

The title is surrounded by several small, stylized geometric shapes. There are teal and orange triangles, some pointing towards the center and others away. There are also white diagonal lines scattered around the text.

# *IA débranchée*

**l'intelligence artificielle  
sans l'ordinateur**

Activités débranchées et support de  
cours pour l'Intelligence artificielle

Annabel Lindner  
Stefan Seegerer



# *avant-propos*

Le thème de l'intelligence artificielle (IA) prend de plus en plus d'importance dans la société. La publication de l'engagement envers l'IA du gouvernement fédéral allemand fin 2018 en est un exemple. Aujourd'hui déjà, nous interagissons naturellement avec des systèmes d'IA, par exemple lorsque nous utilisons des assistants vocaux comme Siri ou Alexa. Pourtant, selon des sondages, plus de 50 % des Allemands ne savent pas encore ce qu'est l'intelligence artificielle.

Pour faire évoluer les choses, vous trouverez ici une collection de différentes activités « débranchées » autour du thème de l'IA. Les activités « débranchées » proposent des approches qui permettent aux apprenants de tous âges d'expérimenter les idées et les concepts de l'informatique de manière active et qui évitent explicitement l'utilisation de l'ordinateur. La présente brochure comprend cinq activités qui vous permettront d'enseigner les idées et les concepts sous-jacents à l'intelligence artificielle de manière adaptée au niveau scolaire choisi.

En général, l'IA est aujourd'hui principalement réalisée via l'apprentissage automatique, mais l'intelligence artificielle est bien plus que cela. Le thème de l'IA n'englobe pas seulement des aspects techniques, mais soulève également des questions ayant un impact sur la société. Cette brochure montre des possibilités de discuter des thèmes mentionnés avec des enfants, des jeunes et aussi des adultes.

Si vous avez des questions, des commentaires ou des remarques sur ce matériel, n'hésitez pas à nous contacter à l'adresse [hi@aiunplugged.org](mailto:hi@aiunplugged.org)

Les activités nécessitent parfois du matériel supplémentaire. Vous trouverez des modèles à imprimer sous :

<https://aiunplugged.org>





# *Sommaire*

Classification avec arbres de décision	4
#Deeplearning	8
Apprentissage par renforcement	12
Retour aux sources	16
Test de Turing	20
D'autres suggestions	23

# Classification avec arbres de décision

## Le jeu des bons singes - méchants singes

### public visé

Primaire, Collège , Lycée

### Mise en perspective

Comment un ordinateur prend-il des décisions de manière autonome ? Comment un ordinateur décide-t-il si une personne est sportive, si elle doit obtenir un crédit, etc. De tels processus de classification sont une application courante de l'IA. Dans cette activité, les élèves ont la possibilité de créer eux-mêmes un modèle de classification à l'aide d'un arbre de décision. Ils choisissent ensuite le meilleur modèle parmi les différents modèles proposés.

### À retenir

- L'IA classe les données sur la base de modèles.
- L'IA utilise le modèle de classification qui correspond le mieux à des données
- Les modèles de classification ne sont pas parfaits.
- Certaines combinaisons de caractéristiques permettent de conclure à une catégorie particulière.

### Matériel nécessaire

- Cartes de singes (préparation : découper dans le modèle A0, ou version numérique)
- Tableau avec aimants ou panneau d'affichage



### Description de l'activité

Les élèves examinent comment on a classé des éléments d'exemple (appelés données d'entraînement) dans une catégorie. Pour ce faire, ils cherchent en binôme des critères permettant de classer de nouveaux éléments. Ensuite, les modèles créés sont testés avec de nouveaux exemples (données de test) et la précision de la prédiction est déterminée.

## Contexte

Nous sommes gardien(ne)s d'animaux dans un zoo et nous sommes chargés de nourrir les singes. Tous les petits singes ont l'air très mignons, mais nous devons faire attention, car certains d'entre eux mordent. Nous savons déjà si les singes du zoo mordent. Cependant, de nouveaux animaux vont bientôt rejoindre le groupe et nous devons maintenant réfléchir à la manière de déterminer quels sont les nouveaux singes qui mordent et ceux qui ne mordent pas, de préférence sans s'approcher trop près de leurs dents.

## Déroulement

Selon le public visé, vous optez pour la variante de jeu élémentaire avec 20 cartes-images (bleues) ou la variante avancée avec 40 cartes-images (bleues et vertes). Ces 20 ou 40 petits singes sont tous des animaux du zoo, c'est-à-dire que l'on sait déjà s'ils mordent. Ils sont divisés en données d'entraînement et données de test. À l'aide des données d'entraînement, nous réfléchissons aux critères qui déterminent si les singes mordent et nous vérifions leur fiabilité à l'aide des données de test. Les données d'entraînement, divisées en deux catégories (mordent et ne mordent pas) sont épinglées au tableau de manière bien visible. Les données de test sont tout d'abord mises de côté.

Vous pouvez réfléchir vous-même aux règles de classification des singes ou

utiliser l'une des propositions ci-dessous (l'utilisation d'ensembles réduits est également possible). Les règles applicables dans les exemples sont illustrées par des arbres de décision.

Faites d'abord comprendre à vos élèves sur quels détails il vous semble pertinent de vous concentrer en illustrant la démarche par un exemple. Pour ce faire, placez par exemple les cartes des singes 1 à 4 et 5 à 8 en face les unes des autres. Dans cet exemple, c'est la forme de la bouche qui indique que les singes mordent, mais pas les yeux (fig. 1).

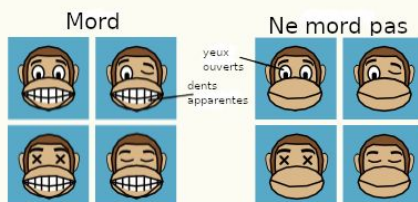


fig. 1: Dans cet exemple simple, tous les petits singes mordent en serrant les dents

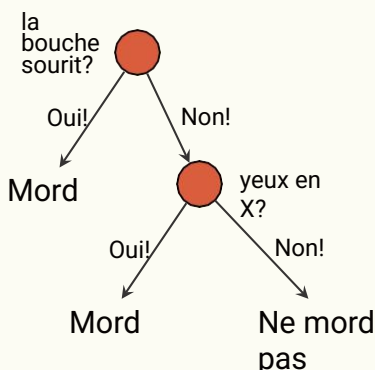
Vous pouvez également jouer à la variante simple du jeu (variante 1) dans les classes supérieures, afin de clarifier les règles et la procédure à suivre.

### Variante 1 (bleu)

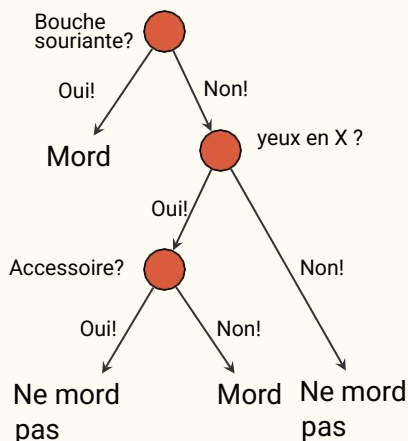


**Variante 1 données d'entraînement**  
mordent 6, 7, 8, 15  
ne mordent pas: 1, 2, 4, 9, 12, 14, 17, 18

**Variante 1 données de test**  
mordent: 3, 5, 11, 19  
ne mordent pas: 10, 13, 16, 20



## Variante 2 (bleu & vert)



Les élèves forment des équipes de deux et réfléchissent, en utilisant des données d'entraînement, à des critères permettant de distinguer les singes qui mordent de ceux qui ne mordent pas. Ces critères doivent être notés de manière suffisamment claire pour qu'une autre équipe puisse les utiliser par la suite.

