodes de verglas ou de sécheresses, ou encore de toutes autres situations climatiques extrêmes. En matière de gestion des barrages, on pourrait y voir une application directe dans la Loi sur la sécurité des barrages. En effet, l'art 15 de cette loi édicte que :

«Le gouvernement détermine, par règlement, les normes de sécurité applicables aux barrages à forte contenance, notamment les normes de résistance aux crues et aux séismes.»¹⁶⁸

L'utilisation de l'IA dans les normes de sécurité pourrait ainsi permettre de déterminer les crues avec précision. Cette précision permettrait au gouvernement de garantir une plus grande sécurité des barrages.

Par ailleurs, l'article 20 de cette même loi stipule que :

¹⁶⁷ VILLANI, Cédric. *Op cit.* note 142, p.130

¹⁶⁸ Loi sur la sécurité des barrages, RLRQ, c. S-3.1.01, art 15.

«Tout barrage à forte contenance doit faire l'objet d'une surveillance et d'un entretien réguliers de nature à permettre de déceler et de corriger rapidement toute anomalie et de maintenir l'ouvrage en bon état. [...]»¹⁶⁹

L'IA est idéale pour justement déceler rapidement toute anomalie dans la structure des barrages qui pourrait mettre en danger la sécurité d'un barrage à forte contenance face à des situations météorologiques extrêmes.

Outre l'étude de sécurité, un gestionnaire de barrage doit également établir un plan de gestion des eaux retenues (art 30 du Règlement sur la sécurité des barrages¹⁷⁰). Des modèles météorologiques et climatiques rendus plus performants grâce à l'IA pourraient éventuellement être exigés pour limiter les risques d'inondation et les dommages environnementaux.

En matière de conservation des espèces, l'IA pourrait être utilisée afin d'effectuer des recherches, études ou analyses à l'égard d'espèces qui semblent nécessiter une protection.¹⁷¹ Cette utilisation particulière de l'IA envers les espèces qui doivent être protégées permettrait, par exemple, d'augmenter la précision des types d'études prévus à l'article 7 de la Loi sur les espèces menacées ou vulnérables du Québec. Son utilisation pourrait également être intégrée dans le suivi des «programmes favorisant la survie des espèces menacées ou vulnérables désignées ou susceptibles d'être ainsi désignées ainsi que la protection et l'aménagement d'habitats déjà existants, le rétablissement d'habitats détériorés ou la création de nouveaux habitats»¹⁷² L'IA pourrait adéquatement estimer les impacts de certaines décisions visant la protection d'espèces vulnérables et permettre une prise de décision plus éclairée quant aux mesures de protection désirables.

¹⁶⁹ *Id.*, art 20.

¹⁷⁰ Règlement sur la sécurité des barrages, RLRQ, S-3.1.01, r. 1, art. 30.

¹⁷¹ Loi sur les espèces menacées ou vulnérables, RLRQ, c. E-12.01, art 7 al.1.

¹⁷² *Id.*, al. 2.

L'utilisation de l'IA pourrait également permettre d'identifier rapidement les activités illicites qui pourraient affecter certaines espèces dans des milieux éloignés. Elle pourrait, par exemple, être utilisée pour surveiller la pêche et empêcher une surexploitation des ressources naturelles dans la zone économique exclusive du Canada, en vertu de l'article 13 de la Loi sur les océans.¹⁷³

L'IA pourrait également être intégrée au niveau de l'évaluation des impacts sur l'environnement. Au Québec, certains projets de développement sont assujettis par la *Loi sur la qualité de l'environnement* (LQE) à la procédure d'évaluation des impacts sur l'environnement pour être autorisés par le gouvernement. En effet, l'article 31.1 stipule que :

«Nul ne peut entreprendre une construction, un ouvrage, une activité ou une exploitation ou exécuter des travaux suivant un plan ou un programme, dans les cas prévus par règlement du gouvernement, sans suivre la procédure d'évaluation et d'examen des impacts sur l'environnement prévue dans la présente sous-section et obtenir une autorisation du gouvernement.»¹⁷⁴

La notion d'impact sur l'environnement se doit d'inclure non seulement le milieu biophysique, mais également des aspects humains et sociaux, économiques et culturels, la faune, la flore et l'équilibre des écosystèmes.¹⁷⁵ L'étude d'impact du promoteur doit également être conçue et préparée selon des méthodes qui doivent être présentées, explicitées et validées sur le plan scientifique.¹⁷⁶

¹⁷³ Loi sur les océans, L.C. 1996, c. 31, art 13.

