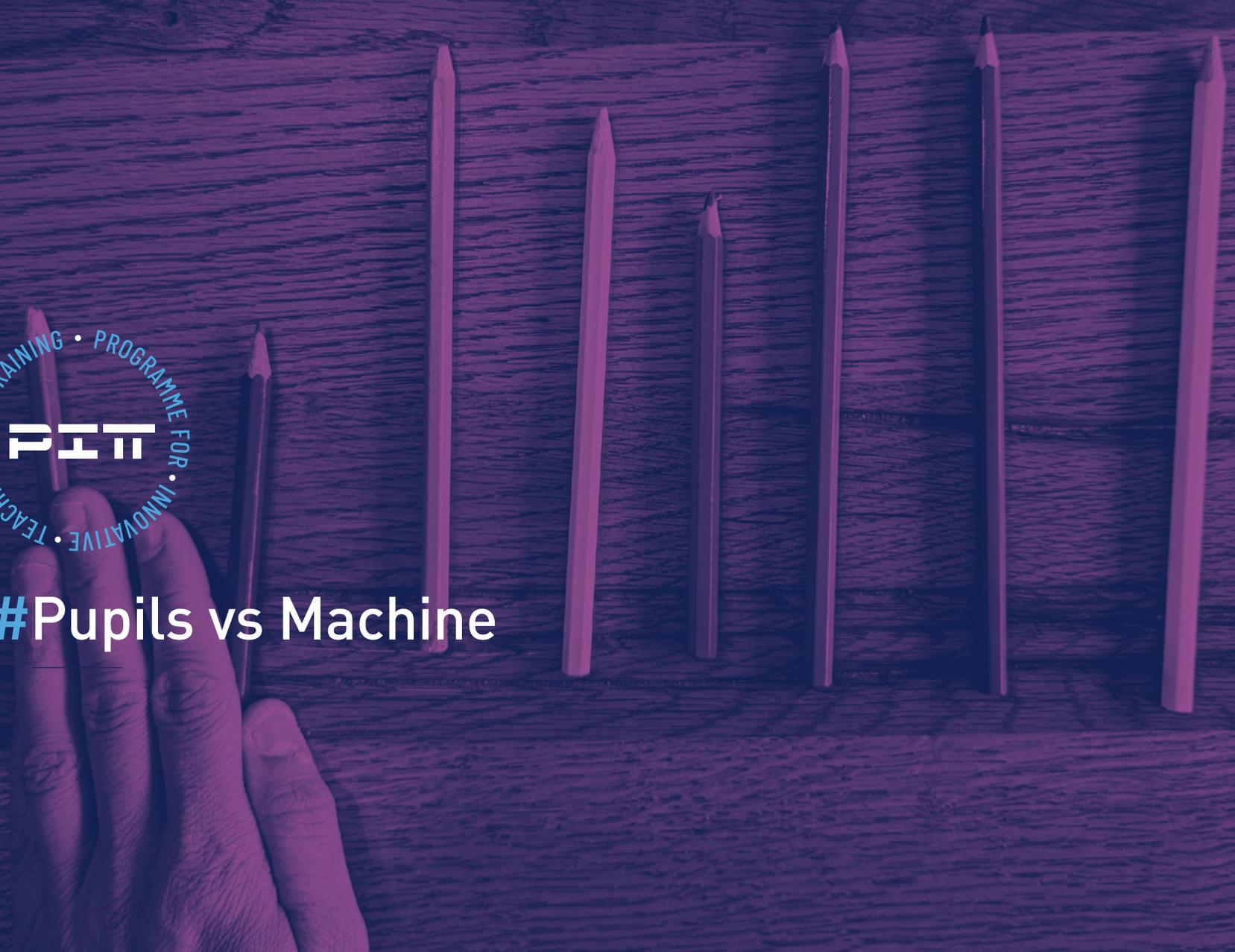




5#Pupils vs Machine



5.1 Indication didactique

Isabell Baumann, Dominic Harion & Ann Kiefer

Les ordinateurs sont-ils doués d'intelligence ? Certain-e-s d'entre nous auraient sans doute intuitivement tendance à répondre par l'affirmative, surtout si l'on remplace le mot « ordinateur » par « intelligence artificielle » (IA).¹ Commençons toutefois par retourner quelques siècles en arrière, et prenons un boulier. Un boulier est-il doué d'intelligence ? Si je déplace d'abord deux boules, puis trois autres, et que j'en déduis le résultat de 5, qui a fait le calcul, finalement ? Le boulier ou moi ? Et si j'entre l'opération « 2 + 3 » dans une calculatrice, et qu'elle affiche 5 comme résultat, qui a effectué l'addition ? La calculatrice ne connaît pas les mathématiques : comme le boulier, il s'agit d'un simple outil, même si son fonctionnement est effectivement plus complexe. Une plus grande complexité n'est toutefois pas synonyme d'intelligence.²

Alors, pourquoi avons-nous tant de difficulté à entrevoir avec des technologies plus complexes ce que nous percevons sans aucun mal avec le boulier ? Ce phénomène est tout à fait manifeste avec l'intelligence artificielle. Alors que des systèmes d'IA autonomes ont désormais intégré presque tous les domaines de la vie, il règne une méconnaissance générale sur le fonctionnement de ces systèmes. Ainsi contraintes d'accorder une confiance aveugle aux géants de la tech, de nombreuses personnes se retrouvent en proie à un sentiment d'incertitude et de malaise. Les récits de science-fiction débordants d'imagination alimentent encore davantage la peur d'une prise de pouvoir par les machines.