Les arbres de décision sont une possibilité de notation. La présence ou l'absence d'une certaine caractéristique permet ici un rattachement à un groupe. L'utilisation d'arbres de décision est facultative, l'écriture concrète de règles est également envisageable. À la fin de cette phase d'entraînement, les critères formulés sont échangés avec une autre équipe.

Les images des autres singes (données de test) sont ensuite présentées aux élèves. Pour chaque image de singe, les équipes doivent décider si le singe mord ou non, en utilisant le schéma de règles d'un autre groupe.

### Variante 2 données d'entraînement

mordent: 1, 2, 5, 9, 10, 14, 15, 16, 17, 28, 33, 35, 36  
ne mordent pas: 4, 7, 12, 19, 22, 23, 24, 25,  
30, 32, 37, 38, 39, 40

### Variante 2 données de test

mordent: 6, 13, 18, 34  
ne mordent pas: 3, 8, 11, 20, 21, 26, 27, 29, 31

Chaque équipe note la décision qu'elle a prise. Après avoir montré tous les singes, on évalue quelle équipe a correctement évalué le comportement de morsure de la plupart des singes. On constate que de nombreux modèles de classification classent correctement la plupart des singes, mais qu'il est difficile de classer tous les animaux correctement. En tant que gardiens d'animaux, il est donc plus judicieux d'utiliser le modèle le plus performant pour nourrir les nouveaux singes, même si cela ne nous permet pas de garantir que nous ne serons jamais mordus.



fig. 2: Pour le singe 21, aucun critère ne peut être déduit des données

Dans la variante avancée, l'image n° 21 (voir fig. 2) peut être utilisée pour montrer à quel point il est problématique pour un système d'IA que l'expression des caractéristiques d'un élément diffère nettement des données d'apprentissage. Nous n'avons pas encore d'expérience avec les caractéristiques de l'image n° 21, car celle-ci a une nouvelle forme de bouche encore inconnue.

En conséquence, il n'est pas possible de classer le singe de manière pertinente. Dans la pratique, il est difficile de prévoir le comportement de l'IA dans ce cas. Une autre solution consiste à utiliser l'image d'un animal totalement différent afin de faire ressortir encore plus clairement la différence avec les éléments présentés jusqu'à présent. Ces exemples peuvent ensuite être transposés à la réalité : une banque n'accorde plus de crédit à un client donné de manière inattendue ou la voiture autonome identifie des feuilles sur la route comme une situation dangereuse et déclenche par erreur un freinage d'urgence. Dans de telles situations, l'IA peut également représenter un danger si les raisons de certaines décisions ne sont plus compréhensibles.



fig. 3: Donnée d'entraînement divisées  
en 3

### Sur le fond

La création de catégories est rendue possible par la reconnaissance de modèles répétitifs dans des éléments individuels. Mais quel est le lien entre ces aspects et l'intelligence artificielle ?

Dans l'apprentissage supervisé, l'IA observe une série de paires d'entrées et de sorties (données d'apprentissage) et apprend comment elles sont reliées entre elles. Cette connaissance est ensuite utilisée pour classer les nouveaux éléments

dans l'une des catégories. Les données de test dont la catégorisation nous est connue, mais pas le modèle, servent à déterminer la qualité du modèle de classification appris.

Le même principe est utilisé pour les réseaux neuronaux et d'autres applications d'IA. Cette approche peut poser différents problèmes, car aucun modèle n'est parfait. Selon les données d'apprentissage, le modèle de classification peut accorder trop d'importance à certaines propriétés des données d'apprentissage ou les négliger, si bien qu'il n'est plus possible de faire des déclarations générales et donc de classer correctement des éléments inconnus. De nombreuses données d'apprentissage peuvent aider à réduire ces effets, mais ne conduisent pas toujours à des résultats plus précis, car trop de données d'apprentissage peuvent également entraîner une suradaptation. Dans ce cas, le système d'IA apprend les données d'entraînement « par cœur » et n'est ensuite plus en mesure de généraliser à de nouvelles données.

Il est intéressant d'aborder ces aspects de l'apprentissage automatique dans le cadre de l'activité. Lors de l'utilisation de leurs modèles de classification pendant la phase de test, demandez aux élèves d'expliquer selon quelles caractéristiques ils ont classé les singes, afin de mettre en évidence que différents modèles de classification sont utilisés. Expliquez ensuite qu'un modèle de classification n'est probablement jamais précis à 100 %, mais que le modèle choisi est celui qui classe le mieux les données du test. Demandez aux élèves de décrire leur propre « processus d'apprentissage », puis de le comparer à celui d'un ordinateur.

# #deeplearning

## Reconnaissance d'images avec des réseaux neuronaux

### public visé

Collège, Lycée

### Mise en perspective

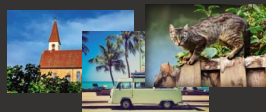
Comment un ordinateur peut-il « reconnaître » des choses ? Comment un ordinateur décide-t-il si un chat est représenté sur une photo ? Comment peut-il distinguer les bâtiments des personnes ? Il est très facile pour l'être humain de reconnaître des objets à partir de leur forme ou de leur apparence. Mais pour l'ordinateur qui doit reconnaître les objets qui l'entourent, par exemple dans une voiture qui se conduit toute seule, il s'agit d'une tâche complexe. Dans cette activité, les élèves ont la possibilité de comprendre par eux-mêmes comment les ordinateurs reconnaissent le contenu des images.

### À retenir

- Les réseaux neuronaux associent des entrées à des sorties spécifiques : Les données brutes, comme les images, reçoivent une classification, par exemple en attribuant des termes aux objets de l'image.
- Les réseaux neuronaux se composent de différentes couches d'abstraction qui identifient des caractéristiques de plus en plus complexes.
- Les classes d'objets qui doivent être reconnues doivent déjà être connues de l'IA.

### Matériel nécessaire

- Cartes photos de maisons, de chats et de voitures pour chaque groupe



### Description de l'activité

Les élèves reproduisent le processus de reconnaissance d'images d'un réseau neuronal (simplifié). Ainsi, ils jouent les rôles des différentes couches au sein d'un tel réseau. Ils extraient des caractéristiques d'une photo et classifient l'image. Ce faisant, ils reconnaissent les limites du système et réfléchissent aux modifications à apporter au réseau afin d'obtenir de meilleurs résultats avec leur réseau.