¹⁷⁴ Loi sur la qualité de l'environnement, RLRQ, c. Q-2, art. 31.1.

¹⁷⁵ HALLEY, Paule. «Procédures d'évaluation des impacts environnementaux au Québec», *JurisClasseur Québec*, coll. «Droit public», *Droit de l'environnement*, fasc 10, Montréal, LexisNexisCanada, à jour au 14 décembre 2018, n° 3-10(LN/QL).

¹⁷⁶ *Id.*

Une des grandes forces de l'IA est sa capacité d'analyser rapidement un large jeu de données. Cette caractéristique pourrait être utilisée afin de faciliter cette évaluation des impacts environnementaux. En effet, l'IA pourrait permettre une analyse en profondeur des différents aspects de l'évaluation. Grâce à elle, il serait possible d'évaluer en détails les impacts environnementaux, sociaux, politiques et économiques d'un tel projet. Bien que la loi mentionne que l'étude d'impact n'est qu'un des éléments dans la prise de décision du gouvernement, puisqu'elle peut aussi être basée sur des considérations d'ordre économique, politique, social ou autre¹⁷⁷, l'utilisation de l'IA afin d'évaluer les impacts dans tous ces domaines permettrait au gouvernement de prendre une décision plus éclairée, moins arbitraire, et surtout plus transparente et basée sur des données quantifiables et calculables.

La LQE demande également, dans le cadre d'une autorisation du ministre de l'Environnement pour la réalisation de tout projet visé par l'art. 22, d'évaluer «les émissions de gaz à effet de serre attribuables [à ce] projet ainsi que les mesures de réductions que celui-ci peut nécessiter».¹⁷⁸ «Le ministre peut également prendre en considération les risques et les impacts anticipés des changements climatiques sur le projet et sur le milieu où il sera réalisé, les mesures d'adaptation que le projet peut nécessiter ainsi que les engagements du Québec en matière de réduction des émissions de gaz à effet de serre.»¹⁷⁹ L'IA est idéale pour effectuer ce genre d'analyse d'impact en fournissant, par exemple, des modèles climatiques performants. De plus, l'article 31.9 de cette loi stipule que :

«Le gouvernement peut adopter des règlements pour:

[...]

b.1) déterminer les paramètres d'une étude d'impact sur l'environnement afin d'évaluer les émissions de gaz à effet de serre attribuables à un projet ainsi

¹⁷⁷ *Id.*

¹⁷⁸ Loi sur la qualité de l'environnement, *Op cit.* note 174, art 24 al.1 par 5.

¹⁷⁹ *Id.*, art 24 al. 2.

que les risques et les impacts anticipés des changements climatiques sur le projet et sur le milieu où il sera réalisé»

La loi met déjà en place un moyen d'intégrer l'analyse par IA dans le cadre juridique même de l'étude d'impact. Un règlement pourrait en effet être mis en place, exigeant qu'une telle étude se fasse, du moins en partie, avec l'aide des nouvelles technologies, comme l'apprentissage automatique et l'apprentissage profond. L'utilisation de l'IA permettrait ainsi de s'assurer un niveau de précision lors de l'extrapolation de données qui est très difficilement reproductible par l'humain.

Le ministre de l'Environnement ou le gouvernement pourrait également exiger, dans les conditions (art. 25 et 31.5 LQE) associées à l'autorisation des projets visés par l'article 22 de la LQE d'utiliser les meilleures technologies disponibles, soit potentiellement l'IA, pour assurer la gestion de ces impacts environnementaux.

Au-delà de la promotion de la recherche et du développement, l'impact environnemental des nouvelles technologies doit également être encadré légalement. Nous avons précédemment abordé le concept d'obsolescence programmée et relative. L'utilisation de l'IA passe nécessairement par l'usage de matériel informatique, qui peut se retrouver à constituer une source de pollution numérique. Les autorités gouvernementales doivent donc favoriser le réemploi et la réparation des appareils électroniques, en mettant en place, par exemple, une incitation économique pour promouvoir la location et la réparation, à l'instar de la Suède.¹⁸⁰ Il serait également important d'assurer une veille des meilleurs outils législatifs en matière d'obsolescence et de s'en inspirer. Ce processus est déjà enclenché à petite échelle. En effet, en avril 2019, une proposition de projet de loi avait été déposée par des élèves de l'Université de Sherbrooke visant à interdire aux entreprises de limiter volontairement la durée de vie de leurs produits et ainsi contrer l'obsolescence

¹⁸⁰ GIRARD, Annick *et al.* *Op cit.*, note 135, p.30.

programmée.¹⁸¹ Cette mesure pourrait permettre, ultimement, l'augmentation de la durée de vie des appareils électroniques, permettant ainsi une meilleure optimisation des ressources rares utilisées.