Une compréhension critique telle que modélisée par Alexandre et al. (2021) peut ici atténuer les angoisses irrationnelles. Par ailleurs, une connaissance et une compréhension de base de l'IA comptent parmi les compétences indispensables dont la jeunesse au 21^e siècle devrait être armée (Touretzky et al., 2019). Dans un monde de plus en plus complexe, l'utilisation éthique de l'IA recèle un incroyable potentiel pour servir les individus et la société et appuyer de nombreux secteurs tels que les sciences, l'éducation et l'industrie. Cependant, tant que l'on ne comprend pas « comment ça marche » et que l'on ne peut donc envisager d'utiliser l'IA que comme une boîte noire, il est impossible d'être innovant (Alexandre et al., 2021).

Le module *#Pupils vs Machine* se concentre sur le champ de compétence de la transmission des connaissances³. Il s'agit notamment d'expliquer clairement le fonctionnement d'une IA. Les élèves découvrent comment une IA apprend un jeu et développe une stratégie gagnante. Nous recourons ici à l'exemple du célèbre jeu de Nim. Les élèves y jouent en groupes. Dans chaque groupe, un-e élève joue le rôle de la machine contre les autres membres du groupe. L'élève qui simule la machine suit un algorithme strict pour aboutir de cette façon à une stratégie gagnante.

Cette activité est réalisée de manière analogique, sans ordinateur, selon le principe de la « CS unplugged » (« Computer Science unplugged », l'informatique sans ordinateur) : les élèves s'attellent sans ordinateur à des activités qui les amènent à se familiariser de façon motivante avec un large éventail de sujets informatiques (Nishida et al., 2009).

Bien que la recherche ne se soit généralement pas encore emparée des avantages que présentent les activités « débranchées » (Huang & Looi, 2021), celles-ci s'avèrent particulièrement précieuses sur le plan didactique dans le cadre de cet axe thématique consacré à l'intelligence artificielle.

Il existe une série de matériels didactiques, notamment pour les sujets traditionnels relatifs à l'IA. L'environnement Snap! et Google mettent à disposition une collection d'expériences d'IA pour les apprenant-e-s.⁴ En outre, *Machine Learning for Kids* propose des démos en ligne dans lesquelles les élèves peuvent pratiquer des modèles de classification et les utiliser dans Scratch.⁵ De nombreux projets adoptent toutefois principalement une approche axée sur l'application. Les concepts sur lesquels se fonde l'intelligence artificielle sont cependant difficiles à appréhender dans des cas d'application pure, de sorte que les systèmes d'IA demeurent une boîte noire pour les apprenant-e-s. Ainsi, les activités sans ordinateur visent à rendre accessibles les concepts fondamentaux de l'intelligence artificielle. Dans un même temps, une représentation mathématique fortement formalisée compliquerait considérablement la familiarisation des apprenant-e-s avec ces concepts (Lindner et al., 2019).

Par conséquent, le module *#Pupils vs Machine* se concentre dans une moindre mesure sur les domaines d'application de l'IA et porte davantage sur sa compréhension et sa démystification. À la fin du module, les élèves constateront que la machine, loin d'être intelligente, est simplement bien programmée. Ou, pour laisser la parole à Thierry Viéville « Si on se met à croire que les ordinateurs sont intelligents, on va se laisser dominer par eux. Mais, si on réalise, qu'aussi complexes soient ces machines, ça n'est que finalement un océan de calculs, on a le bon état d'esprit »⁶.

¹« Les systèmes d'intelligence artificielle (IA) sont des systèmes logiciels (et éventuellement matériels) conçus par des êtres humains et qui, ayant reçu un objectif complexe, agissent dans le monde réel ou numérique en percevant leur environnement par l'acquisition de données, en interprétant les données structurées ou non structurées collectées, en appliquant un raisonnement aux connaissances, ou en traitant les informations, dérivées de ces données et en décidant de la (des) meilleure(s) action(s) à prendre pour atteindre l'objectif donné. Les systèmes d'IA peuvent (...) également adapter leur comportement en analysant la mesure dans laquelle l'environnement est affecté par leurs actions préalables. » <https://www.justice-ia.com/files/sites/181/2019/10/EthicsguidelinesfortrustworthyAI-FRpdf.pdf>

²Cette analogie provient de la présentation de Thierry Viéville intitulée « L'intelligence artificielle est-elle si intelligente ? », voir <https://www.youtube.com/watch?v=RH023-y0rJk&t=4s>.

³Tel qu'indiqué dans les compétences de l'axe 6 de la matière « Digital Sciences ».

⁴<https://experiments.withgoogle.com/>

⁵<https://machinelearningforkids.co.uk/>

⁶« L'intelligence artificielle est-elle si intelligente ? », de Thierry Viéville, <https://www.youtube.com/watch?v=RH023-y0rJk&t=4s>.

5.2 Planification de l'unité

01 | Sujet de l'unité dans la structure globale des axes

Module	Axe Thématique	Focus	Idées interdisciplinaires et lien avec d'autres matières
#Involution	Axe 1 Mon monde numérique et moi !	<ul style="list-style-type: none"> Jeux et algorithmes Algorithme du plus court chemin 	<ul style="list-style-type: none"> Mathématiques Géographie
#Climate Killer Internet	Axe 2 Comprendre l'internet : World Wide Web et moi.	<ul style="list-style-type: none"> Internet et le climat Compétences de jugement 	<ul style="list-style-type: none"> VIESO Géographie Allemand Français
#Data Viz Superpowers	Axe 3 Do you speak Informatique ?	<ul style="list-style-type: none"> Différentes formes de la data visualisation Manipulation de graphiques 	<ul style="list-style-type: none"> Éducation artistique Mathématiques
#Discover Life on Mars with a Rover	Axe 5 Le robot, partenaire pour le meilleur et le pire ?	<ul style="list-style-type: none"> Programmation en Scratch Educational Robotics 	<ul style="list-style-type: none"> VIESO
#Pupils vs Machine	Axe 6 Une machine aussi intelligente que moi, ça existe ?	<ul style="list-style-type: none"> Fonctionnement de base d'une intelligence artificielle 	<ul style="list-style-type: none"> Mathématiques VIESO

Comme les modules sont indépendants les uns des autres, il n'est pas nécessaire d'avoir pris connaissance des modules précédents pour traiter celui-ci.