## Contexte

En tant qu'êtres humains, nous nous fions beaucoup à ce que nous voyons. Si nous voyons un chat, nous savons immédiatement que c'est un chat, et si nous voyons un chien, nous le reconnaissons également immédiatement. Un ordinateur, en revanche, ne peut pas le déterminer aussi facilement, mais il peut l'apprendre, tout comme nous l'avons fait lorsque nous étions petits. Pour cela, nous montrons à l'ordinateur de nombreuses images de chiens, mais aussi d'autres animaux. L'ordinateur apprend alors lui-même à distinguer un chien d'un chat. Entraîné correctement, l'ordinateur peut non seulement étiqueter automatiquement des images, mais aussi reconnaître un cancer de la peau ou réagir à des obstacles, s'il est intégré dans une voiture.

## Déroulement

Commencez par expliquer comment un ordinateur peut reconnaître le contenu d'une image. Les réponses se référeront souvent à des règles définies ou à la comparaison avec une base de données d'images, mais de nos jours, les ordinateurs procèdent différemment. Répartissez les élèves en groupes de trois, chaque groupe recevant une pile de cartes photo. Dans chaque groupe, il y a trois rôles, chacun représentant une couche d'un réseau neuronal (voir figure 4). Les tâches des rôles sont les suivantes :

**A** tire une image de la pile de cartes-photos (B et C ne doivent pas voir l'image !),

en fait deux croquis différents (30 secondes chacun) et les transmet à B. Ce faisant, ils veillent à ce que C ne voie pas les croquis.

**B** reçoit les dessins de A et vérifie s'il y a des formes carrées, des formes triangulaires ou des formes rondes. Ensuite, B transmet à C les informations recueillies.

**C** évalue les informations reçues à l'aide du tableau suivant et annonce si l'image originale est une maison, une voiture ou un chat.

	Forme à 4 côtés?	Forme à 3 côtés?	Forme ronde?
Maison	Oui	Oui	Non
Voiture	Oui	Non	Oui
Chat	Non	Oui	Oui

En dernier lieu, A détermine si la solution est correcte

Demandez aux élèves d'essayer le jeu en alternant les rôles. Il est également possible de faire jouer un rôle par deux élèves ou d'attribuer explicitement trois élèves à chaque rôle, qui représentent alors chacun un neurone (c'est-à-dire un nœud de la couche) et non plus une couche entière.

Après un bref essai, donnez aux groupes d'autres images qui ne correspondent pas aux catégories que le réseau peut reconnaître ou qui présentent des caractéristiques qui ne permettent pas une classification claire. Par exemple, l'image d'un chien n'est pas reconnue correctement par le réseau – simplement parce que le réseau ne connaît pas la

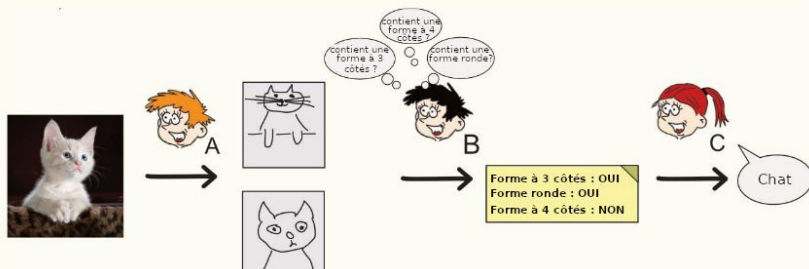


Fig. 4: les différents rôles pour les élèves

catégorie "chien". Sur la base de cette constatation, les élèves réfléchissent maintenant à la manière dont le réseau peut être modifié et étendu afin de pouvoir reconnaître à l'avenir des chiens ou d'autres objets. Pour ce faire, il faut tout d'abord introduire une nouvelle catégorie de sortie. Parallèlement, le nombre de caractéristiques identifiées par le réseau n'est plus suffisant, de sorte qu'il faut soit trouver d'autres caractéristiques permettant de distinguer les catégories, soit regrouper plusieurs caractéristiques en un modèle complexe. Ce regroupement correspond en fin de compte à l'ajout de couches supplémentaires dans le réseau neuronal. Pour aider les élèves à combiner des caractéristiques simples en motifs plus complexes, vous pouvez utiliser la figure 6.

### Sur le fond

Dans les situations où il est difficile de traduire un problème à résoudre en règles logiques, les réseaux neuronaux artificiels sont souvent utilisés. La compréhension de textes ou la reconnaissance d'objets dans des images font partie de ces problèmes. L'idée de conception des réseaux neuronaux artificiels provient de la neurobiologie et s'inspire de la structure du cerveau humain. Par analogie avec une cellule nerveuse humaine qui traite différents stimuli et transmet une impulsion, un neurone artificiel traite également différentes entrées et peut transmettre un signal. Les bords d'entrée sont dotés d'un poids, c'est-à-dire qu'ils ont une influence plus ou moins importante sur la sortie du neurone. Un neurone artificiel ressemble ainsi de loin au fonctionnement d'un neurone humain, mais fonctionne plutôt comme une simple calculatrice : il multiplie les poids des arêtes et les valeurs d'entrée, les additionne et transmet un résultat. Tout comme dans le système nerveux humain, de nombreux neurones sont reliés entre eux et forment ainsi un réseau. Les neurones sont organisés en couches.

Selon la complexité d'un problème, un réseau peut comporter deux ou plusieurs couches. Dans la situation initiale de cette activité, il y en a trois. Si un réseau comporte d'autres couches entre la couche d'entrée et la couche de sortie, on parle de *deep learning*.

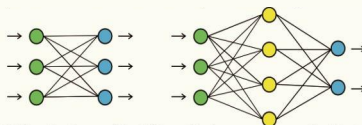


Fig. 5: Ex de réseaux neuronaux artificiels  
à gauche : réseau simple,  
à droite : réseau « profond ».

Dans la pratique, la reconnaissance et la classification d'images fonctionnent le plus souvent à l'aide de réseaux neuronaux convolutifs, qui sont spécialisés dans la reconnaissance autonome de modèles et conviennent donc très bien à la classification d'images. Ce type de réseaux neuronaux se caractérise par l'utilisation de convolutions pour extraire des caractéristiques et des modèles des données d'entrée. Ces réseaux sont désormais capables de classer les images plus rapidement que les humains.

Comment cela fonctionne-t-il exactement ? Les photos numériques sont composées de petits éléments de couleur - les pixels - disposés en une grille. Chaque pixel a une certaine valeur chromatique. Pour l'ordinateur, contrairement à l'homme, les photos ne sont donc au départ que des valeurs numériques. Les réseaux de reconnaissance d'images tentent au début de reconnaître des caractéristiques simples, appelées « features ». Pour cela, des filtres sont appliqués sur l'image. Cela ressemble à ce que nous faisons dans les programmes de traitement des photos, lorsque nous appliquons par exemple le filtre passe-haut (voir fig. 7). Il s'agit en fin de compte d'un calcul mathématique qui saisit plusieurs points de l'image et les compare avec un filtre pour former un nouveau point de l'image. Selon le filtre, il est par exemple possible de reconnaître dans un premier temps que des pixels ayant des valeurs de luminosité similaires peuvent être reliés pour former des arêtes



Fig. 6: Les réseaux neuronaux identifient des caractéristiques de plus en plus complexes sur plusieurs niveaux

Les caractéristiques telles que les lignes horizontales et verticales, les cercles ou les coins sont ensuite extraites à un autre niveau. Les programmes de traitement d'image courants comme Gimp permettent d'entrer de tels filtres sous forme de matrice, une bonne possibilité d'en tester l'effet par soi-même.