Pour ce qui est de la récupération des déchets électroniques au Québec, le Règlement sur la récupération et la valorisation de produits par les entreprises, habilité par la LQE, impose aux entreprises de financer un programme de récupération de déchets électroniques. Ce programme a été lancé en 2012 et est financé par l'imposition d'écofrais dont le montant varie en fonction du produit. Ces écofrais doivent financer les activités de sensibilisation, de collecte et de récupération d'appareils électroniques. En 2017, Karel Ménard, le directeur du Front commun pour une gestion écologique des déchets, estimait toutefois que les écofrais n'avaient pas l'effet voulu.¹⁸² Selon M. Ménard, la politique d'écofrais n'a pas les effets escomptés, puisqu'en faisant payer le consommateur un montant prédéterminé, les entreprises ne sont pas incitées à concevoir des produits plus durables et n'assument pas elles-mêmes les coûts liés au recyclage, alors que ça devrait être leur responsabilité¹⁸³. Cette politique québécoise est comparable au Electronic Waste Recycling Act de 2003 (Act), mis en place par la Californie, qui est un système de financement pour la collecte et le recyclage de certains déchets électroniques. Cependant, ces deux politiques ont le même problème : elles financent la collecte, mais ne favorisent pas la réutilisation, la récupération et le recyclage des appareils technologiques.¹⁸⁴ Il faudrait donc augmenter les points de contacts pour favoriser une meilleure récupération des

¹⁸¹ BELLEROSE, Patrick. «Un projet de loi contre l'obsolescence programmée», *Journal de Québec*, 9 avril 2019, en ligne : <<https://www.journaldequebec.com/2019/04/09/un-projet-de-loi-contre-l-obsolescence-programmee>> (Consulté le 21 janvier 2021).

¹⁸² *Id.*

¹⁸³ THIBODEAU, Simon. «Recyclage des déchets électroniques: des dizaines de millions inutilisés», *La Presse*, 13 juillet 2017, en ligne : <<https://www.lapresse.ca/environnement/politique-verte/201707/13/01-5115731-recyclage-des-dechets-electroniques-des-dizaines-de-millions-inutilises.php>> (Consulté le 21 janvier 2021).

¹⁸⁴ *Id.*

appareils, ou améliorer le règlement québécois afin de favoriser la récupération et le recyclage d'appareils électroniques.

Une autre voie d'action serait de favoriser l'installation et l'exploitation de serveurs au Canada, en vue de réduire durant une partie de l'année l'empreinte écologique entraînée par les besoins de refroidissement des serveurs. En 2017, dans le but de créer un nouveau *Silicon Valley*, le gouvernement fédéral et différents gouvernements provinciaux ont assoupli les règles bureaucratiques touchant les politiques de R&D technologique en plus d'offrir des allègements fiscaux pour attirer à la fois des entreprises et des travailleurs de la Silicon Valley.¹⁸⁵ Au Québec, certaines propositions ont été faites à ce sujet au travers de différents plans (ex: plan Nord, plan Saint-Laurent), mais aucun projet de loi n'a été déposé à ce jour.¹⁸⁶ Considérant que plusieurs grandes entreprises américaines comme Google, Facebook, IBM et Amazon ont établi des bureaux satellites au Canada¹⁸⁷ et que 45 centres de données infonuagiques sont déjà installés au Québec¹⁸⁸, il serait important de mettre en place un plan d'action concret pour favoriser une telle initiative de réduction de l'empreinte écologique de l'IA.

¹⁸⁵ VANDAL, Gilles. «Le Canada, une nouvelle Silicon Valley?», *La Tribune*, 29 juin 2017, en ligne : <<https://www.latribune.ca/opinions/le-canada-une-nouvelle-silicon-valley-0f3ac8ef4f73de0dfb32b75968f001f6>> (Consulté le 21 janvier 2021).

¹⁸⁶ CORBEIL, Michel. «La CAQ veut deux fois plus de parcs technologiques d'inspiration Silicon Valley», *Le Soleil*, 6 juin 2013, en ligne : <<https://www.lesoleil.com/affaires/la-caq-veut-deux-fois-plus-de-parcs-technologiques-dinspiration-silicon-valley-5ae663228cf3792a380ccc6022e6cd63>> (Consulté le 21 janvier 2021).

