

CHAPITRE 2: LES NOTIONS FONDAMENTALES DE L'AM

NEILA MEZGHANI
HIVER 2025



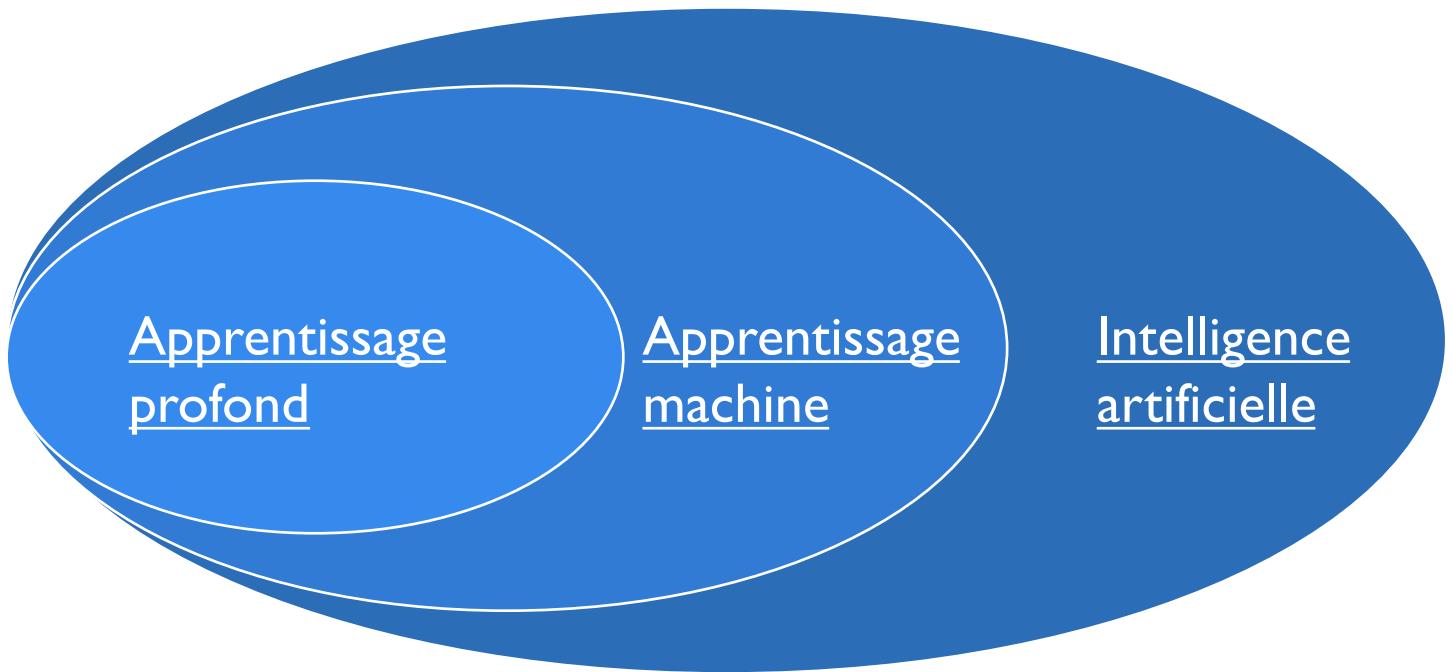
Plan du cours

1. Intelligence artificielle/apprentissage machine/apprentissage profond
2. Paradigme d'apprentissage machine
3. Les techniques d'apprentissage machine:
 - Apprentissage supervisé
 - Apprentissage non-supervisée
 - Apprentissage semi-supervisé
 - Apprentissage par renforcement
4. Applications de l'IA
5. Éthique et IA

Plan du cours

1. Intelligence artificielle/apprentissage machine/apprentissage profond
2. Paradigme d'apprentissage machine
3. Les techniques d'apprentissage machine:
 - Apprentissage supervisé
 - Apprentissage non-supervisée
 - Apprentissage semi-supervisé
 - Apprentissage par renforcement
4. Applications de l'IA
5. Éthique et IA

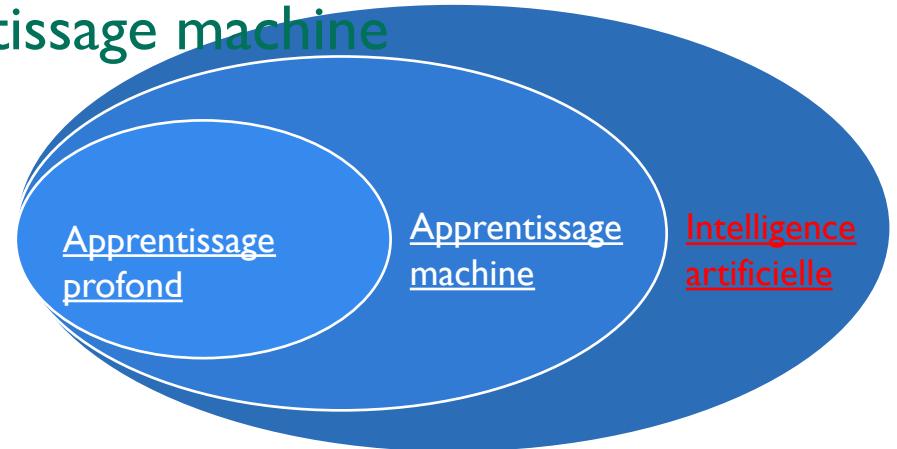
I. Intelligence artificielle/apprentissage machine /apprentissage profond



Trois termes que l'on rencontre souvent dans le paysage technologique actuel.

