

Chapitre 3

Informatique et intelligence artificielle

« La science informatique n'est pas plus la science des ordinateurs que l'astronomie n'est celle des télescopes. » – Hal Abelson, membre fondateur de la Free Software Foundation et Creative Commons.

L'informatique désigne les domaines scientifiques et techniques concernant la compréhension et le traitement automatique de l'information par des programmes exécutés sur des machines, mécaniques dans un premier temps, puis électroniques avec le développement technologique.

Discussions :

- Donner des exemples historiques de supports de l'information et d'automatisation de traitement de celle-ci.
- Donner des exemples actuels de la présence de plus en plus importante de l'informatique dans nos vies (supports et traitements).

3.1 Un bref historique

3.1.1 Jadis...

Depuis l'antiquité, l'être humain crée des machines l'aidant ou le remplaçant dans certaines tâches, notamment le calcul – on pensera au boulier. Toutefois, ces machines n'exécutaient pas seules les calculs ou tâches à effectuer, c'est l'humain qui devait les réaliser à l'aide de celles-ci.

L'une des premières machines à calculer connue fut imaginée par Blaise Pascal en 1642 avant d'être commercialisée : la Pascaline.

Le métier à tisser Jacquard mis au point en 1801 par le français Joseph Jacquard est le premier système mécanique programmable par carte perforée (feuille de papier où l'information est contenue sous la forme présence / absence de trous) ; les gains de productivité et la diminution du besoin de main d'œuvre qui en découlent ne furent pas appréciés par les ouvriers de l'époque, ce qui entraîna la Révolte des canuts.

À la fin du 19^e siècle, Herman Hollerith – futur fondateur d'IBM – invente une machine électromécanique permettant l'amélioration de l'utilisation de l'information sous la forme de cartes perforées et fonde ainsi la mécanographie. Le début du 20^e siècle est marqué par l'essor de cette technologie et l'équipement en celle-ci par diverses nations, notamment en Europe.

3.1.2 Alan Turing et Enigma

L'informatique naît un peu avant la Seconde Guerre mondiale avec le mathématicien Alan Turing. Il conceptualisa en 1936 un modèle abstrait du fonctionnement des appareils mécaniques dont font partie les ordinateurs : la machine de Turing.

Lors de la Seconde Guerre mondiale, il participa à un projet britannique regroupant plusieurs mathématiciens et informaticiens visant à craquer les codes secrets allemands encodés par la machine Enigma. La machine fabriquée lors de ce projet (notamment à partir de travaux polonais datant d'avant guerre) et nommée Bombe permettra – à l'aide d'informations livrées par des réseaux résistants et d'erreurs commises par les armées de l'Axe – de décoder les messages chiffrés par Enigma et donc les communications des armées adverses donnant ainsi un avantage stratégique aux Alliés. Cet avantage, selon les estimations, permit d'écourter la guerre de deux ans.

Après la Seconde Guerre mondiale, inspiré par les travaux du mathématicien américano-hongrois John von Neumann décrivant l'architecture des ordinateurs modernes, Alan Turing travailla sur la fabrication des premiers modèles de ceux-ci. Parallèlement, il explora l'idée de l'intelligence artificielle et proposa en 1950 l'expérience connue aujourd'hui sous le nom de test de Turing visant à déterminer si une machine est consciente d'elle-même ou non.

★ Vidéos d'e-penser sur Alan Turing et Enigma et Passe Sciences sur la machine de Turing.

Discussions :

- Intérêts du chiffrement des communications et des informations à travers le temps ; moyens dont nous disposons aujourd'hui.
- Décisions stratégiques lors du déchiffrement d'un code secret de communication.

Suggestion de film : Imitation Game.

3.1.3 Développement de l'informatique moderne

Après la Seconde Guerre mondiale, les inventions du transistor et du circuit intégré permirent le remplacement de composant électromécanique des machines de calculs. Ces dernières devinrent alors plus petites, complexes, fiables et économiques.

La mise en œuvre de l'architecture de von Neumann permit aux machines de commencer à calculer d'exécuter des programmes de nature algorithmique, menant ainsi aux ordinateurs tels que l'on les connaît aujourd'hui.

La conquête spatiale – notamment le programme Apollo – et l'essor des télécommunications – avec les projets ARPANET et Cyclades faisant aujourd'hui figures d'ancêtres d'Internet – alimentèrent le développement de l'informatique et sa généralisation à l'ensemble des secteurs de la société.