Ce module s'inspire de la fiche pédagogique « [Le jeu de Nim pour comprendre l'apprentissage par renforcement](#) » de la Scientothèque de Bruxelles et de l'activité « [Quand une machine apprend à jouer au jeu de Nim](#) », élaborée par Marie Duflot-Kremer (Université de Lorraine).

La version actualisée du [Guide de référence pour l'éducation aux et par les médias](#) fait également référence à ce jeu comme ressource pour la conception de leçons.

02 | Modalités de l'unité

- Public visé : 7e-5e
- Local : une salle de classe normale
- Matériel nécessaire : par groupe
 - 8 gobelets numérotés (de 1 à 8)

Références :

- Alexandre, Frédéric, Becker, Jade, Comte, Marie-Hélène, Lagarrigue, Aurélie, Liblau, Romain, Romero, Margarida & Viéville, Thierry. (2021). Why, What and How to help each Citizen to Understand Artificial Intelligence? KI – Künstliche Intelligenz, 2, 1610–1987.
- Huang, Wendy & Looi, Chee-Kit. (2021). A critical review of literature on „unplugged” pedagogies in K-12 computer science and computational thinking education. Computer Science Education, 31:1, 83–111, <https://doi.org/10.1080/08993408.2020.1789411>
- Lindner, Annabel, Seegerer, Stefan & Romeike, Ralf. (2019). Unplugged Activities in the Context of AI. In: Pozdniakov, S., Dagienė, V. (eds.) Informatics in Schools. New Ideas in School Informatics. ISSEP 2019. Lecture Notes in Computer Science, vol. 11913. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-33759-9_10
- Tomohiro, Nishida, Susumu, Kanemune, Yukio, Idosaka, Mitaro, Namiki, Tim, Bell & Yasushi, Kuno. (2009). A CS unplugged design pattern. SIGCSE Bull. 41, 1, 231–235.
- Touretzky, David, Gardner-McCune, Christina, Martin, Fred & Seehorn, Deborah. (2019). Envisioning AI for K-12: what should every child know about AI? Proc AAAI Conf Artif Intell, 33(01), 9795–9799.

- 8 stylos (ou bics, ou crayons)
 - 8 jetons ou boules portant le numéro 1
 - 7 jetons ou boules portant le numéro 2
 - 6 jetons ou boules portant le numéro 3
4. Durée : une heure d'enseignement

03 | Contextualisation des Savoirs

Des véhicules autonomes aux robots, en passant par les plateformes de streaming qui nous recommandent de nouveaux films, des séries ou de la musique : l'intelligence artificielle nous accompagne désormais dans de nombreux domaines du quotidien (du Sautoy, 2019). En dépit de cette omniprésence, l'intelligence artificielle nous fait souvent peur : nous avons tendance à personnifier les machines et les robots et à nous sentir moins intelligent·e·s que les ordinateurs (Alexandre et al., 2021). Un sondage mené par le Luxembourg Institute of Socio-Economic Research (LISER) de l'Université du Luxembourg a mis en lumière que, certes, une grande partie de la population du Grand-Duché pense que l'intelligence artificielle nous simplifie des tâches du quotidien (70 %) et qu'elle est appelée à supprimer des tâches répétitives dans le monde professionnel (64 %). Toutefois, 64 % des participants trouvent aussi que l'on ne peut pas se fier à l'intelligence artificielle. Plus de la moitié des personnes interrogées estiment que l'utilisation de l'IA manque de transparence et ne sauraient dire avec précision où et quand l'IA est employée (Poussing, 2021).

Toutes ces craintes ne sont pas totalement infondées. Dans son ouvrage intitulé « Weapons of Math Destruction », la mathématicienne Cathy O'Neil décrit plusieurs exemples de conséquences négatives engendrées par des algorithmes d'IA (O'Neil, 2016). De même, l'article « Why it is best not to let the computer decide » (voir les ressources PITT) décrit les dangers potentiels que revêtent certains algorithmes, tels que ceux qui évaluent automatiquement les devoirs des élèves faits à la maison sans que l'on comprenne réellement la façon d'attribuer les notes.

Cependant, comme l'expliquent Alexandre et al. (2021), une approche éclairée nourrie d'une compréhension critique est indispensable pour distinguer les vrais dangers des peurs irrationnelles. Jean-Gabriel Ganascia le formule ainsi : « Le monde est en train de changer et on ne peut pas se reposer sur des certitudes anciennes. Mais il ne faut pas avoir peur. Il y a des aspects très positifs, mais aussi des risques indéniables. Les technologies nous donneront le meilleur si nous savons anticiper les risques ».¹

C'est pourquoi il importe d'éduquer les élèves très tôt sur ce sujet. Ce module n'a pas pour ambition de se substituer à un cours sur l'intelligence artificielle et il n'enseigne pas non plus les fonctionnements techniques ou mathématiques inhérents à une intelligence artificielle. Il permet plutôt une première sensibilisation des élèves à son mode de fonctionnement. Cette activité vise à montrer aux élèves qu'une IA, quoique capable de trouver une stratégie gagnante pour un jeu, n'est pas pour autant supérieure à l'être humain.

¹ Faut-il redouter l'intelligence artificielle ?