I. Intelligence artificielle/apprentissage machine /apprentissage profond

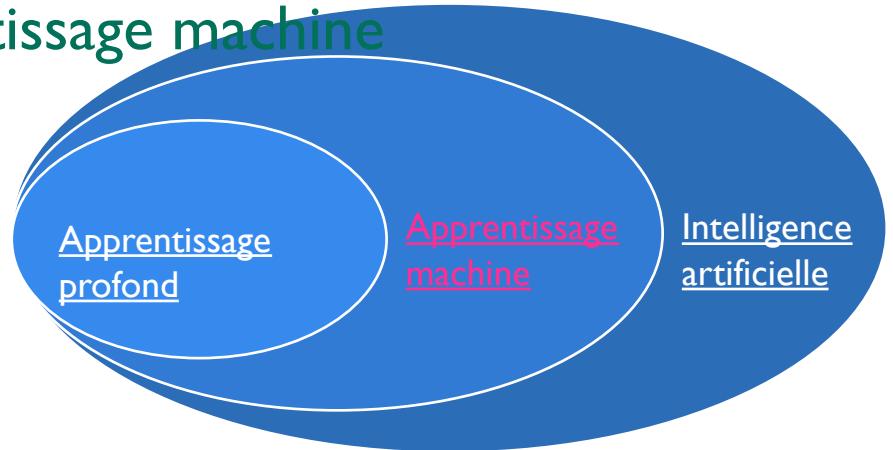
Intelligence artificielle



- Le terme « intelligence artificielle » a été imaginé en 1956 par des penseurs pionniers qui croyaient que les machines pouvaient « penser » de la même manière que les humains.
- Il y a eu des développements technologiques dans un domaine qui a été appelé « la science et l'ingénierie de la fabrication de machines intelligentes » mais qui a été suivi par l'hiver de l'IA vers les 1975 à cause de plusieurs échecs.
- L'IA se basait sur des règles explicites du type Si....Alors....
- Exemple: Les agents conversationnels, les systèmes experts

I. Intelligence artificielle/apprentissage machine /apprentissage profond

Apprentissage machine (1/3)

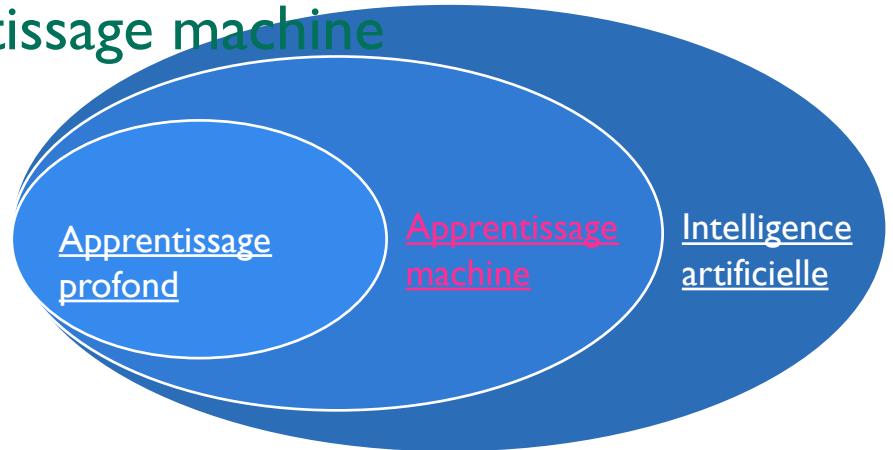


- Ensuite, est apparu un sous-domaine de l'intelligence artificielle qui est l'apprentissage machine.
- Parfois utilisé de manière interchangeable avec l'IA, mais c'est incorrect par ce qu'il s'agit juste d'un sous-ensemble de technique.
- Pourquoi?

Les programmes informatiques typiques accomplissent des tâches à l'aide d'instructions explicites fournies par un programmeur. Cependant, certaines tâches sont difficiles à résoudre avec une séquence explicite d'instructions. Par exemple reconnaître des pathologies à partir d'images médicales. On a donc besoin d'une compréhension implicite.

I. Intelligence artificielle/apprentissage machine /apprentissage profond

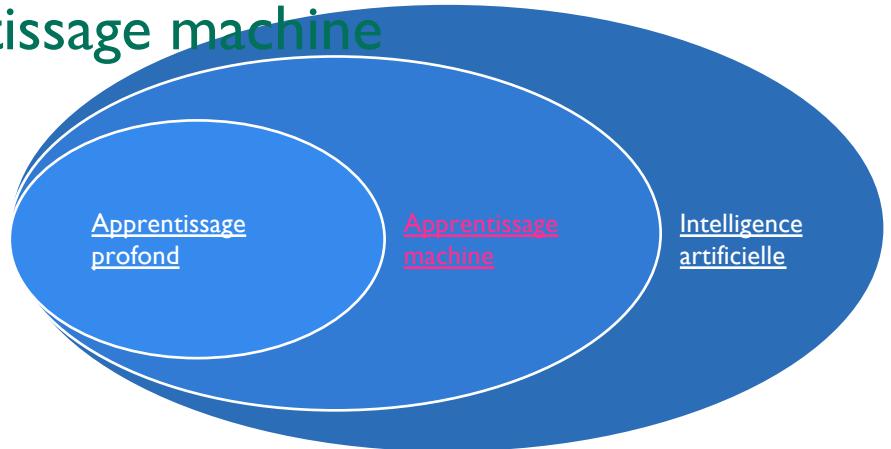
Apprentissage machine (2/3)



- C'est ce que font les algorithmes apprentissage machine pour réaliser des tâches spécifiques en utilisant des données plutôt que des instructions explicites. Pour ce faire, ils construisent un modèle mathématique basé sur des données, appelées « données d'entraînement », qui comprend les intrants et les extrants souhaités. ➔ En AM la machine apprend à partir des données et en IA on dicte au système des règles préprogrammées.