¹⁸⁷ VANDAL, Gilles. *Op cit.*, note 185.

¹⁸⁸ LEMIEUX, Danny. «Le Québec, terre de choix de l'infonuagique», *Radio-Canada*, 21 janvier 2018, en ligne : <<https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1078343/info-nuage-cloud-centre-donnees-serveur-quebec-electricite-energie-hydro-internet-leader>> (Consulté le 21 janvier 2021).

Conclusion

L'IA a déjà plusieurs utilités en environnement et son potentiel est presque infini. Cette technologie permet de prévoir efficacement l'offre et la demande énergétique, en planifiant les meilleurs sites de déploiement ou en réduisant les pertes énergétiques dans les réseaux de distribution électriques. L'IA permet également de gérer, surveiller, quantifier et distribuer les ressources naturelles, en plus de permettre une meilleure gestion des déchets industriels et résidentiels. Pour ce qui est des changements climatiques, l'intelligence artificielle peut aider à prévoir les impacts climatiques, en créant différents modèles climatiques. L'IA pourrait même permettre de prévenir des événements extrêmes comme des catastrophes naturelles. Cependant, l'utilisation de l'IA en environnement semble encore expérimentale et se limite aux organisations privées et sans but lucratif. Les gouvernements n'ont pas encore mis en place de politiques ou plans d'action afin d'intégrer l'intelligence artificielle dans leurs prises de décisions, soutenant plutôt, pour l'instant, les entreprises privées dans leur recherche et développement de l'IA.

Avec une prise en charge par une organisation unique, gouvernementale ou non, il serait possible de centraliser les acteurs et les données liées à l'IA. Cette centralisation permettrait de faciliter la discussion, la recherche, le développement et l'utilisation de l'IA afin d'optimiser son utilisation et exponentiellement augmenter son efficacité. L'IA n'est pas une solution miracle, mais il n'en demeure pas moins que bien utilisée et encadrée juridiquement, l'IA pourrait permettre de prendre des décisions plus éclairées, nous permettant d'espérer un futur plus vert.

Bibliographie

Africa FLORES, «Early warning of harmful algal blooms», *Microsoft*, 28 juin 2019, [PDF]

Agustin Garcia PEREIRA, «Curbing the decline of wild and managed bees», *Microsoft*, 28 juin 2019, [PDF]

Alexander HOWARD, «How IBM Is Using Big Data To Battle Air Pollution In Cities», *Huffpost US*, 9 décembre 2015, en ligne : https://www.huffingtonpost.ca/entry/ibm-big-data-air-pollution_n_56684e44e4b080eddf565510?ri18n=true&guccounter=1 (Consulté le 31 août 2020)

ATREE, «Biodiversity atlas for northeast India», *Microsoft*, 28 juin 2019, [PDF]

Bernard MARR, «What Is Deep Learning AI? A Simple Guide With 8 Practical Examples», *Forbes*, 1er octobre 2018, en ligne : <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2018/10/01/what-is-deep-learning-ai-a-simple-guide-with-8-practical-examples/#4d22c12d8d4b> (Consulté le 31 août 2020)

BLOCKCHAINFRANCE, «Qu'est-ce que la blockchain ?», *Blockchain France*, s.d., en ligne : <https://blockchainfrance.net/decouvrir-la-blockchain/c-est-quoi-la-blockchain/> (Consulté le 31 août 2020)

Brad SMITH, «We're increasing our carbon fee as we double down on sustainability», *Microsoft*, 15 avril 2019, en ligne : <https://blogs.microsoft.com/on-the-issues/2019/04/15/were-increasing-our-carbon-fee-as-we-double-down-on-sustainability/> (Consulté le 31 août 2020)

Brian CAULFIELD, «What's the Difference Between a CPU and a GPU?», *Nvidia*, 16 décembre 2009, en ligne : <<https://blogs.nvidia.com/blog/2009/12/16/whats-the-difference-between-a-cpu-and-a-gpu/>> (Consulté le 31 août 2020)

Cédric VILLANI, «Donner un sens à l'intelligence artificielle pour une stratégie nationale et européenne», 2018, [PDF]

Chris NICHOLSON, «A Beginner's Guide to Multilayer Perceptrons (MLP)», *Pathmind*, s.d., en ligne : <<https://wiki.pathmind.com/multilayer-perceptron>> (Consulté le 31 août 2020)