En France, l'informatique s'est considérablement développée grâce à des plans nationaux de recherches, d'enseignements et de nationalisation d'entreprises stratégiques afin d'établir une souveraineté et une indépendance dans ce domaine.

Suggestion de film : Les Figures de l'ombre.

3.2 Programme informatique

Un programme informatique est un ensemble d'instructions – dans un certain langage – destinées à être exécutées par une machine susceptible de le comprendre en tant que tel. On peut considérer deux formes de programmes.

- Le programme binaire qui contient les instructions pour le microprocesseur. Il s'agit d'un langage machine au sens où celui-ci est fait pour être compris et traité facilement par la machine mais pas par un être humain.
- Le programme source qui est écrit par un être humain et donc « facile » à comprendre par celui-ci. Le programme source doit d'abord être transformé en langage machine avant que celle-ci ne puisse l'exécuter. Il existe deux méthodes de transformation d'un programme source en programme binaire : la compilation (qui lit le programme en entier avant de le transformer en langage machine) et l'interprétation (qui lit le programme ligne par ligne, transformant chacune d'entre elles en langage machine pour celle-ci l'exécute avant de passer à la ligne suivante).

Les programmes sont donc présents à tous les niveaux d'un ordinateur, que ce soit au niveau machine ou logiciel en passant par le système d'exploitation. Le système d'exploitation (ou OS pour Operating System) fait l'interface entre les logiciels et le matériel, c'est lui que l'on voit en allumant l'ordinateur. Un fichier contenant un programme directement identifiable et utilisable par l'OS est appelé fichier exécutable ; tous ne le sont pas, certains fichiers contiennent des programmes qui ne sont pas directement compris par l'OS mais par un logiciel tiers tandis que d'autres fichiers peuvent juste contenir des données.

La programmation intègre plusieurs problématiques ou objectifs au delà de la finalité du programme. Le langage de programmation choisi est important, certains langages conviennent mieux que d'autres ou sont spécialisés pour des situations données. Un programme doit être « facile » à lire (à l'aide de commentaires, d'une bonne structure) et à modifier pour le programmeur et d'autres programmeurs (travaillant en même temps sur le programme ou après) ; on peut parler de convivialité. Il doit être également le plus possible : léger, efficace, robuste, portable... Les programmes sont testés de grands nombres de fois, cependant, au regard des tailles importantes de certains, la présence de bugs apparaît comme inévitable.

Programme	Pacemaker	Bactérie	Boeing 787	Linux 3.1	Windows 7	Facebook
Lignes de codes	80000	1,1M	14M	15M	40M	62M

Source : informationisbeautiful.net.

Discussion : Quels sont les langages et systèmes d'exploitation que vous connaissez ?

Exercice : un site vous permet d'acheter des amis Facebook aux tarifs suivants :

Nombre d'amis	Entre 0 et 999	Entre 1000 et 9999	Plus de 10000
Prix d'un ami en €	0,9	0,5	0,25

Écrire un algorithme ou un programme Python donnant le prix total en fonction du nombre d'amis souhaité. Proposer un jeu de données pour tester l'algorithme.

Exercice : Le programme ci-contre écrit en Python a pour but de calculer et d'afficher les carrés des entiers entre 1 et 20.

1. Tester le programme. Quel constat peut-on faire ?
2. Corriger le programme.

```
n=1
while n<21 :
    print(n*n)
    n=n+1
```

Exercice : Le programme ci-contre écrit en Python a pour but de déterminer si un nombre est premier ou non. La commande `n%k` désigne le reste de la division euclidienne de `n` par `k` et donc `n%k==0` teste si ce reste est égal à 0 ou non.

1. Tester le programme pour `n=2`, `n=3` et `n=4`.
2. Faut-il corriger ce programme ? Si oui, comment ?

```
n=5
réponse="premier"
for k in range(1,n-1) :
    if n%k==0 :
        réponse="pas premier"
print(réponse)
```

3.3 Taille d'un fichier

La taille d'un fichier informatique représente la quantité d'informations qu'il contient et s'exprime en octet (o, Ko kilooctet, Mo mégaoctet, Go gigaoctet, To téraoctet...). Un octet constitué de 8 bits chacun prenant soit la valeur 0, soit la valeur 1; il y a donc $2^8 = 256$ possibilités différentes de coder l'information ou des caractères contenus par un octet.