<https://uclouvain.be/fr/decouvrir/louvains/faut-il-redouter-l-intelligence-artificielle.html>

04 | Transposition didactique

a. Objectifs d'apprentissage et compétences visées

Les élèves comprennent la manière dont un système d'IA traite les informations et élabore ainsi une stratégie gagnante, et il·elle·s mènent une réflexion à ce sujet.

Les élèves définissent la notion d'intelligence et comprennent la distinction entre intelligence humaine et intelligence artificielle.

Compétences visées du Guide de référence pour l'éducation aux et par les médias¹

- Compétences 1 – Informations et données : 1.2 Analyser et évaluer des données, des informations et des contenus numériques
- Compétences 2 – Communication et collaboration : 2.1 Interagir avec autrui

¹<https://www.edumedia.lu/medienkompass/medienkompass/>

b. Justification didactique

Comme nous l'avons évoqué dans la contextualisation des savoirs, la question de l'intelligence artificielle est omniprésente. Il est donc d'autant plus important d'informer sur ce sujet et de transmettre des connaissances de base sur les concepts élémentaires et le fonctionnement d'une IA.

c. Réduction didactique

Il ne s'agit pas, dans ce module, de comprendre le fonctionnement technique ou mathématique de l'intelligence artificielle, mais plutôt de faire prendre conscience aux élèves de la façon dont un système d'IA « tire des conclusions » et « prend des décisions ». L'objectif est de dissiper cette tendance à la personnification de l'IA et de montrer aux élèves que ces systèmes suivent un algorithme sans tirer une quelconque conclusion de façon autonome. Ce n'est qu'ainsi que les apprenant·e·s seront à même de voir dans l'IA autre chose qu'une boîte noire au fonctionnement opaque et incompréhensible.

Le module met précisément en lumière ce fonctionnement, puisque les élèves jouent eux-mêmes le rôle de l'IA et ne font que suivre l'algorithme. Afin de souligner cet aspect spécifique, le module a également été conçu dans un format analogique, c'est-à-dire comme une activité de « Computer Science unplugged » ou « Informatique débranchée », évitant ainsi que les élèves soient distrait·e·s par des écrans, codes et autres, ce qui leur permet de se concentrer sur le fonctionnement.

Le module se termine sur une discussion concernant la différence entre intelligence humaine et intelligence artificielle. Cette dernière notion est quelque peu mal choisie, car bon nombre de personnes s'imaginent immédiatement un robot intelligent, surpuissant, tel qu'on en voit dans les films de science-fiction. Par conséquent, il importe qu'à la fin de l'unité, les élèves sachent définir l'intelligence artificielle et expliquer en quoi elle se distingue (encore ?) de l'intelligence humaine.

05 | Déroulement de l'unité

Présentation des règles du jeu

Pour commencer, l'enseignant-e présente le jeu de Nim. Ensuite, il en explique les règles, disponibles sous 5.3 M1.

Il existe de nombreuses variantes du jeu de Nim : le nombre de stylos peut varier, le-la joueur-euse qui retire en dernier-ère un ou plusieurs stylos gagne ou perd, on peut y jouer selon divers niveaux de difficulté, en rangeant les stylos en forme de pyramide et ne pouvant retirer à chaque tour que des stylos d'une même ligne. Pour le présent module, nous avons privilégié la variante la plus simple, avec peu de stylos

Les élèves forment des binômes et jouent plusieurs parties pour se familiariser avec le jeu.

Les élèves contre la machine

Au cours de la deuxième phase, la classe est divisée en groupes de 4 élèves. Dans chaque groupe, un-e élève joue le rôle de la machine. Les règles sont à présent les suivantes :

les élèves jouent ensemble contre la machine et tentent de la battre. Ce sont toujours elles-elles qui commencent, et il-elle-s suivent les règles du jeu.

La machine suit les instructions indiquées sous 5.3 M2. Le jeu se poursuit jusqu'à ce que la machine n'ait plus qu'une possibilité de jeu. Elle devrait alors avoir atteint la position suivante :

GOBELETS	JETONS
1	1
1	2
3	3
4	Gobelet retourné
5	1
6	2
7	3
8	1, 2, 3

Au début, la machine va perdre, mais elle va s'améliorer au fur et à mesure. Lorsque la machine joue en seconde, elle aboutira à une stratégie gagnante au bout d'un nombre fini de parties (elle peut perdre au maximum le nombre de fois correspondant au nombre total de jetons dans les gobelets).

Les divers processus sont résumés une nouvelle fois dans les vidéos suivantes : (en [français](#) et en [anglais](#)) de la Scientothèque de Bruxelles.

Activité IA : La machine qui apprend à jouer



Les 20 premières minutes de la présentation suivante de l'enseignante Marie Dufлот-Kremer expliquent le jeu en détail.

Jeux Fabrique 2019 : La conférence dont vous êtes le héros



Variante :

On peut aussi laisser la machine commencer. Au bout d'un certain temps, elle constatera qu'il n'y a pas de stratégie gagnante et finira par abandonner. Le premier gobelet (donc le gobelet numéro 8) sera retourné à un moment donné.

Variante plus difficile :

On peut également jouer avec plusieurs stylos. Tant que l'on prend un multiple de 4 et que la machine joue en seconde, on parvient au même résultat, la partie dure simplement plus longtemps.

La machine est-elle supérieure aux humains ?

Les élèves sont à nouveau réparti-e-s en groupes et doivent mener une discussion sur la façon dont la machine a élaboré une stratégie gagnante aussi rapidement. Ce faisant, il-elle-s sont amené-e-s à répondre aux questions suivantes :

- La machine connaît-elle les règles du jeu ?
- Si cette même machine joue à un autre jeu, va-t-elle aussi gagner ?
- Cette même machine serait-elle capable de passer votre devoir de mathématiques de la semaine prochaine ?