Chris BLANK, «The Environmental Pros & Cons of Using Computer Technology», *Hearst Newspapers*, s.d., en ligne : <<https://smallbusiness.chron.com/environmental-pros-cons-using-computer-technology-41941.html>> (Consulté le 23 octobre 2020)

Christelle PERRET, «CPU, GPU, APU : qu'est-ce que c'est et quelles différences?», *PaperGeek*, 20 novembre 2018, en ligne : <<https://www.papergeek.fr/cpu-gpu-apu-qu-est-ce-que-c-est-et-quelles-differences-81278>> (Consulté le 31 août 2020)

Clayton LAMB, «Massively parallel computing for grizzly bear conservation», *Microsoft*, 28 juin 2019, [PDF]

CLOUDFLARE, «What Is the Cloud? | Cloud Definition», *Cloudflare*, s.d., en ligne : <<https://www.cloudflare.com/learning/cloud/what-is-the-cloud/>> (Consulté le 31 août 2020)

CONSERVATION METRICS, «Automated wildlife monitoring», *Microsoft*, 28 juin 2019, [PDF]

Danny LEMIEUX, «Le Québec, terre de choix de l'infonuagique», *Radio-Canada*, 21 janvier 2018, en ligne : <<https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/1078343/info-nuage-cloud-centre-donnees-serveur-quebec-electricite-energie-hydro-internet-leader>> (Consulté le 21 janvier 2021)

David DAO, «GainForest», *Microsoft*, 28 juin 2019, [PDF]

David FUMO, «Types of Machine Learning Algorithms You Should Know», *Medium*, 15 juin 2017, en ligne : <<https://towardsdatascience.com/types-of-machine-learning-algorithms-you-should-know-953a08248861>> (Consulté le 31 août 2020)

David ROLNICK, et al., «Tackling Climate Change with Machine Learning», 5 novembre 2019, [PDF]

Eric MCLAMB, «The Ecological Impact of the Industrial Revolution», *Ecology Prime Media, Inc.*, 2 avril 2018, en ligne : <<https://ens-newswire.com/2018/04/02/the-ecological-impact-of-the-industrial-revolution/>> (Consulté le 31 août 2020)

Gilles VANDAL, «Le Canada, une nouvelle Silicon Valley?», *La Tribune*, 29 juin 2017, en ligne : <<https://www.latribune.ca/opinions/le-canada-une-nouvelle-silicon-valley-0f3ac8ef4f73de0dfb32b75968f001f6>> (Consulté le 21 janvier 2021)

GOOGLE AI, «Meet the Google AI Impact Challenge grantees», *Google*, s.d., en ligne : <<https://ai.google/social-good/impact-challenge/>> (Consulté le 31 août 2020)

Graham WEBSTER, et al., «A Next Generation Artificial Intelligence Development Plan», *China Copyright and Media*, 1er août 2017, en ligne : <<https://chinacopyrightandmedia.wordpress.com/2017/07/20/a-next-generation-artificial-intelligence-development-plan/>> (Consulté le 31 août 2020)

Heather LYNCH, «Tracking Antarctic penguin populations», *Microsoft*, 28 juin 2019, [PDF]

IBM, «Green Horizon», *IBM*, s.d., en ligne : <<http://research.ibm.com/labs/china/greenhorizon.html>> (Consulté le 31 août 2020)

IBM, «Green Horizons», *IBM*, s.d., en ligne : <<http://www.research.ibm.com/green-horizons/#fbid=g1UcJof4EKi>> (Consulté le 31 août 2020)

IIIT DELHI, «Intelligent tool for monitoring monkey populations», *Microsoft*, 28 juin 2019, [PDF]

INATURALIST, «A community for naturalists to help protect biodiversity», *Microsoft*, 28 juin 2019, [PDF]

INDIA INSTITUTE OF SCIENCE, «EqWater project», *Microsoft*, 28 juin 2019, [PDF]

INVESTIR AU CANADA, «STRATÉGIE PANCANADIENNE EN MATIÈRE D'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE», *Gouvernement du Canada*, s.d., en ligne : <<https://www.investircanada.ca/programmes-et-incitatifs/strategie-pancanadienne-en-matiere-dintelligence-artificielle>> (Consulté le 31 août 2020)

James FURBUSH, «Machine learning: A quick and simple definition», *O'Reilly*, 3 mai 2018, en ligne : <<https://www.oreilly.com/content/machine-learning-a-quick-and-simple-definition/>> (Consulté le 31 août 2020)