I. Intelligence artificielle/apprentissage machine /apprentissage profond

Apprentissage machine (3/3)



- Concrètement :

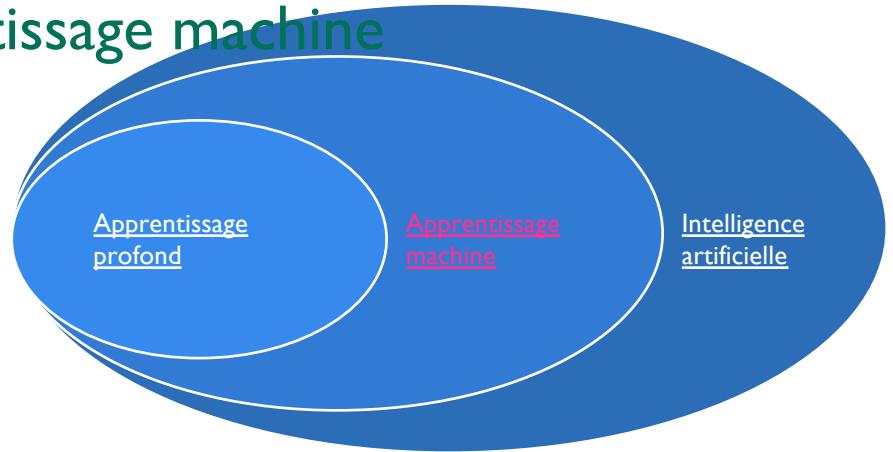
En AM la machine apprend à partir des données et en IA on dicte au système des règles préprogrammées.

Comme pour l'apprentissage d'une nouvelle langue, il y a deux approches possibles. On apprend une langue en l'utilisant dans la vie quotidienne ou bien essayer d'appliquer simplement des règles établies telles que « le mot X en français est le mot Y en anglais »

- Exemples: les SVM, les modèles de régression et les réseaux de neurones

I. Intelligence artificielle/apprentissage machine /apprentissage profond

Apprentissage profond



- L'apprentissage profond « Deep Learning », est un sous-ensemble du Machine Learning, basé sur des réseaux neuronaux artificiels.
- Le processus d'apprentissage est qualifié de profond parce que la structure des réseaux neuronaux artificiels se compose de plusieurs couches d'entrée, de sortie et masquées.
- Chaque couche contient des unités qui transforment les données d'entrée en informations que la couche suivante peut utiliser une tâche prédictive spécifique.
- Grâce à cette structure, une machine est capable d'apprendre au travers de son propre traitement de données.



Plan du cours

1. Intelligence artificielle/apprentissage machine/apprentissage profond
- 2. Paradigme d'apprentissage machine**
3. Les techniques d'apprentissage machine:
 - Apprentissage supervisé
 - Apprentissage non-supervisée
 - Apprentissage semi-supervisé
 - Apprentissage par renforcement
4. Applications de l'IA
5. Éthique et IA

2.Apprentissage machine

Définitions (1/2)



- « ... le processus par lequel un ordinateur acquiert de nouvelles connaissances et améliore son mode de fonctionnement en tenant compte des résultats obtenus lors de traitements antérieurs »
- «... étudie les techniques permettant de donner à la machine la capacité d'apprendre à partir d'expériences passées »
- Dans l'espoir que la machine puisse généraliser ce qu'elle a appris à une expérience future.

2. Apprentissage machine

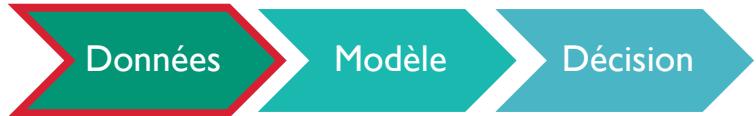
Définitions (2/2)

- Il s'agit d'un ensemble de méthodes qui permettent de construire un modèle de la réalité à partir de données, soit en améliorant un modèle existant moins général, soit en créant un nouveau modèle représentatif de nouvelles données.
- Le choix du modèle dépend essentiellement des données à analyser. Les paramètres du modèle sont déterminés durant la phase d'apprentissage en utilisant l'algorithme qui lui est spécifique.
- Les modèles servent à prendre des décisions.



2. Apprentissage machine

Données (1/5)



· Le mot **donnée** se définit de différentes façons dans la littérature selon les domaines et les champs d'application.

Une donnée est...

- un enregistrement caractérisé par un ensemble de champs (terminologie des bases de données).
- Un individu défini par un ensemble de caractéristiques ou de paramètres ou de variables (terminologie issue de la statistique).
- Une instance caractérisée par un ensemble d'attributs (terminologie orientée objet en informatique).
- Un point ou un vecteur caractérisé par ses coordonnées dans un espace vectoriel (terminologie de l'algèbre)

2. Apprentissage machine

Données (2/5)

Les données sont généralement représentées sous la forme d'un tableau rectangulaire (ou matrice) à N lignes représentant les individus et K colonnes correspondant aux variables. On note M la matrice de dimension (N, K) contenant les données.

$$M = \begin{pmatrix} x_1^1 & \dots & x_1^K \\ x_2^1 & \dots & x_2^K \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_N^1 & \dots & x_N^K \end{pmatrix}$$

où x_i^j est la valeur de l'individu i pour la variable j .