Chaque groupe doit documenter ses réponses et les justifications apportées.

Les conclusions sont récapitulées en plénière : la machine a été programmée spécifiquement pour le jeu de Nim, raison pour laquelle elle gagne. En revanche, la même machine n'est pas capable de jouer directement à un autre jeu ni de passer notre devoir de mathématiques.

Matériels additionnels et ateliers

- Le [Scientothèque de Bruxelles](#) dispose de ressources sur l'intelligence artificielle, à commencer par des définitions, de même que sur son histoire et ses applications.
- Le [Scienceteens Lab](#) de l'Université du Luxembourg propose par ailleurs des [ateliers](#). L'atelier « Art et Intelligence artificielle » aborde dans un premier temps le sujet de l'intelligence artificielle (indépendamment de l'œuvre d'art). Cet atelier se combine à merveille avec le présent module, et son premier volet peut être approfondi une fois que les élèves ont traité ce module.
- Le site [I Am A.I.](#) comporte de nombreux supports pédagogiques autour du sujet de l'intelligence artificielle. Le projet [I AM A.I.](#) est l'un des nombreux projets de l'organisation caritative [Imaginary](#), qui se consacre à l'enseignement des mathématiques modernes. Le site [I AM A.I.](#) propose également une visite virtuelle, avec trois activités interactives. De plus, l'équipe d'[I AM A.I.](#) a conçu une [exposition itinérante](#). Consultez le calendrier de l'exposition pour voir si son passage est prévu dans votre région, ou contactez directement [I AM A.I.](#) pour la faire venir dans votre établissement.

06 | Possibilités de différenciation

Comme indiqué plus haut, il est possible d'opter pour une variante plus complexe du jeu de Nim en augmentant le nombre de stylos utilisés. Les groupes composés d'élèves performant-e-s peuvent aussi recevoir pour instruction de faire commencer alternativement la machine ou les élèves. Il deviendra ainsi plus difficile pour eux-elles de prévoir la fin de la partie.

07 | Autres critères à remplir dans le cadre de la série des unités

- Contexte luxembourgeois :** l'intelligence artificielle et l'apprentissage automatique sont deux éléments indispensables dans le curriculum au 21^e siècle (cf. aussi la version mise à jour du Guide de référence pour l'éducation aux et par les médias 2022).
- Différenciation :** Plusieurs variantes du jeu de Nim sont proposées pour le rendre plus compliqué et moins prévisible.
- Guide de référence pour l'éducation aux et par les médias :** cf. les objectifs d'apprentissage visés par le guide de référence dans la section « Transposition didactique » du présent document.
- Modèle des 4 C : communication, collaboration, créativité, pensée critique :** communication, collaboration, créativité, pensée critique. Le modèle des 4C est pris en compte de diverses manières par les différentes formes sociales et activités d'enseignement.
- Lien avec la recherche actuelle :** la section [Pour aller plus loin](#) établit un lien avec la recherche actuelle autour du sujet de l'IA et de l'apprentissage automatique.
- Lien avec la recherche au Luxembourg :** un scientifique luxembourgeois explique dans le cadre d'une [interview](#) la façon dont il utilise l'intelligence artificielle et l'apprentissage automatique dans ses activités de recherche.

Références :

Alexandre, Frédéric, Becker, Jade, Comte, Marie-Hélène, Lagarrigue, Aurélie, Liblau, Romain, Romero, Margarida & Viéville, Thierry. (2021). Why, What and How to help each Citizen to Understand Artificial Intelligence? *KI – Künstliche Intelligenz*, 2, 1610–1987.

O'Neil, Cathy. (2016). *Weapons of Math Destruction: How Big Data Increases Inequality and Threatens Democracy*. New York: Crown.

Poussing, Nicolas. (2021). Résultats de la consultation publique relative aux opportunités et aux défis de l'Intelligence Artificielle (IA). LISER.

<https://gouvernement.lu/dam-assets/documents/actualites/2021/04-avril/28-bettel-cdp/Rapport-IA6-final.pdf>

du Sautoy, Marcus. (2019). *The Creativity Code: Art and Innovation in the Age of AI*. Cambridge: Belknap of Harvard UP.

08 | Planification détaillée de la leçon

Sujet de l'unité : Fonctionnement d'une IA					
Objectifs d'apprentissage et compétences à développer au cours de l'unité : les élèves ont une idée générale de la façon dont une IA fonctionne puisqu'ils-elles en font l'expérience eux-elles-mêmes					
Possibilité d'évaluation (si planifié) : plusieurs idées d'évaluation sont proposées au point 5.5.					
Durée	Phases	Focus	Formes Sociales/Méthodes	Matériels et Supports	Processus d'apprentissage
5min	Introduction	Règle du jeu de Nim	<ul style="list-style-type: none"> • Plénière • Cours magistral 	<ul style="list-style-type: none"> • Tableau blanc/PPT : règles 	Les élèves... ... comprennent les règles du jeu. ... mémorisent les règles du jeu.
10min	Jeu	Les élèves jouent au jeu de Nim	<ul style="list-style-type: none"> • Binômes 	<ul style="list-style-type: none"> • 8 stylos par groupe 	Les élèves... ... comprennent le jeu en y jouant eux-elles-mêmes.
25min	Travail en groupe	Les élèves jouent contre un-e élève qui simule une machine d'IA	<ul style="list-style-type: none"> • Travail par groupes de 4 élèves 	<ul style="list-style-type: none"> • par groupe, 8 stylos et 8 gobelets avec les jetons correspondants 	Les élèves... ... comprennent que le système d'IA élabore une stratégie gagnante. ... mènent une réflexion sur le fonctionnement d'une IA.
5min	Élaboration	Réflexion sur le concept de supériorité (ou non) de la machine	<ul style="list-style-type: none"> • Nouveaux groupes de 4 élèves 		Les élèves... ... discutent de la manière dont la machine est parvenue à une stratégie gagnante. ... justifient les résultats de leur discussion.
5min	Conclusion	Différence entre l'humain et la machine	<ul style="list-style-type: none"> • Plénière • Cours magistral 		Les élèves... ... mènent une réflexion sur la différence entre une machine qui suit un algorithme et l'intelligence humaine.