Julien HERRY, «The Artificial Intelligence explained to my grandmother», *MBA MCI*, 8 avril 2018, en ligne :

<<https://mbamci.com/the-artificial-intelligence-explained-to-my-grandmother/>>

(Consulté le 31 août 2020)

Laure CAILLOCE, «Numérique : le grand gâchis énergétique», CNRS, 16 mai 2018, en ligne : <<https://lejournale.cnrs.fr/articles/numerique-le-grand-gachis-energetique>>

(Consulté le 22 octobre 2020)

LINC, «Capturing and sharing data on lion populations»*Microsoft*, 28 juin 2019, [PDF]

Loi sur les espèces menacées ou vulnérables, RLRQ, c. E-12.01

Loi sur la sécurité des barrages, RLRQ, c. S-3.1.01

Loi sur la qualité de l'environnement, RLRQ, c. Q-2

LONG LIVE THE KINGS, «Salish Sea Marine Survival Project», *Microsoft*, 28 juin, 2019, [PDF]

Luke STARK, et Zenon W. PYLYSHYN, «Intelligence artificielle (IA) au Canada», *L'Encyclopédie Canadienne*, 10 mars 2020, en ligne : <<https://www.thecanadianencyclopedia.ca/fr/article/intelligence-artificielle>>

(Consulté le 31 août 2020)

M. Tim JONES, «A beginner's guide to artificial intelligence, machine learning, and cognitive computing», *IBM*, 1er juin 2017, en ligne : <https://developer.ibm.com/articles/cc-beginner-guide-machine-learning-ai-cognitive/?lnk=hpmdev_dw&lnk2=learn> (Consulté le 31 août 2020)

Margaret ROUSE, «machine learning», *TechTarget*, juin 2020, en ligne : <<https://searchenterpriseai.techtarget.com/definition/machine-learning-ML>>

(Consulté le 31 août 2020)

MATHWORKS, «What Is a Neural Network? 3 things you need to know», *The MathWorks, Inc.*, s.d., en ligne : <https://www.mathworks.com/discovery/neural-network.html> (Consulté le 31 août 2020)

MATHWORKS, «What Is Deep Learning? 3 things you need to know», *The MathWorks, Inc.*, s.d., en ligne : <https://www.mathworks.com/discovery/deep-learning.html> (Consulté le 31 août 2020)

Matt BURGESS, «What is the Internet of Things?», *Wired*, 16 février 2018, en ligne : <https://www.wired.co.uk/article/internet-of-things-what-is-explained-iot> (Consulté le 31 août 2020)

Michael J. GARBADE, «Clearing the Confusion: AI vs Machine Learning vs Deep Learning Differences», *Medium*, 14 septembre 2018, en ligne : <https://towardsdatascience.com/clearing-the-confusion-ai-vs-machine-learning-vs-deep-learning-differences-fce69b21d5eb> (Consulté le 31 août 2020)

Michael SOUFFRONT, «Global streamflow prediction», *Microsoft*, 28 juin 2019, [PDF]

Michel CORBEIL, «La CAQ veut deux fois plus de parcs technologiques d'inspiration Silicon Valley», *Le Soleil*, 6 juin 2013, en ligne : <https://www.lesoleil.com/affaires/la-caq-veut-deux-fois-plus-de-parcs-technologiques-dinspiration-silicon-valley-5ae663228cf3792a380ccc6022e6cd63> (Consulté le 21 janvier 2021)

MICROSOFT, «Microsoft AI for Earth grantee gallery», *Microsoft*, s.d., en ligne : <https://microsoft.github.io/AIforEarth-Grantees/> (Consulté le 31 août 2020)

Morgan HAILLUS, «Comment Internet est devenu le 3ème consommateur d'électricité mondial», Katchak, 2 octobre 2019, en ligne : <<https://katchak-agency.fr/comment-internet-est-devenu-le-3eme-consommateur-deletricite-mondial/>> (Consulté le 23 octobre 2020)

Nagesh Singh CHAUHAN, «Decision Tree Algorithm, Explained», *KDnuggets*, janvier 2020, en ligne : <<https://www.kdnuggets.com/2020/01/decision-tree-algorithm-explained.html>> (Consulté le 31 août 2020)

OCEANMIND, «Curbing illegal fishing with satellite data and AI», *Microsoft*, 1er juillet 2019, [PDF]

OFFICE QUÉBÉCOIS DE LA LANGUE FRANÇAISE. «algorithme», 2018, en ligne : <http://gdt.oqlf.gouv.qc.ca/ficheOqlf.aspx?Id_Fiche=8367804> (Consulté le 25 janvier 2021).