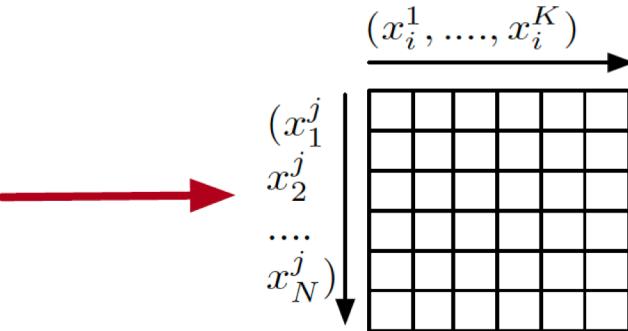
On notera $\mathbf{x}_i = (x_i^1, \dots, x_i^K)'$ le vecteur des variables de l'individu i et $\mathbf{x}^j = (x_1^j, \dots, x_N^j)'$ le vecteur des individus de la variable j .

2. Apprentissage machine

Données (3/5)

$$M = \begin{pmatrix} x_1^1 & \dots & x_1^K \\ x_2^1 & \dots & x_2^K \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_N^1 & \dots & x_N^K \end{pmatrix}$$

→ (x_i^1, \dots, x_i^K)



(x_1^j, \dots, x_N^j)

où x_i^j est la valeur de l'individu i pour la variable j .

On notera $\mathbf{x}_i = (x_i^1, \dots, x_i^K)'$ le vecteur des variables de l'individu i et $\mathbf{x}^j = (x_1^j, \dots, x_N^j)'$ le vecteur des individus de la variable j .

2. Apprentissage machine

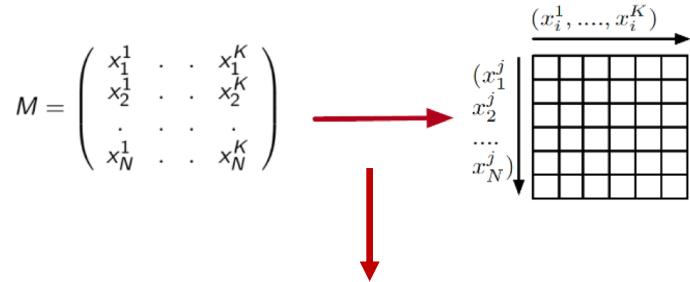
Données (4/5) : Exemple

- L'Internet des objets (Internet of thing ou IoT) = l'ensemble des objets physiques (ex. appareils, capteurs, supports de stockage) mis en réseau et communiquant entre eux via Internet.
- Exemples:
 - Les téléphones intelligents jusqu'aux vêtements et accessoires (ex. lunettes, montres, moniteurs médicaux)
 - Les domotiques = des systèmes pour le domicile (ex. thermostats, éclairage, sécurité, caméras, serrures) et les appareils ménagers (ex. réfrigérateurs)
- Dans le cas où l'IoT est une montre utilisée par un sportif. Les données peuvent être le nombre de pas, et la moyenne de la fréquence cardiaque au repos et la fréquence cardiaque en activité par jour.

2. Apprentissage machine

Données (5/5) : Exemple

- Dans le cas où l'IoT est une montre utilisée par un sportif. Les données peuvent être le nombre de pas (Nbr_pas), et la moyenne de la fréquence cardiaque au repos (FC_r) et la fréquence cardiaque en activité (FC_a) par jour.

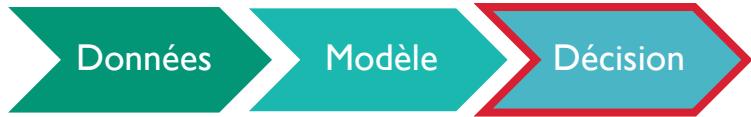


Jour	Nbr_pas	FC_r	FC_a
J1	10	70	80
J2	100	78	90
....			
JN	150	77	85

$$\rightarrow M = \begin{pmatrix} 10 & 70 & 80 \\ 100 & 78 & 90 \\ \dots & & \\ 150 & 77 & 85 \end{pmatrix}$$