5.3 Matériels pédagogiques

M1 | Règles du jeu de Nim

- Nim est un jeu conçu pour deux joueur-se-s.
- 8 stylos sont disposés au centre de la table.
- L'un-e après l'autre, les joueur-se-s retirent au choix 1, 2 ou 3 stylos.
- Le dernier ou la dernière à enlever un ou plusieurs stylos a gagné.

M2 | Instructions pour la machine

La machine joue selon les instructions suivantes :

- Elle dépose devant elle les 8 gobelets numérotés de 1 à 8.
- Trois jetons numérotés 1, 2 et 3 sont déposés dans chacun des gobelets 3 à 8.
- Le gobelet 2 reçoit uniquement des jetons portant les numéros 1 et 2.
- Le gobelet 1 reçoit uniquement un jeton portant le numéro 1.
- Lorsque c'est à son tour de jouer, la machine compte le nombre de stylos restants sur la table et prend le gobelet correspondant. Elle y pioche un jeton au hasard, le pose devant le gobelet et retire autant de stylos que le chiffre indiqué sur le jeton.
- À la fin de la partie, il y a deux possibilités : soit la machine a gagné, soit elle a perdu.
 - Si elle a gagné, elle prend tous les jetons et les remet dans les gobelets correspondants ;
 - Si elle a perdu, elle remet tous les jetons dans les gobelets correspondants, sauf le dernier. Celui-ci était manifestement mauvais. Elle le met de côté et l'élimine ainsi du jeu.
- Le jeu se poursuit de cette manière. Lorsqu'un gobelet est vide et n'a plus de jeton, il est retourné. Si, au cours d'une autre partie, la machine n'a d'autre alternative que de prendre un gobelet retourné, elle abandonne, et le point ii ci-dessus s'applique (tous les jetons sont remis dans les gobelets, sauf le dernier).

5.4 Idées interdisciplinaires

Mathématiques

Le module *#Pupils vs Machine* peut être utilisé en cours de mathématiques. La stratégie gagnante du jeu de *Nim* peut ainsi être introduite sur un plan mathématique et permet une initiation à la preuve par induction (il n'est pas requis d'aborder l'induction en classe). Vous trouverez davantage d'informations à ce sujet à la section [5.6 Pour aller plus loin](#).

Le but est ici de développer les aptitudes¹ suivantes chez les élèves :

- analyser des situations mathématiques, formuler des hypothèses et les préciser ;
- examiner la plausibilité d'hypothèses à l'aide d'exemples et de contre-exemples ;
- construire des argumentations complexes et justifier les diverses étapes.

Les élèves peuvent parfaitement développer ces compétences en analysant la stratégie gagnante du jeu de *Nim*, puis en dégagant des justifications et démonstrations de cette stratégie.

Vie et Société

Il est possible d'intégrer le module dans le cours de Vie et Société par rapport au sujet de l'intelligence artificielle. Il se prête à une leçon sur la question de l'ambivalence du progrès technique et sur les conséquences de la technologie, traités en classe de 5e.²

¹ Mathématiques – Compétences disciplinaires attendues à la fin de la classe de 6e et à la fin de la classe de 4e

² Voir le plan d'études de la matière Vie et Société.

5.5 Idées d'évaluation

Variante plus simple

Si les élèves ont joué au jeu de *Nim* avec 8 stylos dans le cadre de l'unité d'enseignement, il-elle-s doivent élaborer des instructions pour la machine avec un plus grand nombre de stylos. Il est préférable que ce nombre soit un multiple de 4.

Variante plus difficile

Les élèves peuvent se pencher sur la variante un peu plus complexe du jeu de *Nim* et rédiger des instructions correspondantes pour la machine.

Projet plus approfondi

Il est également possible de programmer une IA pour le jeu de *Nim* dans Scratch, et ce, selon 3 modes :

1. par l'élimination des erreurs ;
2. par un renforcement positif ou négatif ;
3. à l'aide d'une fonction de valeur.

Pour ce projet, nous renvoyons à l'excellent matériel didactique de la Scientothèque de Bruxelles : tout le matériel relatif au jeu de *Nim* est disponible [ici](#). L'activité de programmation dans Scratch est expliquée à partir de la page 9. L'application Scratch est disponible [ici](#).

5.6 Pour aller plus loin

01 | Les mathématiques dans le jeu de Nim

Le jeu de *Nim* est un jeu relativement simple, avec une stratégie gagnante connue. Si le nombre de stylos avec lequel on y joue est un multiple de 4, le-la second-e joueur-euse dispose d'une stratégie gagnante. La formule mathématique s'énoncerait comme suit :

Si l'on joue au jeu de Nim avec n stylos, n étant un multiple de 4, le-la second-e joueur-euse a une stratégie gagnante.

Cela n'est pas très difficile à démontrer. Supposons que l'on joue avec seulement 4 stylos. Le-La premier-ère joueur-euse est contraint-e de retirer au moins 1 stylo ; il en reste donc 1, 2 ou 3. Le-La second-e joueur-euse peut maintenant retirer les stylos restants, il-elle a gagné. Ainsi, s'il n'y a que 4 stylos sur la table et que c'est au tour du-de la premier-ère joueur-euse, il est certain que le-la second-e remportera la partie.