OFFICE QUÉBÉCOIS DE LA LANGUE FRANÇAISE. «réseau de neurones profond», 2018, en ligne : <http://gdt.oqlf.gouv.qc.ca/ficheOqlf.aspx?Id_Fiche=26544067> (Consulté le 25 janvier 2021).

OMNISCI, «How CPU and GPU Work Together», *OmniSci*, s.d., en ligne : <<https://www.omnisci.com/technical-glossary/cpu-vs-gpu>> (Consulté le 31 août 2020)

Patrick BELLEROSE, «Un projet de loi contre l'obsolescence programmée», *Journal de Québec*, 9 avril 2019, en ligne : <<https://www.journaldequebec.com/2019/04/09/un-projet-de-loi-contre-l-obsolescence-programmee>> (Consulté le 21 janvier 2021)

Paul SAWERS, «Microsoft commits \$50 million more to its AI for Earth program», *VentureBeat*, 11 décembre 2017, en ligne : <<https://venturebeat.com/2017/12/11/microsoft-commits-50-million-more-to-its-ai-for-earth-program-to-save-the-planet/>> (Consulté le 21 janvier 2021)

Paule HALLEY, «Procédures d'évaluation des impacts environnementaux au Québec», *JurisClasseur Québec*, coll. «Droit public», Droit de l'environnement, fasc 10, Montréal, LexisNexisCanada, à jour au 14 décembre 2018, n° 3-10(LN/QL)

PEOPLE'S DAILY ONLINE, «AI-powered waste management underway in China», *People's Daily Online*, 26 février 2019, en ligne : <<http://en.people.cn/n3/2019/0226/c98649-9549956.html>> (Consulté le 31 août 2020)

Pierre MASSE, «Un nouveau projet d'économie d'énergie à la Faculté des sciences», Université de Sherbrooke, 19 décembre 2005, en ligne : <<https://www.usherbrooke.ca/actualites/nouvelles/facultes/sciences/sciences-details/article/10529/>> (Consulté le 23 octobre 2020)

Prateek BAJAJ, «Reinforcement learning», *GeeksforGeeks*, 17 mai 2020, en ligne : <<https://www.geeksforgeeks.org/what-is-reinforcement-learning/>> (Consulté le 31 août 2020)

RAINFOREST CONNECTION, «OUR WORK», *Rainforest Connection*, s.d., en ligne : <https://www.rfcx.org/our_work> (Consulté le 31 août 2020)

Richard EVANS et Jim GAO, «DeepMind AI Reduces Google Data Centre Cooling Bill by 40%», *DeepMind*, 20 juillet 2016, en ligne : <<https://deepmind.com/blog/article/deepmind-ai-reduces-google-data-centre-cooling-bill-40>> (Consulté le 31 août 2020)

S.A., «Big data», *Futura*, s.d., en ligne :
 <<https://www.futura-sciences.com/tech/definitions/informatique-big-data-15028/>>
 (Consulté le 31 août 2020)

S.A., «big data», *Lexico*, s.d., en ligne :
 <https://www.lexico.com/definition/big_data> (Consulté le 31 août 2020)

S.A., «Cloud computing», *Futura*, s.d., en ligne :
 <<https://www.futura-sciences.com/tech/definitions/informatique-cloud-computing-11573/>> (Consulté le 31 août 2020)

S.A., «CPU (Central Processins Unit) : définition, traduction et acteurs», *Journal du Net*, 10 janvier 2019, en ligne :
 <<https://www.journaldunet.fr/web-tech/dictionnaire-du-webmastering/1203307-cpu-central-processins-unit-definition-traduction-et-acteurs/>> (Consulté le 31 août 2020)

S.A., «Strong Artificial Intelligence (Strong AI)», *Technopedia*, 13 mai 2020, en ligne :
 <<https://www.techopedia.com/definition/31622/strong-artificial-intelligence-strong-ai>>
 > (Consulté le 31 août 2020)

S.A., «Tutoriel : Introduction aux algorigrammes», *Site du Zéro*, s.d., en ligne :
 <<http://sdz.tdct.org/sdz/introduction-aux-algorigrammes.html>> (Consulté le 31 août 2020)