Fig. 7: Application d'un filtre

Dans le jeu, les dessins réalisés par les élèves font également office de filtre, car ils permettent d'extraire les éléments centraux de l'objet représenté sur la photo. Les croquis permettent ensuite d'identifier les formes géométriques dans les images. L'utilisation de seulement trois caractéristiques représente ici une grande simplification par rapport à un réseau neuronal réel, qui dispose de plusieurs millions de neurones dans une multitude de couches.

Aux premiers niveaux d'un réseau neuronal, on trouve un grand nombre de filtres simples et plutôt géométriques de ce type. Les modèles reconnus ici sont ensuite assemblés (à nouveau par l'application de filtres) pour former des modèles plus complexes. Sur des « niveaux plus profonds », il n'est donc plus possible de se contenter de coins et de bords, mais aussi des parties

d'objets, comme des yeux ou des parties du pelage, et enfin des objets complets, comme des chiens ou des chats. Au cours du processus de traitement, les informations (superflues) sont toujours rejetées, car, par exemple, la position exacte d'une ligne diagonale sur une image n'a souvent qu'un intérêt secondaire pour la reconnaissance d'un objet. Au final, on obtient une probabilité d'attribution d'une image à une catégorie donnée.

Un réseau neuronal ne peut toutefois pas reconnaître facilement le contenu de chaque image. Son champ d'application est plutôt limité : Le réseau neuronal doit d'abord être « entraîné » avec une très grande quantité d'images (plusieurs milliers). Il apprend ainsi quelles caractéristiques sont déterminantes pour les images appartenant à une certaine catégorie. Ainsi, le réseau neuronal ne peut classer correctement que les images dont il connaît la catégorie. Par exemple, un réseau qui doit différencier les chiens des chats ne peut pas reconnaître d'autres animaux, mais les classe plutôt dans l'une des deux catégories connues. Un réseau neuronal entraîné peut toutefois accomplir sa tâche bien plus rapidement que les humains ne le pourraient jamais. C'est pourquoi les procédés de reconnaissance d'images sont déjà utilisés, par exemple, dans les voitures à conduite autonome pour reconnaître différents objets dans la circulation routière (trafic en sens inverse, piétons, etc.) ou dans la détection du cancer de la peau.

# Apprentissage par renforcement

## Capture le crocodile!

### Public visé

Collège , Lycée

### Mise en perspective

Nous connaissons aujourd'hui les ordinateurs capables de jouer aux échecs et de battre les humains. Le jeu de société chinois Go, en revanche, a longtemps été considéré comme si complexe que seuls les humains pouvaient le maîtriser - jusqu'à ce que Google fasse peur aux joueurs professionnels humains avec AlphaGo. Dans cette activité, nous verrons comment les ordinateurs apprennent eux-mêmes des stratégies de jeu alors qu'ils ne connaissent que les règles du jeu.

### À retenir

- Les ordinateurs peuvent apprendre en « récompensant » et en « punissant ».
- Les ordinateurs évaluent l'utilité des actions aléatoires en se basant sur la récompense et la punition.
- Les ordinateurs apprennent des stratégies ou des séquences d'actions en recherchant une récompense maximale.

### Matériel nécessaire

- Pour chaque paire d'élèves : 1 case « mini-échecs », 3 cartes « singe » et 3 cartes « crocodile », 1 aperçu des coups possibles.
- des jetons/sucreries colorées pour évaluer les mouvements dans 4 couleurs différentes (jaune, rouge, orange, bleu ; environ 20 par couleur)



### Description de l'activité

Deux élèves jouent une partie de « mini-échecs » l'un contre l'autre. L'un des élèves joue le rôle d'un ordinateur « papier ». L'ordinateur choisit d'abord ses coups au hasard, mais apprend peu à peu, grâce à un système de jetons, quels sont les coups qui lui permettent de gagner et quels sont ceux qui se soldent par une défaite. Grâce à la stratégie qui se développe ainsi, l'ordinateur devient de plus en plus performant au fil du temps.

*Cette activité est basée sur une idée de CS4Fun.*

(<http://www.cs4fn.org/machinelearning/sweetlearningcomputer.php>)

## Contexte

Comment apprenons-nous, en tant qu'êtres humains, à jouer à un jeu de société ou à un jeu vidéo ? Peut-être que nous regardons les autres jouer, ou bien peut-être que nous essayons de voir comment certaines actions ou certains mouvements influencent le jeu. Plus nous gagnons, plus nous nous améliorons dans un jeu. Nous développons des stratégies pour savoir quels coups sont les plus efficaces dans certaines situations de jeu. C'est de la même manière qu'un ordinateur apprend à jouer à des jeux.

## Déroulement

Le jeu suit des règles d'échecs simples : chaque pièce se déplace comme un pion, c'est-à-dire qu'elle ne peut qu'avancer et ne peut prendre les pièces adverses qu'en diagonale. Un élève prend le rôle du singe et agit comme un joueur humain. Un autre élève joue le rôle de l'ordinateur sous la forme des crocodiles.

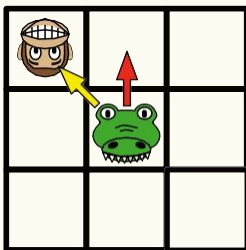


fig. 8: Mouvements possibles d'un personnage

Un camp a gagné s'il parvient à :

- guider un de ses pions à l'autre bout du terrain.
- capturer toutes les pièces adverses.
- faire en sorte que l'adversaire ne puisse plus effectuer de coup au tour suivant.

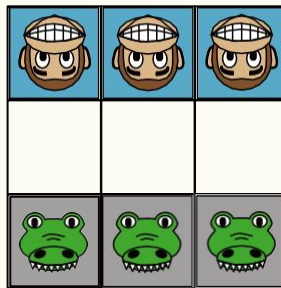


fig. 9: Positions en début de partie

En guise de préparation, des impressions des possibilités de déplacement de l'ordinateur sont étalées devant le joueur ou la joueuse qui prend en charge les crocodiles. Ensuite, des jetons de couleur sont répartis sur ces possibilités de déplacement. Pour ce faire, placez pour chaque flèche colorée la couleur correspondante sous forme de jeton dans la zone située à droite de la situation de jeu illustrée (voir fig. 11).

La joueuse ou le joueur humain commence. Il/elle peut se déplacer librement selon les règles du jeu. Ensuite, c'est au tour des crocodiles. Le joueur ou la joueuse compare le plateau de jeu actuel avec les possibilités de déplacement et choisit la situation de jeu appropriée parmi les possibilités données. Pour une orientation plus rapide, il est indiqué à chaque fois de quel tour de jeu il s'agit. Au premier tour, il ne faut considérer que les deux possibilités pour le coup 1, au deuxième tour les 10 coups pour le coup 2 et au troisième tour les 7 coups pour le coup 3. Les situations de jeu symétriques ne sont pas mentionnées deux fois. Ensuite, il/elle ferme les yeux et tire au hasard l'un des jetons placés à côté de la situation de jeu correspondante et le déplace vers les objectifs du tour. La couleur du jeton détermine quel coup sera joué et le joueur/la joueuse déplace le pion en fonction de la flèche de la même couleur.