2. Apprentissage machine

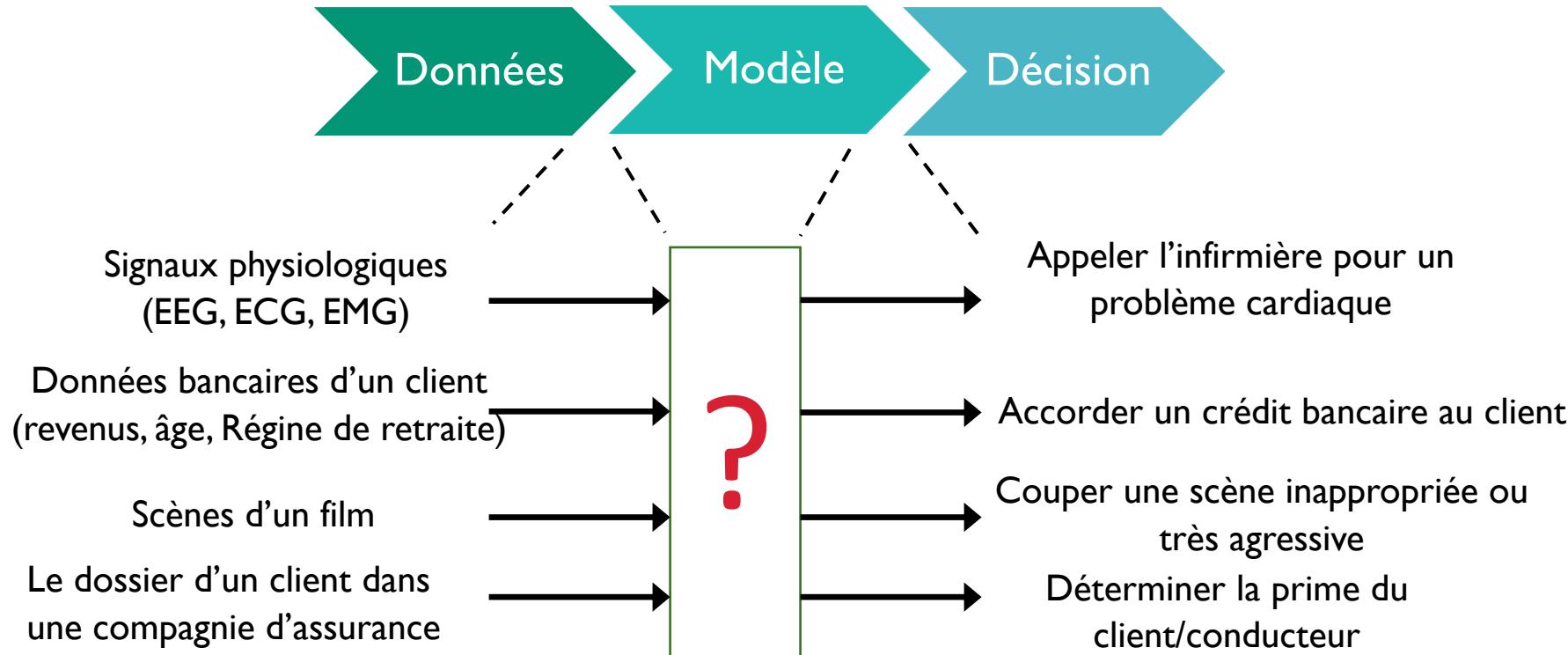
Décision



- À partir des données d'entrée, nous allons prendre des décisions.
- La décision à prendre dépend essentiellement de la problématique de l'apprentissage machine à résoudre.
- Exemples:
 - Décider de faire ou pas une chirurgie à un patient
 - Décider d'avancer ou pas un pion dans un jeu d'échecs

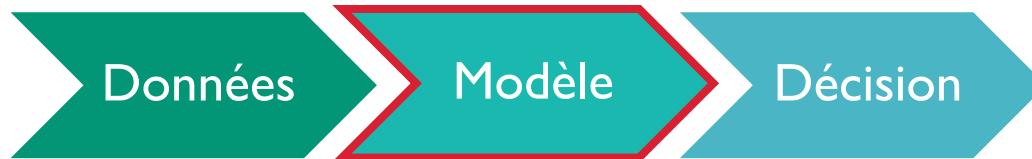
2. Apprentissage machine

Données → Décision



2. Apprentissage machine

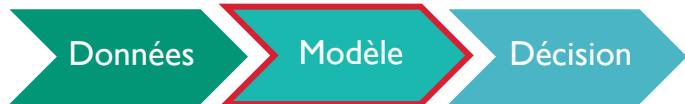
Modèle (1/5)



- C'est la fonction qui permet de renvoyer une décision à partir des données d'entrées (données d'apprentissage = données d'entraînement).
- La détermination du modèle est une étape importante de l'apprentissage machine.
- Il existe plusieurs modèles possibles dans la littérature parmi lesquels nous citons le modèle de Bayes et les réseaux de neurones

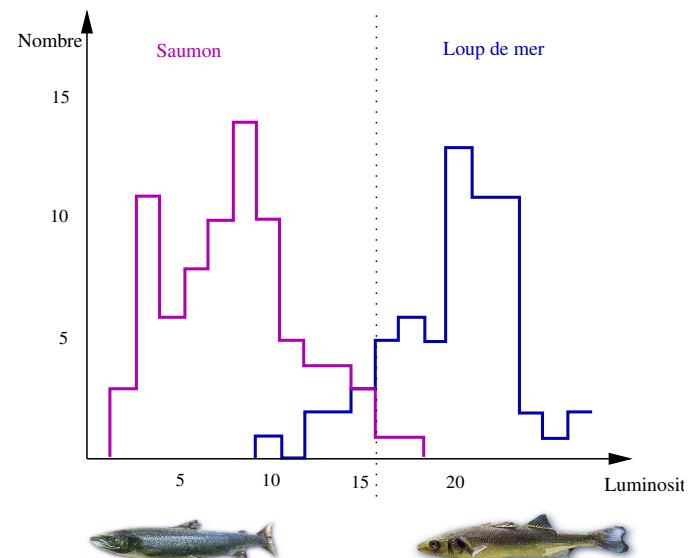
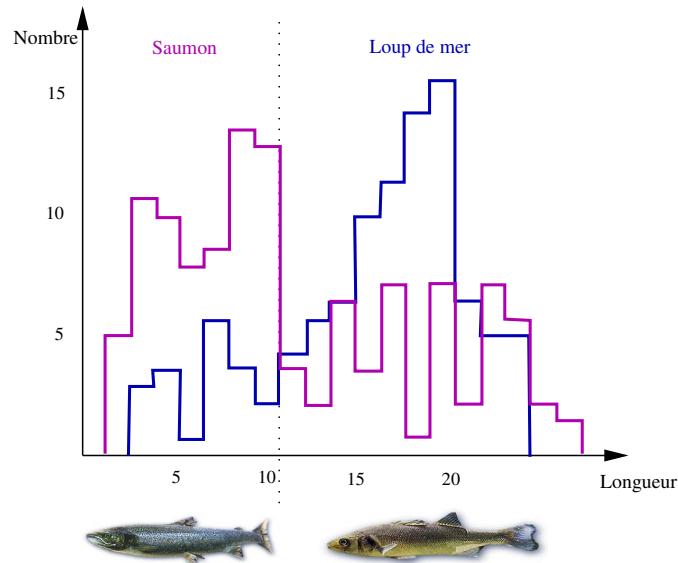
2. Apprentissage machine

Modèle (2/5)



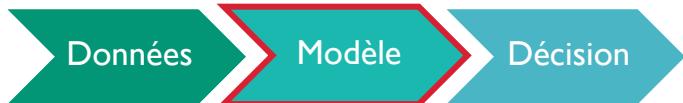
Exemple simple:

- Ensemble de poissons contenant des loups de mer et des saumons.
- Histogramme de la longueur des poissons et l'histogramme de la luminosité des poissons.