Supposons maintenant qu'il y ait 8 stylos sur la table. Le-La premier-ère joueur-euse est obligé-e de retirer au moins 1 stylo, il en reste donc 5, 6 ou 7. Le-La second-e joueur-euse peut maintenant retirer autant de stylos que nécessaire pour qu'il n'en reste plus que 4 sur la table, et c'est à nouveau au tour du-de la premier-ère joueur-euse. Comme dans le premier cas, le-la second-e joueur-euse est sûr-e de gagner, il-elle a une stratégie gagnante.

La démonstration pourrait se poursuivre à l'infini. Avec 12 stylos, on peut arriver à 8, et nous savons déjà que celui ou celle qui joue en second-e a une stratégie gagnante dans cette configuration. En jouant avec 16 stylos, on peut arriver à 12, et ainsi de suite. En mathématiques, ce type de démonstration est appelé preuve par induction.

02 | L'IA dans d'autres jeux

L'intelligence artificielle fonctionne également dans le cadre d'autres jeux. La méthode de base reste la même, à la différence près que le jeu de *Nim* est un petit jeu très facile, en ce sens qu'il existe une stratégie gagnante claire que l'on peut établir et démontrer mathématiquement (cf. section précédente). Nous parlons ici d'un « petit » jeu parce que le nombre de possibilités n'est pas immense. Lorsqu'on ne joue qu'avec 8 stylos, on a 8 cas (les gobelets) avec respectivement 3 coups possibles (les jetons). Cela est peu par rapport à d'autres jeux.

En 1961, le chercheur en intelligence artificielle Donald Michie a élaboré, à partir de 304 boîtes d'allumettes, une IA capable d'apprendre le jeu du morpion. Il la baptisa MENACE (Machine Educable Noughts and Crosses Engine). Cette IA se compose de 304 boîtes d'allumettes collées les unes aux autres pour fabriquer une sorte de commode, telle qu'illustrée sur la photo ci-dessous :



Source: <https://www.msccrogs.co.uk/blog/19>

Une configuration de morpion différente est représentée sur chaque boîte (le nombre de configurations possibles est bien sûr plus élevé que 304, mais les symétries permettent de s'en tenir à ce nombre) et chaque boîte contient différentes perles colorées. Contrairement à l'IA du jeu de Nim, des perles ne sont pas seulement éliminées, il est également possible d'ajouter des perles ayant un effet positif (pour rendre ces stratégies positives plus probables). Le site du CNRS *Images des mathématiques* a publié un [excellent article](#) sur MENACE. Le mathématicien américain Martin Gardner a également écrit un article très accessible et passionnant sur MENACE et d'autres intelligences artificielles semblables (Gardner, 1962).

En 2017, MENACE a été recréée à l'occasion du Festival des sciences de Manchester et elle a réussi en peu de temps à gagner contre les visiteurs ou, au minimum, à faire match nul.

MENACE: the pile of matchboxes which can learn



La mathématicienne française Aline Parreau a créé un livre qui joue au morpion et ne perd jamais.

Ce que vous ne savez pas sur le morpion - Aline Parreau



Des jeux plus complexes comme les échecs ou le jeu de go sont également programmables de façon semblable avec une IA. Ces jeux sont plus complexes à plusieurs égards. D'une part, le nombre de cas et d'actions possibles est bien plus élevé que dans le jeu de Nim ou le morpion. Si l'on programmait les échecs avec un système de gobelets, il faudrait approximativement de 10^{50} gobelets. Le go est quant à lui encore plus complexe que les échecs. L'informaticien Claude Shannon a calculé qu'il existe environ 10^{120} parties d'échecs différentes. Pour le go, le nombre de parties atteint les 10^{300} (du Sautoy, 2019). D'autre part, aucune stratégie gagnante n'est connue à ce jour pour le go ou les échecs, contrairement au jeu de Nim et au morpion. Par conséquent, il est impossible d'apprendre à une IA à jouer à chacun de ces jeux exactement de la même manière. Des méthodes d'IA plus complexes sont requises, capables de déceler des modèles et des règles sans passer en revue toutes les possibilités. C'est le cas des réseaux neuronaux, par exemple.

Et pourtant, dès 1997, l'ordinateur « Deep Blue » a remporté une partie d'échecs contre le champion du monde de l'époque. Cela représentait certes déjà une avancée majeure, mais le vrai défi résidait dans le jeu de go. De nombreux scientifiques étaient convaincus que jamais aucun ordinateur ne serait capable de battre un humain au jeu de go. L'équipe britannique DeepMind a alors mis au point une IA capable d'apprendre le go, et qui est parvenue à battre un joueur professionnel en 2015. L'année suivante, AlphaGo a remporté une partie contre l'un des meilleurs joueurs de go de la planète, avant de finalement vaincre le champion du monde de go, Ke Jie. L'aventure qui est partie de l'idée de développer AlphaGo jusqu'à la victoire en 2017 est décrite de façon captivante par Marcus du Sautoy dans son ouvrage « The Creativity Code: Art and Innovation in the Age of AI » (du Sautoy, 2019).

Ce livre constitue une excellente introduction à l'univers de l'IA. Par ailleurs, l'Inria propose un MOOC (Massive Open Online Course) plus approfondie sur l'IA, intitulée « [L'Intelligence Artificielle... avec intelligence!](#) ». Pour mieux comprendre les réseaux neuronaux et le deep learning, nous recommandons par ailleurs la lecture du premier chapitre du livre en ligne intitulé *Neural Networks and Deep Learning* (Nielsen, 2015).

03 | Faut-il redouter l'intelligence artificielle ?