Par exemple, si un jeton rouge est tiré, le crocodile se déplace en suivant la flèche rouge.

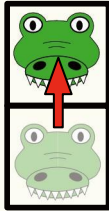


Fig. 10: le crocodile est bougé suivant la flèche rouge.

Cette procédure est répétée jusqu'à ce que le vainqueur du tour de jeu soit connu. Avant de jouer un nouveau tour, l'ordinateur adapte alors sa stratégie comme suit :

- Les crocodiles ont gagné : un jeton de la couleur du dernier coup gagnant est placé en plus sur la case de ce coup.
- Les singes ont gagné : la sucrerie au chocolat qui a déterminé le dernier tour du joueur crocodile est retirée. Le joueur ou la joueuse des singes peut la manger le cas échéant.

De plus, tous les jetons sont à nouveau placés à droite de la zone de jeu correspondante..

*Facultatif : pour simplifier les règles, vous pouvez aussi négliger le renforcement par un jeton supplémentaire en cas de victoire des crocodiles.*

### Sur le fond

Au début, l'ordinateur aura peu de chances de gagner, car il choisit ses mouvements au hasard (en tirant un jeton les yeux fermés). Plus l'ordinateur termine de parties, plus il s'améliore : il « apprend » quels mouvements lui permettent de gagner et quels mouvements il doit éviter, car ils se sont soldés par une défaite dans le passé. Ainsi, la stratégie de l'ordinateur s'affine progressivement.

Comme l'ordinateur est puni pour avoir perdu et récompensé pour avoir gagné, nous parlons également d'apprentissage par renforcement - un apprentissage par récompense et punition :

- Punition = enlever une sucrerie lors d'un jeu qui a conduit à la défaite
- Récompense = ajout d'une sucrerie lors d'un mouvement qui a conduit à la victoire

Grâce à cette procédure, les coups qui ont été éliminés lors des différents matchs sont les coups qui ont entraîné une défaite, de sorte qu'il ne reste plus que les bons coups. Dans la pratique on n'éliminerait pas immédiatement les stratégies qui ne mènent pas au succès, mais on réduirait seulement la probabilité de leur apparition. Ainsi, l'IA apprend peu à peu quelle stratégie est probablement la plus appropriée dans telle ou telle situation, mais elle n'exclut pas immédiatement et complètement les stratégies individuelles qui n'ont pas conduit au succès dans tous les cas. Bien que cette procédure soit simplifiée dans le jeu en éliminant immédiatement les coups qui ont conduit à une défaite immédiate, il ne peut jamais se produire le cas où tous les coups possibles sont



éliminés pour une situation de jeu, car il existe pour chaque situation au moins une option d'action pour l'ordinateur qui ne conduit pas à une défaite immédiate.

Un ordinateur peut ainsi apprendre à gagner une partie en connaissant simplement les règles du jeu ou les entrées possibles. Par exemple, si un ordinateur apprend à jouer à Super Mario, il ne fera dans un premier temps que des entrées au hasard. Cela peut l'amener à rester immobile pendant plusieurs minutes ou à foncer plusieurs fois sur le même adversaire. Il analyse alors les objets ou les pixels de l'image et réagit par des saisies. Son objectif est de maximiser le nombre de points obtenus dans le jeu, les points faisant ici office de récompense. Plus l'ordinateur peut progresser vers la droite, plus le renforcement positif est important. Avec le temps, il apprendra par exemple que le fait de sauter augmente sa récompense lorsqu'un ennemi se trouve immédiatement à sa droite, car le fait de sauter par-dessus l'ennemi lui permet de progresser dans le niveau. De cette manière, l'approche d'un système d'IA dans un jeu s'améliore petit à petit,

le système essayant toujours de maximiser sa récompense (ou plus précisément, une certaine fonction).

Dans le cadre de la décontextualisation, demandez aux élèves d'analyser l'évolution du comportement de l'ordinateur. Il s'agit de mettre en évidence que l'ordinateur passe d'une action purement aléatoire à une stratégie de jeu efficace en la renforçant. Ensuite, vous pouvez montrer, par exemple à l'aide d'une vidéo sur le jeu Super Mario (voir site web), comment l'apprentissage par renforcement se déroule dans un réseau neuronal. Demandez aux élèves de réfléchir aux limites des stratégies qu'ils ont apprises. Vous pouvez très bien combiner cette activité avec l'activité *Retour aux sources* : les échecs du crocodile et l'IA classique pour mettre en évidence le contraste entre les systèmes d'apprentissage et les applications classiques de l'IA, comme les systèmes basés sur des règles.

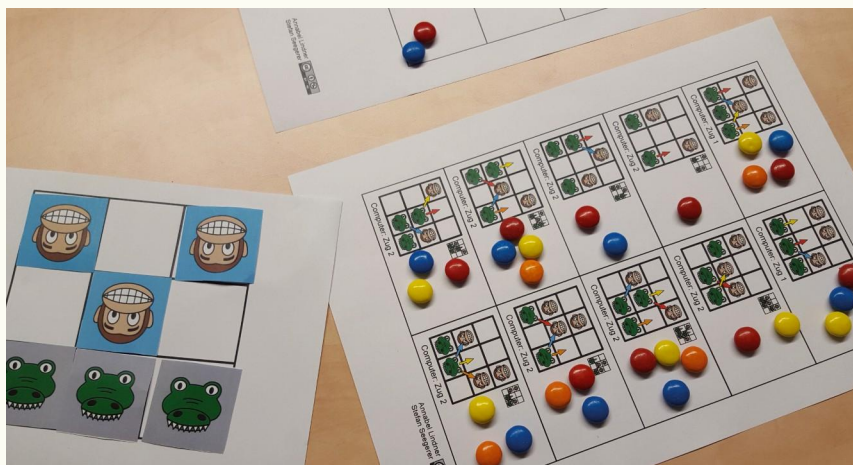


Fig. 11: La structure du jeu : La distribution des suceries représente les stratégies apprises



# Retour aux sources

## Crocodile - échecs et IA classique

### Public visé

Collège, lycée

### Mise en perspective

Les exercices présentés jusqu'à présent portent sur les systèmes d'apprentissage de l'IA. Mais ce n'est pas tout ce que l'IA a à offrir : les origines de l'IA se trouvent dans la logique et l'idée de formaliser mathématiquement les connaissances et de les rendre ainsi accessibles aux machines. Les différences entre l'IA apprenante et les approches classiques, ainsi que les limites de ces systèmes, seront mises en évidence dans cette activité. Pour ce faire, l'activité d'apprentissage par renforcement précédente est mise en œuvre avec un système expert, ce qui permet de mettre en évidence des approches très différentes.

### À retenir


- Les connaissances doivent pouvoir être représentées de manière formelle pour pouvoir être traitées par des machines.
- Les systèmes experts peuvent combiner des règles et des faits pour générer de nouvelles connaissances.
- De tels systèmes d'IA ne prennent pas de décisions autonomes, mais fonctionnent selon les règles de la logique.
- Les systèmes d'IA disposent de mécanismes de traitement permettant d'effectuer des déductions automatiques à partir de connaissances existantes.