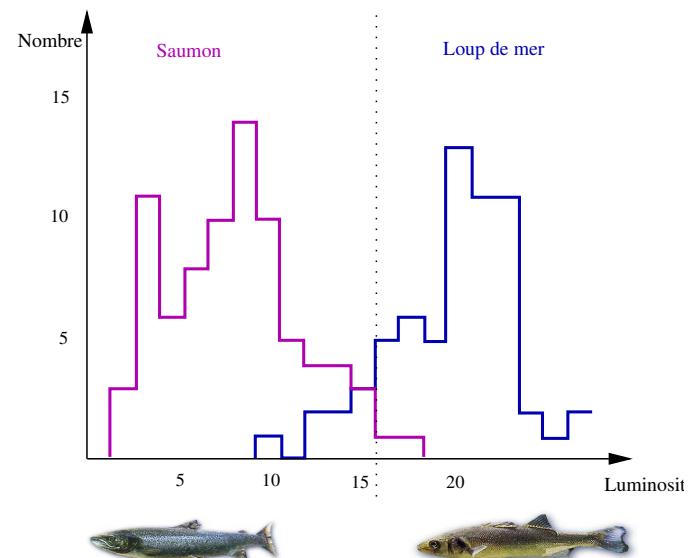
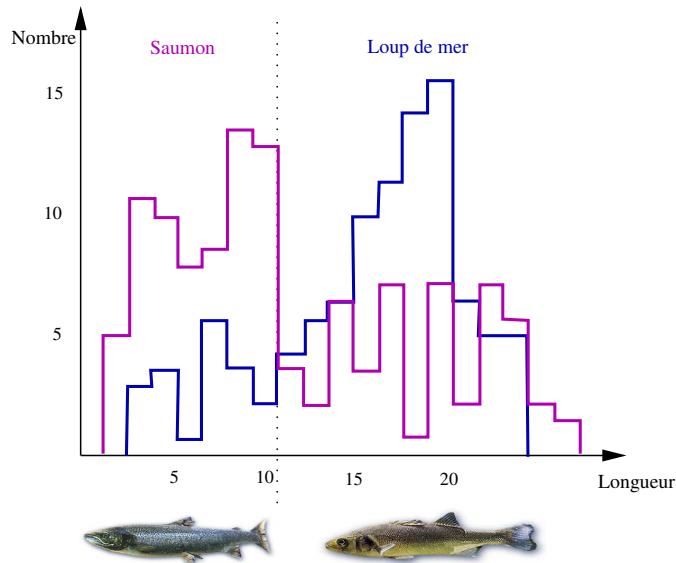
2. Apprentissage machine

Modèle (3/5)



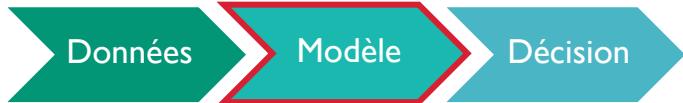
Hypothèses:

- Les loups de mer sont généralement plus longs que les saumons.
- Les loups de mer sont généralement plus clairs que les saumons.



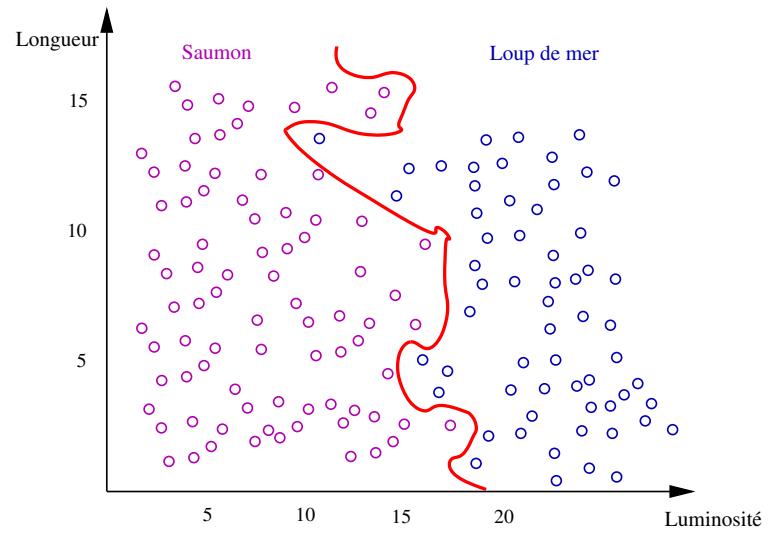
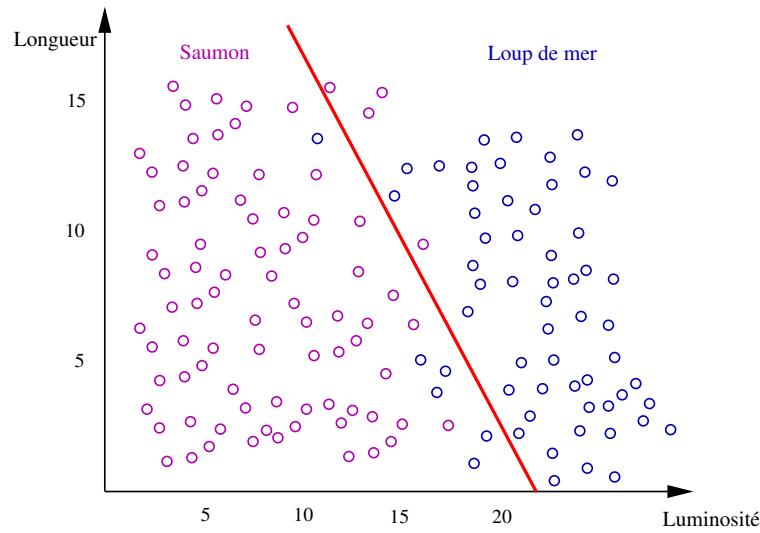
2. Apprentissage machine