S.A., «What is a rule-based system? What is it not?», *ThinkAutomation*, s.d., en ligne :
 <<https://www.thinkautomation.com/eli5/what-is-a-rule-based-system-what-is-it-not/>>
 (Consulté le 31 août 2020)

S.A., «Visualiser le changement climatique», *MILA*, s.d., en ligne :
<<https://mila.quebec/ia-dans-la-societe/visualiser-le-changement-climatique/>>

(Consulté le 25 janvier 2021)

Sagar SHUKLA, «Regression and Classification | Supervised Machine Learning», *GeeksforGeeks*, 21 août 2020, en ligne :
<<https://www.geeksforgeeks.org/regression-classification-supervised-machine-learning/>>

(Consulté le 31 août 2020)

Saurav KAUSHIK, «An Introduction to Clustering and different methods of clustering», *Analytics Vidhya*, 3 novembre 2016, en ligne :
<<https://www.analyticsvidhya.com/blog/2016/11/an-introduction-to-clustering-and-different-methods-of-clustering/>>

(Consulté le 31 août 2020)

Scharon HARDING, «What Is a CPU Core? A Basic Definition», *Future US inc.*, 23 août 2018, en ligne :
<<https://www.tomshardware.com/news/cpu-core-definition,37658.html>>

(Consulté le 31 août 2020)

SEROKELL, «Artificial Intelligence vs. Machine Learning vs. Deep Learning: What's the Difference», *Medium*, 10 avril 2020, en ligne :
<<https://medium.com/ai-in-plain-english/artificial-intelligence-vs-machine-learning-vs-deep-learning-whats-the-difference-dc8e18efe7f>>

(Consulté le 31 août 2020)

SILVIATERRA, «National forest inventory and carbon offset pilot», *Microsoft*, 28 juin 2019, [PDF]

Simon THIBODEAU, «Recyclage des déchets électroniques: des dizaines de millions inutilisés», *La Presse*, 13 juillet 2017, en ligne :
<<https://www.lapresse.ca/environnement/politique-verte/201707/13/01-5115731-recy>>

[clage-des-dechets-electroniques-des-dizaines-de-millions-inutilises.php](#)> (Consulté le 21 janvier 2021)

Steve RANGER, «What is the IoT? Everything you need to know about the Internet of Things right now», *ZDNet*, 3 février 2020, en ligne : <<https://www.zdnet.com/article/five-industries-that-will-be-affected-by-the-combination-of-5g-and-iot/>> (Consulté le 31 août 2020)

Sylvain ROLLAND, «Comment le numérique pollue dans l'indifférence générale», *LaTribune*, 18 décembre 2018, en ligne : <<https://www.latribune.fr/technos-medias/internet/comment-le-numerique-pollue-dans-l-indifference-generale-801385.html>> (Consulté le 22 octobre 2020)

SYMBIOSIS INSTITUTE OF TECHNOLOGY, «Smart meter data analytics», *Microsoft*, 1er juillet 2019, [PDF]

THE WHITE HOUSE, «Artificial Intelligence for the American People», *The White House*, s.d., en ligne : < <https://www.whitehouse.gov/ai/executive-order-ai/>> (Consulté le 31 août 2020)

THE WHITE HOUSE OFFICE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY POLICY. «AMERICAN ARTIFICIAL INTELLIGENCE INITIATIVE: YEAR ONE ANNUAL REPORT», *Executive office of the president of the United States*, février 2020, [PDF]

UNIVERSITY OF MASSACHUSETTS BOSTON, «Long-range flood prediction», *Microsoft*, 28 juin 2019, [PDF]

UN-REDD PROGRAMME, «About UN-REDD PROGRAMME», *UN-REDD*, 17 janvier 2020, en ligne : <<https://www.unredd.net/about/un-redd-programme.html>> (Consulté le 30 août 2020)

Vangie BEAL, «rule-based system», *Webopedia*, s.d., en ligne :
<https://www.webopedia.com/TERM/R/rule_based_system.html> (Consulté le 31 août 2020)

WIKINET, «Improving contaminated site cleanup with AI», *Microsoft*, s.d., [PDF]

WORLD ECONOMIC FORUM, «Harnessing Artificial Intelligence for the Earth»,
World Economic Forum, janvier 2018, [PDF]

Yash SONI, «Machine Learning for dummies — explained in 3 mins!», *Medium*, 24 juillet 2017, en ligne :
<<https://becominghuman.ai/machine-learning-for-dummies-explained-in-2-mins-e83fbc55ac6d>> (Consulté le 31 août 2020) i