L'un des codages de caractères les plus utilisés fut l'ACSII sous 7 bits. Il codait les caractères alphanumériques, la ponctuation, l'espace... mais pas les caractères accentués ni les symboles de certaines langues, notamment asiatiques. Il connut une extension à 8 bits, donc 1o, afin de prendre en compte plus de caractère, en particulier les accents. Il a encore aujourd'hui une influence, notamment sur les noms de domaines et d'adresses mail où les accents sont rarement acceptés. Il a été remplacé par l'Unicode dont l'objectif est d'associer à chaque caractère de chaque langue un nom et un identifiant numérique afin de permettre des échanges de textes dans toutes les langues sur n'importe qu'elle plateforme ou logiciel.

Contenus / types de fichiers	Texte	Image	Audio	Vidéo
Ordre de grandeur de la taille du fichier	de 1o à 1Ko	de 10Ko à 1Mo	de 1Mo à 10Mo	de 10Mo à 1Go
Exemples de types de fichiers	.txt	.jpg, .png, .gif	.mp3, .flac	.avi, .mp4, .mkv

Exemple : La Bible contient environ quatre millions de caractères, au format texte numérique, elle pèserait donc environ 4Mo.

Remarque : certains de ces formats sont sous licence libre et d'autres sous licence propriétaire.

Discussions :

- Intérêts de la compression des fichiers à travers le temps.
- Intérêts des formats de fichiers libres (exemples).

3.4 Vers l'intelligence artificielle

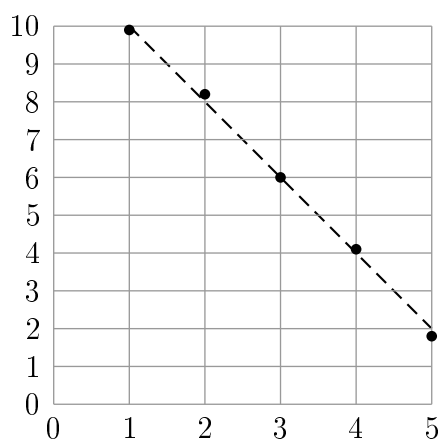
« On pourrait dire que l'IA est un ensemble de techniques permettant à des machines d'accomplir des tâches et de résoudre des problèmes normalement réservés aux humains et à certains animaux. » – Yann Le Cun, Yoshua Bengio et Geoffrey Hinton.

3.4.1 Corrélation et causalité

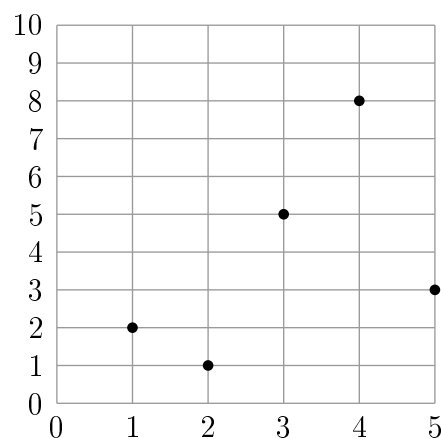
Deux quantités (ou plus) sont corrélées s'il existe un lien entre elles ; il s'agit du contraire de l'indépendance. On a une relation causale entre deux quantités ou phénomènes si l'un des deux entraîne (implique) l'autre, on parle de relation de cause à effet. La causalité est une forme de corrélation mais attention ! Une corrélation n'est pas forcément une causalité !

★ Vidéo de Defakator sur la corrélation et la causalité.

On peut dire ici que l'on a une corrélation entre les données x et y , les deux semblant être liées par une relation affine (droite).



Il semble ici qu'il n'y ait pas de lien entre les données x et y , aucune courbe évidente ne reliant les points du nuage.



Exercice : Le tableau ci-dessous contient les données sur le diamètre moyen du pin Douglas en fonction de son âge. Représenter le nuage de point associé puis à l'aide d'une courbe d'ajustement (que l'on pourra trouver à l'aide d'un tableur ou de la calculatrice) déterminer une estimation du diamètre moyen du pin à 40 ans et 60 ans.

Âge (en années)	20	25	30	35	42	50
Diamètre (en cm)	14,3	17,8	21	24,2	29,6	35,3

Exercice : Le glacier d'Aletsch, classé à l'UNESCO, est le plus grand glacier des Alpes ; situé dans le sud de la Suisse, il alimente la vallée du Rhône. Pour étudier le recul de ce glacier au fil des années, une première mesure a été effectuée en 1900 : ce glacier mesurait alors 25,6 km. Des relevés ont ensuite été effectués tous les 20 ans : le recul du glacier est mesuré par rapport à la position où se trouvait initialement le pied du glacier en 1900.

Les mesures successives ont été relevées dans le tableau ci-dessous. On note t la durée, en années, écoulée depuis 1900, et r le recul correspondant, mesuré en kilomètres.