Modèle (4/5)



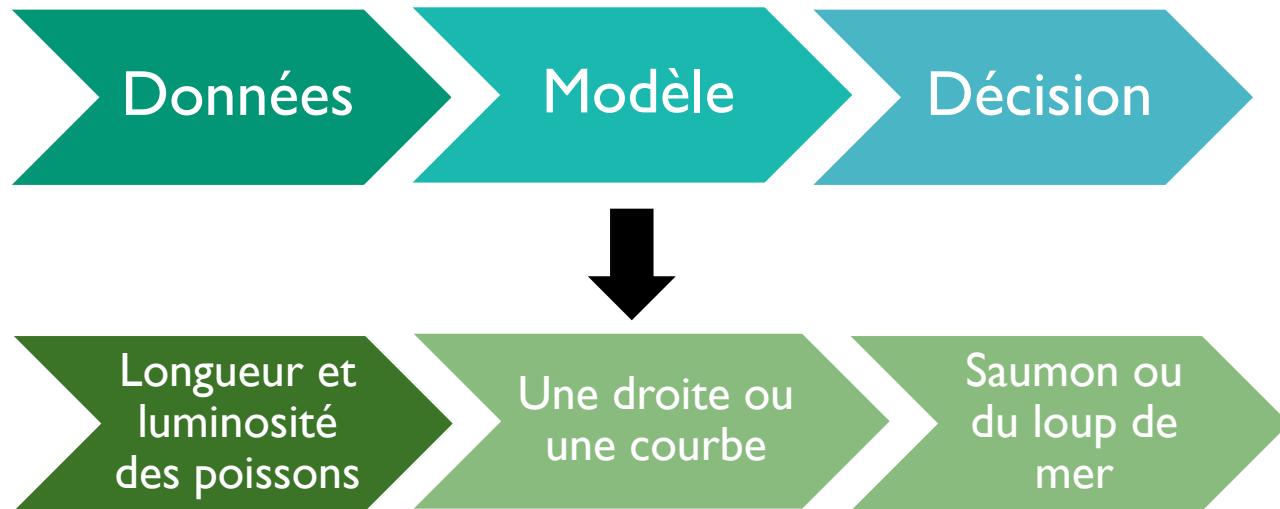
Modèles:

- Une droite qui sépare les deux types de poissons.
- Une courbe qui sépare encore mieux les deux types de poissons.



2. Apprentissage machine

Modèle (5/5)

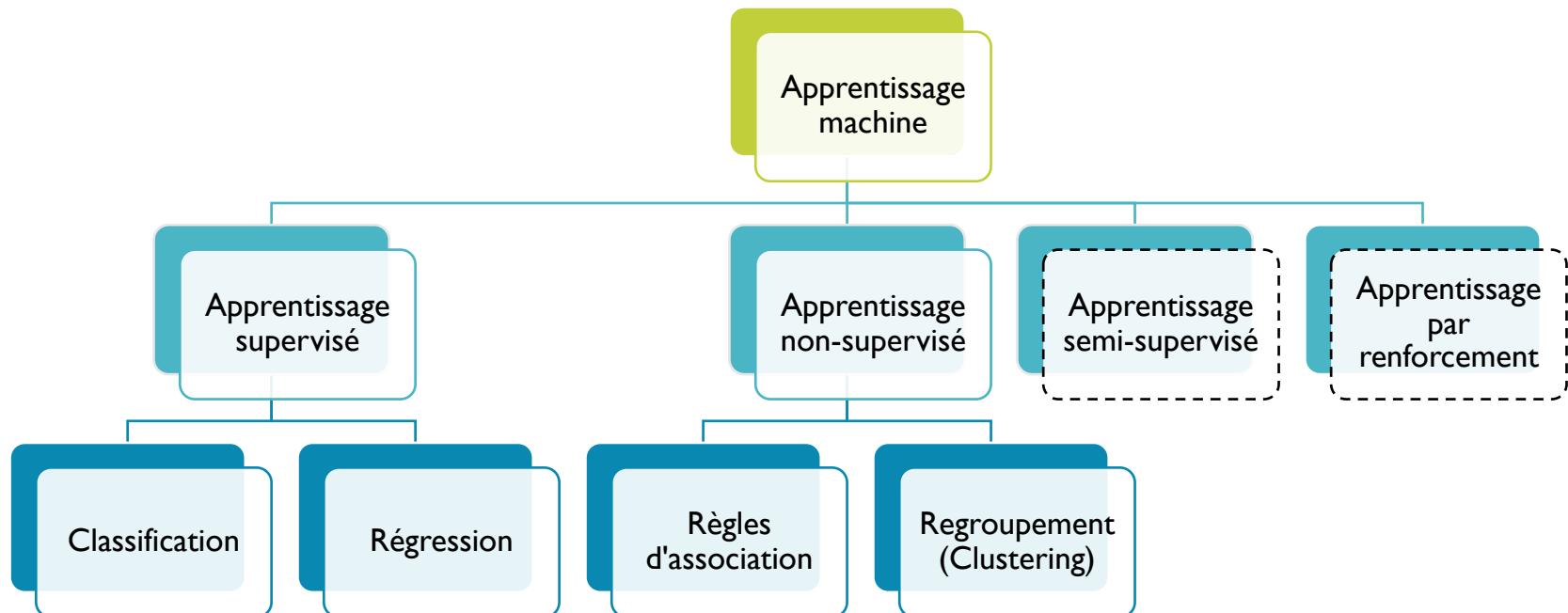


Comment déterminer la droite/courbe/frontière... optimale?