### Matériel nécessaire

- Pour chaque paire d'élèves : 1 plateau « mini-échecs », 3 cartes « singe » et 3 cartes « crocodile », 1 aperçu des règles pour le prochain coup.

### Description de l'activité

Comme dans l'activité d'apprentissage par renforcement, deux élèves jouent une partie de « mini-échecs » l'un contre l'autre. L'un des élèves joue le rôle d'un ordinateur « papier ». Si, comme nous le recommandons, l'activité est directement combinée avec la version précédente de l'apprentissage par renforcement, il est possible d'inverser les rôles. Au lieu de choisir ses coups au hasard, l'ordinateur travaille maintenant selon des règles prédéfinies qui sont mises à disposition sous forme de copie.





## Contexte

Comment programmer un ordinateur pour qu'il puisse jouer à des jeux de société ou à des jeux vidéo ? Les ordinateurs ne peuvent « comprendre » les règles d'un jeu et agir en conséquence que si celles-ci sont représentées de manière à ce qu'un ordinateur puisse également les traiter. Les connaissances doivent donc être représentées de manière formelle (par exemple par des termes mathématiques) pour être traitées par une machine. L'ordinateur peut ensuite les évaluer à l'aide de la logique et en déduire ses actions. Les systèmes d'IA ne sont donc pas vraiment intelligents, mais utilisent habilement différentes possibilités pour déduire leur comportement à partir des connaissances existantes.

## Déroulement

Le jeu suit des règles d'échecs simples et a les mêmes conditions de base que dans l'activité d'apprentissage par renforcement : chaque pion se déplace comme un pion, c'est-à-dire qu'il ne peut qu'avancer et prendre les pions adverses en diagonale. Un élève prend en charge les singes et agit comme un joueur humain. Un autre élève joue le rôle de l'ordinateur sous la forme des crocodiles.

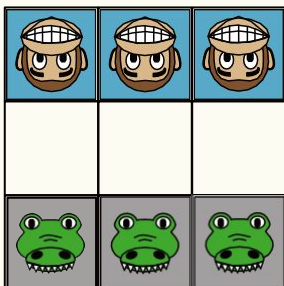


Fig. 12: positions en début de partie

Un camp a gagné s'il y parvient à :

- conduire un de ses pions à l'autre bout du terrain de jeu.

- capturer toutes les pièces de l'adversaire
- faire en sorte que l'adversaire ne puisse plus effectuer de coup au tour suivant.

Pour se préparer, la joueuse ou le joueur qui prend en charge les crocodiles reçoit une impression des règles pour les coups de l'ordinateur, celles-ci remplacent les possibilités de coups et les jetons de l'activité d'apprentissage par renforcement. La joueuse ou le joueur humain commence. Il/elle peut se déplacer librement selon les règles du jeu. Ensuite, c'est au tour des crocodiles. Le joueur ou la joueuse compare le plateau de jeu actuel avec le tableau des règles et choisit la situation de jeu appropriée parmi les 10 possibilités, les situations de jeu symétriques n'étant pas mentionnées deux fois. Il ou elle joue ensuite le coup indiqué par la règle.



Fig. 13: Le crocodile se déplace le long de la flèche rouge

Cette procédure est répétée jusqu'à ce qu'une gagnante ou un gagnant soit désigné(e). Il est possible de faire plusieurs tours afin de vérifier si l'ordinateur est toujours en mesure de gagner grâce à ses règles.

Présentez ensuite aux élèves la version améliorée du jeu d'échecs du crocodile avec 4x4 cases (voir site web). Abordez le fait que les règles dont dispose l'ordinateur ne suffisent plus. Demandez aux élèves de faire une comparaison avec la variante du mini-échec de l'activité d'apprentissage par renforcement dans laquelle l'ordinateur apprend : ici aussi, le savoir ne suffit pas. Le « savoir » de l'ordinateur ne suffit plus.

Les deux systèmes atteignent donc ici leurs limites.

Les élèves réfléchissent maintenant aux opérations nécessaires pour adapter le « savoir » de l'ordinateur à la version 4x4 du jeu. Ils se rendent compte que l'ordinateur basé sur des règles doit être adapté manuellement par l'homme en ajoutant de nouvelles règles pour le coup optimal, tandis que le système apprenant peut également apprendre les comportements optimaux pour le plateau de jeu 4x4 de la même manière que dans l'activité précédente, c'est-à-dire en évaluant les comportements aléatoires, une fois que toutes les nouvelles possibilités de coup ont été ajoutées. Le système d'apprentissage a donc besoin d'une nouvelle phase d'entraînement au cours de laquelle les connaissances pour le jeu étendu sont acquises implicitement, tandis que les nouvelles règles doivent être ajoutées explicitement dans le système expert basé sur des règles. Dans ce cas, l'homme a pour tâche de déterminer d'abord lui-même le coup idéal pour chaque situation de jeu parmi tous les coups possibles et de formaliser ensuite toutes les règles de manière complète et exhaustive. Cette tâche n'est pas nécessaire dans le système d'apprentissage. Cette représentation formelle explicite des règles qui régissent la procédure du système n'est toutefois guère ou plus possible dans le cas de problèmes complexes et à plusieurs étapes. Les systèmes d'IA apprenants offrent ici le grand avantage, par rapport aux systèmes experts, de pouvoir déterminer de telles procédures « de manière autonome » et même d'établir des relations entre les données qui ne sont pas visibles pour l'homme,

### *Sur le fond*

La logique et le traitement des connaissances jouent un rôle dans de nombreux domaines de l'informatique et sont en outre des thèmes centraux de l'intelligence artificielle. Le langage naturel étant ambigu et trop varié pour rendre le savoir accessible au traitement par les machines, la question de la meilleure représentation possible du savoir pour les machines revêt une importance cruciale depuis les débuts de l'IA.

Les approches de cette IA « classique » misent ici sur la représentation symbolique du savoir, c'est-à-dire la représentation explicite du savoir dans les systèmes informatiques, par exemple à l'aide de la logique. Celle-ci permet une représentation claire, uniforme et précise du savoir, nécessaire au traitement par un ordinateur. De tels modes de représentation sont utilisés par exemple dans les systèmes experts basés sur des règles, qui jouent toujours un rôle dans les applications commerciales actuelles. Dans de tels systèmes, des conclusions sont tirées automatiquement à partir d'énoncés logiques représentant des faits et des connaissances sur les règles, afin de déterminer comment l'ordinateur doit agir. Dans le cas de notre activité, les faits correspondent à la situation de jeu actuelle et les connaissances des règles aux instructions sur le coup à jouer.

La base factuelle représente des affirmations valables. Un ensemble de règles, exprimées sous la forme « si ... alors » forment la base de règles. Formellement, cette forme « si ... alors », par exemple, est représentée par la logique propositionnelle. Un système de contrôle sélectionne des règles appropriées sur la base des faits, les évalue et agit en conséquence.

Dans les systèmes experts complexes, les conclusions tirées des règles peuvent également servir de faits d'entrée pour d'autres règles, contribuant ainsi à élargir la base de faits. Dans cette activité, la tâche du système de contrôle est assumée par l'élève qui joue le rôle de l'ordinateur. A l'aide des consignes de jeu, qui constituent la base des règles, il ou elle doit déduire le prochain coup à partir de la situation de jeu actuelle.