Année de mesure	1900	1920	1940	1960	1980	2000
Temps écoulé depuis 1900	0	20	40	60	80	100
Recul (en km)	0	0,3	0,6	1	1,6	2,3

1. Représenter le nuage de points associé au tableau.
2. Chercher un ajustement linéaire de ce nuage.
3. Selon ce modèle, quel serait le recul du glacier en 2020 ? En quelle année le glacier Aletsch aura-t-il disparu ?
4. Répondre aux mêmes questions en utilisant un ajustement exponentiel.

Remarque : la recherche d'une corrélation entre deux quantités ne peut se passer du regard critique d'un expert, notamment à cause de facteurs de confusions qui peuvent faire apparaître des corrélations là où il n'y en a pas ou d'autres paradoxe statistiques tels que le paradoxe de Simpson.

★ Vidéo Science étonnante sur le paradoxe de Simpson.

3.4.2 Intelligence artificielle

Ce qu'est et ce que n'est pas l'IA

L'intelligence artificielle vise à reproduire à l'aide de machines des activités humaines, qu'elles soient de l'ordre de la compréhension, de la perception ou de la décision ; des activités comme localiser un objet dans une image, jouer aux échecs, conduire une voiture, traduire des textes, conduire un dialogue, établir un diagnostic...

Elle désigne autant un projet loin d'être achevé, celui d'imiter l'intelligence biologique, qu'un ensemble de techniques bien délimitées. Néanmoins, depuis quelques années, l'IA est souvent confondue avec l'apprentissage machine, qui n'en est qu'un sous-domaine, mais qui connaît aujourd'hui un grand essor notamment en raison de la capacité qu'il confère aux machines de traiter massivement des données (big data).

Toutefois, le terme d'intelligence artificielle peut s'avérer trompeur car les machines derrière celui-ci n'ont pas de réelle compréhension du monde et l'idéal de l'intelligence biologique est encore loin. Il faut garder à l'esprit que ces machines sont créées par des humains et comportent les biais et idéaux de ces derniers ; elles ne sont pas neutres, l'IA n'est pas neutre ni objective !

L'apprentissage machine

L'apprentissage machine – encore connu sous le nom d'apprentissage artificiel ou d'apprentissage automatique – est une branche commune de l'IA et des statistiques. Il consiste en des programmes capables d'ajuster leur comportement à des données dites d'entraînement. On fournit à une machine un très grand nombre de données et à partir de ces celles-ci, la machine s'entraîne (phase d'apprentissage ou d'entraînement) pour définir son comportement ultérieur (phase d'inférence).

Par exemple, si on voulait apprendre à une machine à reconnaître des images de chats sans avoir recours à de l'apprentissage machine (comme on l'aurait fait il y a 15 ans), on devrait écrire des procédures complexes pour détecter la présence des parties du corps caractéristiques d'un chat (tête, moustache, queue, etc..) et comment elles se situent les unes par rapport aux

autres : c'est une tâche très difficile ! Avec l'apprentissage machine, on fournit à l'algorithme d'apprentissage automatique un grand nombre d'images dont certaines contiennent des chats et d'autres n'en contiennent pas. L'algorithme détermine alors les paramètres qui permettront de distinguer les images de chats des autres : c'est la phase d'entraînement. Une fois la machine entraînée, on lui demande de décider si une nouvelle image proposée contient ou non un chat : c'est la partie d'inférence.

On peut ici souligner une différence notable avec l'apprentissage humain : s'il faut à un jeune enfant moins d'une dizaine d'images pour apprendre à identifier un chat, il en faut plusieurs milliers à une machine.

On distingue communément trois modalités principales d'apprentissage : l'apprentissage supervisé, l'apprentissage non supervisé et l'apprentissage par renforcement.

Apprentissage supervisé : Il consiste à apprendre à une machine à catégoriser des données à partir d'un grand nombre de données préalablement étiquetées par des êtres humains. Pendant la phase d'apprentissage, on calibre un algorithme en adaptant ses paramètres de catégorisation aux données fournies. On utilise ensuite cet algorithme pour catégoriser de nouvelles données. Parmi les méthodes d'apprentissage supervisé, l'apprentissage profond (deep learning) est très utilisé depuis les années 2010.

Apprentissage non supervisé : Il consiste à fournir à la machine un grand nombre de nombreuses données, non étiquetées. La machine y repère des régularités, des proximités, des corrélations pour construire elle-même son algorithme de classification.