Les progrès réalisés dans le domaine de l'intelligence artificielle présentent de nombreux aspects positifs, mais malheureusement aussi négatifs. L'utilisation d'intelligences artificielles pose par exemple le problème du biais qui, dans le pire des cas, entraîne une discrimination fondée sur l'origine ethnique, le sexe, le niveau de formation, etc. Du Sautoy (2019) décrit plusieurs exemples à ce sujet. Le secteur financier a notamment recours aux IA afin d'évaluer la solvabilité de candidats au crédit. Pour ce faire, un algorithme identifie des modèles ayant eu un rapport avec un défaut de crédit par le passé. Si des clients ne présentent un tel profil que de manière fortuite, il est possible que l'IA aboutisse à une appréciation erronée. Le domaine juridique a lui aussi recours à l'intelligence artificielle. Aux États-Unis, des IA émettent des propositions de mise en liberté anticipée pour des personnes détenues. Pour apprendre les critères pris en compte dans l'examen d'une mise en liberté, elles sont alimentées en verdicts passés. Dans ce cas, les décisions des juges contenaient déjà un biais en soi : les personnes aux cheveux foncés ont été en moyenne plus durement

sanctionnées. Par conséquent, l'IA acquiert des connaissances sur la base de données qui ne sont pas équitables et qui contiennent au contraire un biais qu'elle reprend évidemment pour formuler ses propres propositions.

Ces problématiques font actuellement l'objet de débats dans les médias et suscitent chez certaines personnes de la méfiance à l'égard de l'intelligence artificielle. Celle-ci a beau être omniprésente dans nos vies et dans les médias, l'on en connaît et comprend encore rarement la signification. Une peur irrationnelle apparaît précisément lorsque l'on ne comprend pas une chose, et seules l'information et l'éducation peuvent permettre de la dissiper.

Il ne s'agit pas là d'utiliser l'IA sans rien interroger ni de l'idéaliser en faisant fi de toute critique, mais plutôt d'en développer une connaissance critique. Développer une réelle compréhension de l'IA est le seul moyen de réussir à faire la distinction entre les aspects positifs et les répercussions négatives, voire dangereuses, des programmes d'intelligence artificielle.

Comme l'explique l'article «Why it is best not to let the computer decide» dans les ressources PITT, il importe de ne pas laisser les IA prendre possession de nos vies. Toutefois, au lieu de tout rejeter en bloc en raison d'une panique irrationnelle, une compréhension critique peut contribuer à également en reconnaître les aspects positifs.

C'est l'objectif que s'est fixé Rediet Abebe, informaticienne et cofondatrice de l'organisation à but non lucratif [Black in AI](#), qui utilise l'intelligence artificielle pour résoudre des problèmes du monde réel (Crowell, 2021). Elle a également cofondé l'organisation [Mechanism Design for Social Good](#), qui regroupe des chercheur-euse-s de diverses disciplines, des décideur-euse-s et des représentant-e-s du monde de l'entreprise dans le but de favoriser la justice et le bien-être social de groupes marginaux, notamment en matière d'éducation, d'accès à l'emploi et au logement, etc.

L'intelligence artificielle joue un rôle toujours croissant dans la recherche elle-même, elle la fait avancer et apporte des résultats très positifs, notamment en ce qui concerne la reconnaissance de formes dans le cadre de diagnostics médicaux. Dans l'interview qui suit, Dr Laurent Mombaerts, qui était chercheur à l'Université du Luxembourg, nous explique comment il utilisait l'IA dans ses travaux de recherche.

Références :

- Alexandre, Frédéric, Becker, Jade, Comte, Marie-Hélène, Lagarrigue, Aurélie, Liblau, Romain, Romero, Margarida & Viéville, Thierry. (2021). Why, What and How to help each Citizen to Understand Artificial Intelligence? *KI – Künstliche Intelligenz*, 2, 1610–1987.
- Crowell, Rachel. (2021). A Computer Scientist Who Tackles Inequality Through Algorithms. *Quanta Magazine*. <https://www.quantamagazine.org/rediet-abebe-tackles-inequality-with-computer-science-20210401/>
- Gardner, Martin. (1962). A Matchbox Game Learning-Machine, *Scientific American*, 3 1962, 138–144.
- Nielsen, Michael. (2015). *Neural Networks and Deep Learning*, *Determination Press*, <http://neuralnetworksanddeeplearning.com/>
- du Sautoy, Marcus. (2019). *The Creativity Code: Art and Innovation in the Age of AI*. Cambridge: Belknap of Harvard UP.

5.7 La parole aux scientifiques : interview avec Dr Laurent Mombaerts

Laurent Mombaerts est ingénieur civil spécialisé en génie biomédical. Il a effectué ses études à la Faculté des Sciences Appliquées de l'Université de Liège dont il a été diplômé en 2015. De 2015 à 2018, il a effectué une thèse de doctorat à l'Université de Luxembourg, en partenariat avec l'Université de Cambridge. Celle-ci portait sur le développement de nouveaux outils pour l'étude de systèmes biologiques, tels que les réseaux de régulation génétiques et la dynamique neuronale des crises d'épilepsies. De 2019 à 2020, Laurent a soutenu le gouvernement luxembourgeois dans la modélisation de la propagation de l'épidémie de COVID. Il a ensuite travaillé pour le Centre Hospitalier de Luxembourg en tant que Chercheur en Machine Learning (Machine Learning Applied Scientist) dans l'unité de neurochirurgie. Depuis 2022, Laurent travaille en tant que Chercheur Appliqué (Applied Scientist) chez Amazon Web Services (AWS). Il y développe des outils de machine learning afin de déterminer l'impact d'interactions clients sur l'adoption de ceux-ci avec les outils clouds AWS.

Machine Learning