Dans un système basé sur des règles, cette approche est dite guidée par les données ou chaînage vers l'avant, car on essaie d'atteindre un objectif encore inconnu sur la base de faits. A l'opposé, on trouve le chaînage vers l'arrière, qui tente de prouver une hypothèse émise. Dans ce cas, on jouerait pour ainsi dire le jeu jouer « à l'envers » et essayer de partir d'une situation de jeu dans laquelle l'ordinateur a gagné, en déduire les coups nécessaires pour obtenir ce gain.

Même l'apprentissage automatique, qui représente aujourd'hui la méthode dominante dans le domaine de l'intelligence artificielle et qui a déjà remplacé les systèmes experts et d'autres applications classiques de l'IA dans de nombreux domaines, ne peut pas se passer de la représentation des connaissances. Dans les technologies telles que les réseaux neuronaux, celle-ci est toutefois implicite, de sorte que l'on parle ici également de systèmes sous-symboliques : Un comportement systématique est entraîné et une sorte de connaissance implicite des relations sous-jacentes est ainsi acquise. Il est toutefois difficile d'avoir un aperçu de la solution concrète dans ces réseaux, car les règles générales sous-jacentes aux données ne sont représentées qu'indirectement dans le réseau neuronal, par exemple par le poids des arêtes et les seuils d'activation des neurones. Pour en savoir plus sur les réseaux neuronaux, consultez l'activité #deeplearning. CS4FN propose également une autre activité qui modélise un système expert pour le morpion débranché.

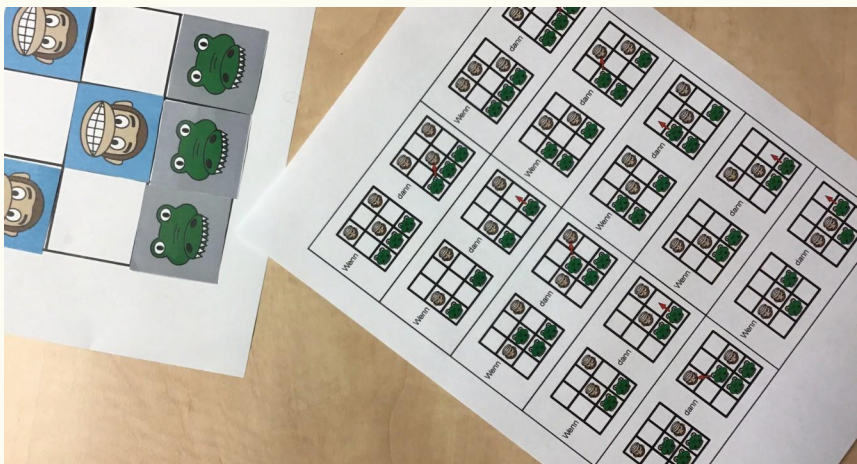


Fig. 14: La structure du jeu : les règles pour la personne qui prend en charge l'ordinateur sont clairement définies

# Le Test de Turing

« Ah, heureusement que personne ne sait que je suis un ordinateur ! »

## Public visé

Collège, Lycée

## Mise en perspective

Comment une machine doit-elle se comporter pour être considérée comme intelligente ? Que signifie exactement l'intelligence artificielle ? Ces questions préoccupent les chercheurs depuis les débuts de l'intelligence artificielle. En 1950, Alan Turing a développé, avec le test de Turing, une idée permettant de déterminer si une machine est intelligente. Cette activité reproduit le test de Turing avec des élèves et vise à susciter une discussion sur la question de savoir si les ordinateurs peuvent réellement faire preuve d'une intelligence humaine. Elle montre également qu'il est facile d'être induit en erreur par des exemples soigneusement choisis d'« intelligence » d'une machine.

## À retenir

- Les systèmes intelligents utilisent certaines stratégies pour imiter le comportement humain.
- Il faut des procédures spéciales pour évaluer l'intelligence des machines.
- La définition de l'intelligence (artificielle) n'est pas claire.

## Matériel nécessaire

- Feuilles de travail/diapositives avec des questions de test de Turing prédéfinies pour toute la classe
- une copie des réponses aux questions du test de Turing
- 4 élèves volontaires dans les rôles d'ordinateur (1), d'humain (1) et de coureur (2)

## Description de l'activités

Dans cette activité, les élèves jouent à un jeu de questions-réponses dans lequel ils doivent essayer de distinguer un ordinateur d'un être humain uniquement en posant des questions et en analysant les réponses correspondantes. Pour ce faire, un élève joue le rôle d'un ordinateur et un autre celui d'un humain. Ils sont interrogés par leurs camarades et, en fonction de leurs réponses, la classe doit déterminer qui représente quel rôle.

*Cette activité est issue des originaux de CS Unplugged. Ceux-ci sont sous licence Creative Commons CC-BY-SA par Bell, Witten et Fellows. Le matériel original a été librement traduit et adapté dans la présente description.*

## Contexte

Depuis des siècles, les philosophes se demandent si une machine peut avoir une intelligence humaine ou si le cerveau humain n'est pas simplement une très bonne machine. Certains considèrent l'intelligence artificielle comme une idée absurde, d'autres pensent que nous finirons par développer des machines aussi intelligentes que nous. L'intelligence artificielle a beaucoup de potentiel, mais d'un autre côté, l'idée de machines intelligentes attise aussi les craintes.

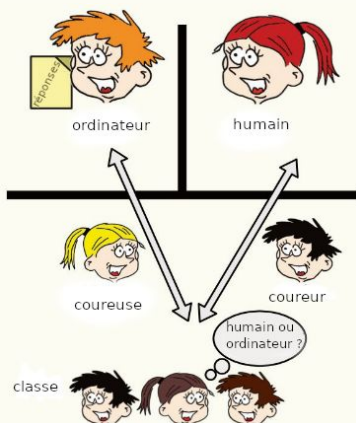


Fig. 15: Configuration du test de Turing

## Déroulement

Avant le jeu, demandez aux élèves s'ils pensent que les ordinateurs sont intelligents ou s'ils pensent qu'ils le seront un jour. Demandez-leur comment ils pourraient décider si un ordinateur est intelligent et présentez-leur brièvement le test de Turing, qui est reproduit dans l'activité.

Avant de commencer l'activité proprement dite, quatre élèves volontaires sont désignés et jouent les rôles de l'ordinateur et de la personne (voir figure 15). Il y a également deux coureurs qui assurent le

déroulement équitable du jeu et qui sont équipés d'un papier et d'un stylo pour noter les réponses. Les rôles de l'homme et de l'ordinateur sont attribués en secret par l'enseignant avant que ces deux élèves ne quittent la salle de classe pour se rendre dans deux pièces séparées (une autre solution consiste à utiliser une cloison, mais il faut s'assurer que les élèves ne se voient pas). L'élève qui joue le rôle de l'ordinateur y reçoit une copie des réponses aux questions du test de Turing. Chacun des coureurs est responsable d'un rôle, celui pour lequel il est également tenu secret.