Apprentissage par renforcement : Il consiste à plonger la machine dans un environnement donné où, à partir des règles de base qui lui sont données et de la répétitions d'expériences, celle-ci va apprendre en cherchant à maximiser l'obtention d'une récompense fournie en fonction de ses décisions.

3.4.3 Quelques méthodes d'apprentissage

Les courbes d'ajustement : Cette méthode repose sur un traitement statistique des données : celles-ci, fournies lors de la phase d'apprentissage, peuvent être représentées par un nuage de points. Des méthodes statistiques permettent d'ajuster ce nuage par une courbe (droite, parabole, exponentielle). Les paramètres de cette courbe sont déterminés à l'aide des données : c'est la phase d'entraînement. La connaissance de cette courbe permet alors de prédire des valeurs pour des points de mesure absents : c'est la phase d'inférence.

Il s'agit d'une recherche de corrélation entre diverses quantités comme on a pu le voir plus haut.

L'inférence bayésienne : Cela consiste à déterminer la probabilité que telle ou telle hypothèse soit vraie à partir des observations effectuées. Elle s'appuie sur les probabilités conditionnelles et notamment le théorème de Bayes.

★ Vidéo de Hygiène mentale sur la pensée bayésienne.

L'algorithme des plus proches voisins : On suppose que les données d'apprentissage sont classifiées en catégories (A, B, C...). On a une nouvelle donnée que l'on souhaite placer dans l'une de ces catégories. Pour cela, on calcule sa distance à chacune des données déjà étiquetées et on lui attribue la catégorie de son plus proche voisin (B par exemple).

★ Vidéos de Science étonnante sur le deep learning, l'IA et les protéines et l'IA et la créativité.

3.5 Informatique et éthique

Comme mentionné précédemment, il est erroné et dangereux d'attribuer à l'IA et à l'informatique un caractère objectif au motif que les résultats obtenus sont attribués à une machine. Ces machines sont construites par des humains avec leurs biais, idéaux, croyances, buts... La machine n'est donc pas neutre mais contient une part de subjectivité due à ses créateurs.

Par ailleurs, le respect de la quantité et de la représentativité des données est essentiel pour une bonne utilisation de l'IA dans la prise de décision. Des résultats discriminatoires fournis par des algorithmes d'IA peuvent s'expliquer en partie par des données biaisées. Par exemple, un algorithme de classement de CV ayant appris sur la base des recrutements antérieurs d'une société risque, en l'automatisant, de renforcer le sous-recrutement des femmes ou de certaines ethnies à des postes à responsabilité.

L'IA occupe une place de plus en plus importante dans de nombreux domaines par l'assistance qu'elle peut apporter à la prise de décision : santé (médecine personnalisée, tests de dépistage et de diagnostic), commerce, activités sociales, communications (traduction automatique de la langue, assistant vocal), transports (voitures autonomes), finance (décisions d'investissements), détection de fraudes, éducation (personnalisation des contenus), industrie (détection de défauts, robotique, gestion, etc).

Les questions éthiques posées par l'utilisation de l'IA sont nombreuses et continueront à croître parallèlement au développement de nouveaux algorithmes. Au-delà du choix des données déjà développé, se posent des questions relatives à l'usage de l'IA : comme toute technologie cette dernière peut être utilisée à des fins critiquables : surveillance civile, manipulations sur les réseaux sociaux et sites marchands.

En rendant possible la réalisation par la machine de tâches jusqu'alors réservées à l'homme elle questionne l'organisation économique et politique de la société. Le remplacement du travail humain par du travail machine amène à la destruction d'emplois qui ne sont pas nécessairement recréés. Pour une société dans laquelle la répartition de la richesse est principalement basée sur le travail salarié (marchand), cette destruction d'emplois signifie la création de précarité et de pauvreté à une échelle massive. Sa mise en œuvre est donc une question politique qui doit amener à des réflexions sur les intérêts qu'elle sert (privés, collectifs...) et de réels choix au lieu de l'acceptation d'un phénomène inéluctable et pseudo-naturel.

Par ailleurs, les technologies informatiques et plus particulièrement les IA sont gourmandes en matières premières et en énergie et sa massification apparaît comme difficilement compatible – pour ne pas dire incompatible – avec les crises écologiques à venir et les limites physiques terrestres.

- ★ Vidéos de Defakator sur les bulles filtres et le deepfake.
- ★ Vidéos de Datagueule sur l'algocratie, le travail et les réseaux sociaux.
- ★ Vidéo de Fouloscopie sur les jeux vidéos et la science.