La classe doit maintenant trouver quel élève a pris le rôle de l'ordinateur. Pour ce faire, elle choisit sur la feuille de travail distribuée une question par tour à poser à l'ordinateur et à l'homme. Après avoir choisi une question, les élèves doivent d'abord expliquer pourquoi ils pensent que cette question est appropriée pour distinguer l'ordinateur de l'homme. Cette argumentation est l'élément central de cette tâche, car elle permet à la classe de réfléchir à la différence entre les réponses d'une personne et celles d'un ordinateur « intelligent ».

La question est ensuite transmise par les coureurs à leurs camarades dans les autres salles, puis les réponses sont rapportées en classe par les coureurs. L'homme doit répondre brièvement et honnêtement à la question posée, c'est-à-dire donner une réponse humaine. L'ordinateur, quant à lui, choisit la réponse correspondante sur la feuille de travail. Si les instructions sont écrites en italique, l'ordinateur doit élaborer lui-même une réponse (par exemple, indiquer l'heure actuelle).

Lors de la transmission des réponses données, les coureurs doivent faire particulièrement attention à ne pas révéler avec qui ils interagissent.

La classe discute maintenant de la réponse qui provient probablement d'un ordinateur. Répétez le processus avec quelques autres questions, si possible jusqu'à ce que la classe puisse prendre une décision claire sur l'identité de l'ordinateur. Si la classe ne peut pas distinguer de manière fiable l'homme de l'ordinateur, l'ordinateur a réussi le test de Turing.

### *Sur le fond*

Bien qu'aucun programme informatique actuel ne dispose d'une sorte d'intelligence générale, la question de savoir si les ordinateurs en sont fondamentalement capables reste sans réponse. Cela est dû en grande partie au fait que la définition de l'intelligence fait déjà l'objet de controverses.

C'est dans ce contexte que le mathématicien britannique Alan Turing a proposé en 1950 une méthode permettant de déterminer l'intelligence d'une machine sans avoir besoin d'une définition précise de l'intelligence. Ce test, appelé test de Turing, permet à l'ordinateur de démontrer son « intelligence ». Le scénario du test ressemble à l'activité décrite ci-dessus : une personne qui pose une question interagit à la fois avec une personne et avec un ordinateur via un chat. Si elle ou il ne peut pas distinguer les deux de manière fiable, l'ordinateur a réussi le test de Turing. Comme la communication se fait par chat, l'ordinateur ne peut pas se trahir par des caractéristiques physiques, comme le ton de la voix. Un exemple connu d'un tel système d'interaction est le chatbot Eliza.

Les réponses données par un élève jouant le rôle d'un ordinateur ne sont pas sans rappeler celles générées par un programme informatique « intelligent ». Certaines réponses démasqueront très vite l'ordinateur : un humain sera difficilement capable de calculer la racine carrée de 2 avec 20 décimales exactes. D'autres questions, pour lesquelles l'ordinateur utilise toujours un modèle de réponse particulier, ne se révèlent qu'après un certain temps. Par exemple, des réponses comme « Aimez-vous XY ? » ne sont pas inhabituelles lorsqu'elles sont examinées indépendamment. Cependant, lorsque plusieurs questions de ce type sont combinées, il devient évident que l'ordinateur utilise une approche stéréotypée pour générer des réponses à partir de ces questions. Les réponses peuvent également révéler une mauvaise interprétation de la question par l'ordinateur, bien que cela puisse bien sûr arriver à un humain. De nombreuses réponses sont vagues, et des précisions supplémentaires montreraient clairement que l'ordinateur n'a pas bien compris le contenu de la question. De plus, il est souvent plus sûr pour l'ordinateur de répondre « Je ne sais pas » (par exemple, lorsqu'on lui demande la racine carrée de 2). Cela confère une touche humaine, mais peut aussi exposer à des risques si cette tactique est utilisée trop souvent ou avec des questions trop simples. Des réponses tardives ou incorrectes, par exemple à des problèmes d'arithmétique, peuvent également induire en erreur l'interlocuteur pendant une longue période. Ainsi, si les ordinateurs sont capables de suggérer une capacité conversationnelle par des réponses stéréotypées, en reproduisant les déclarations de l'interlocuteur, en répondant à des mots clés, en utilisant des expressions idiomatiques et en répétant des sujets, il ne s'agit là que d'une façade facilement détectable.

# D'autres suggestions

*Les liens et les détails sur ces activités peuvent être trouvés sur notre site Web.*

## **Reconnaissance faciale**

Notre porte d'entrée nous distingue du facteur, notre logiciel de gestion de photos marque automatiquement nos amis : la reconnaissance faciale est une application bien connue de l'IA. Cette technologie devrait être suffisamment robuste pour nous reconnaître même en hiver, même avec un chapeau, et en été, même avec des lunettes de soleil. Cette activité enseigne ce principe à l'aide de personnages de dessins animés.

## **Singes, Singes de Sherlock**

Comment représenter la connaissance de manière à ce qu'un ordinateur puisse la « comprendre » et en tirer des conclusions logiques ? La logique et la représentation formelle de la connaissance jouent ici un rôle crucial ! Les systèmes d'IA ne sont donc pas véritablement « intelligents », mais utilisent simplement intelligemment diverses méthodes pour représenter la connaissance. Ce type de représentation de la connaissance peut également être illustré par des énigmes logiques : ces énigmes nécessitent la combinaison de différents faits selon certaines règles pour parvenir à une solution.

## **Cerveau dans un sac**

Dans cette activité, les élèves simuleront le fonctionnement d'un réseau neuronal à l'aide de ficelle et de rouleaux de papier toilette. Le réseau ainsi créé permettra ensuite de jouer à un jeu.

## **Apprentissage non supervisé**

En plus de l'apprentissage supervisé et par renforcement, il existe également des méthodes d'apprentissage dites non supervisées : les ordinateurs apprennent sans valeurs cibles connues au préalable et sans récompense. L'objectif est d'identifier des catégories (clients dépensiers dans les boutiques en ligne) ou des anomalies (activités suspectes sur les serveurs web) à partir d'un seul ensemble de points de données. Dessinez une grille de coordonnées à la craie (par exemple, dans la cour de récréation) et demandez à vos élèves de se positionner correctement dans la grille en utilisant les deux axes. Selon les axes sélectionnés, non seulement les clusters, mais aussi les valeurs aberrantes ou les anomalies peuvent être identifiés.



FRIEDRICH-ALEXANDER  
UNIVERSITÄT  
ERLANGEN-NÜRNBERG

## ***Mentions légales***

### **Éditeur:**

Chaire de didactique de l'informatique  
Friedrich- Alexander- Universität Erlangen- Nürnberg  
Martensstraße 3  
91058 Erlangen  
<https://aiunplugged.org>

### **Rédaction et mise en page:**

Annabel Lindner, Stefan Seegerer

### **Traduction:**

Stéphane Morandau

Sauf mention contraire, tous les textes et éléments graphiques de cette brochure (à l'exception du logo de la FAU) sont sous licence CC BY NC 3.0. Cela signifie notamment que vous pouvez modifier, reproduire et redistribuer ce contenu sous tout format et sur tout support, mais pas à des fins commerciales. Il vous suffit de citer l'auteur.