Plan du cours

1. Intelligence artificielle/apprentissage machine/apprentissage profond
2. Paradigme d'apprentissage machine
3. Les techniques d'apprentissage machine:
 - Apprentissage supervisé
 - Apprentissage non-supervisée
 - Apprentissage semi-supervisé
 - Apprentissage par renforcement
4. Applications de l'IA
5. Éthique et IA

3. Techniques d'apprentissage machine



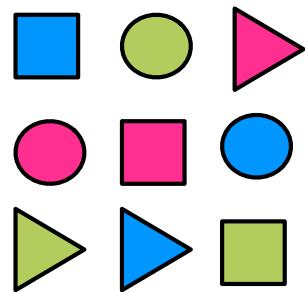
3. Techniques d'apprentissage machine

Apprentissage supervisé (1/4)

- Dans le cas d'un apprentissage supervisé (en anglais supervised learning), le système observe des couples de types entrée-sortie et apprend une fonction (un modèle) qui permet d'aboutir à la sortie à partir de l'entrée.
- Cette phase est appelée phase d'apprentissage ou d'entraînement. C'est en ce sens que l'apprentissage est appelé supervisé, métaphore qui signifie qu'un professeur apprend au système la sortie à fournir pour chaque entrée.
- Les données d'entrée et les données de sortie correspondantes (aussi appelées classes ou variable cible) sont connues (aussi dites labellisées ou étiquetées).
- Elles sont regroupées dans un ensemble de données appelées données d'apprentissage ou d'entraînement qui se présentent sous la forme de couples ($x_i; y_i$) avec $i < N$ avec N le nombre d'échantillons.

3. Techniques d'apprentissage machine

Apprentissage supervisé (2/4)



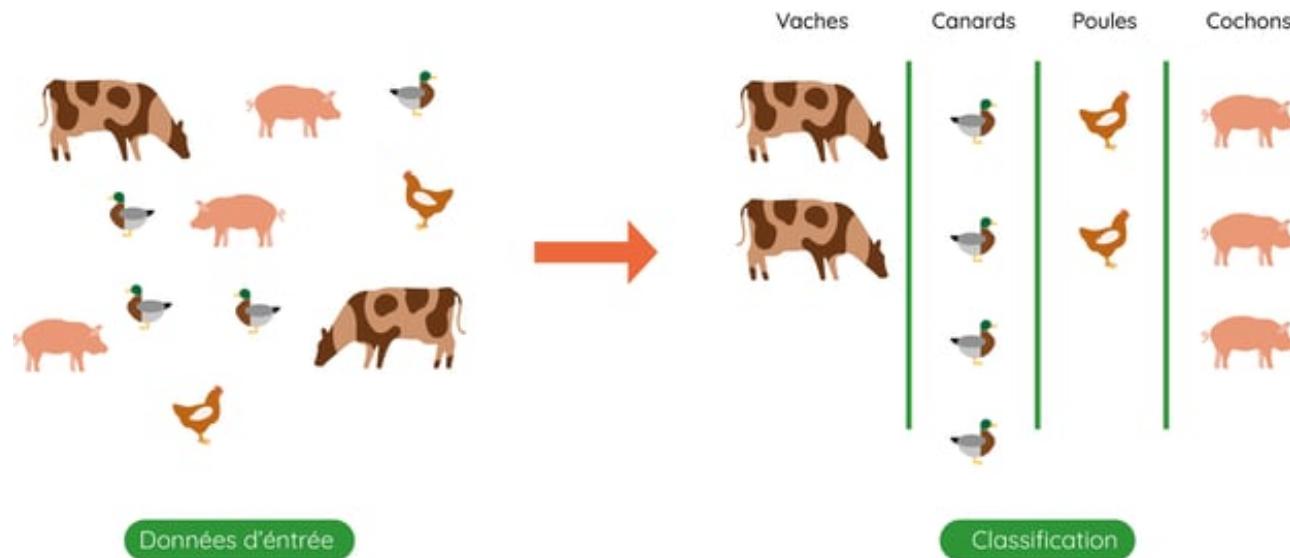
Apprentissage supervisé



- Rectangle
- Triangle
- Cercle
- Cercle

3. Techniques d'apprentissage machine

Apprentissage supervisé (3/4)



<https://www.dilepix.com/blog/difference-intelligence-artificielle-deep-learning-agriculture>

3. Techniques d'apprentissage machine

Apprentissage supervisé (4/4)

- Les techniques d'apprentissage supervisée trouvent leurs applications dans plusieurs domaines dont:
 - Vision par ordinateur : détecter une pathologie dans une image rayon-X
 - Reconnaissance de formes : reconnaissance de visage
 - Classification de formes : En finance et dans le secteur bancaire pour la détection de la fraude par carte de crédit (fraude, pas fraude).
 - Reconnaissance de l'écriture manuscrite : Identification des codes postaux
 - Reconnaissance vocale : authentification du client
 - Traitement automatique de la langue : traduction
- A52 – Algorithmes d'apprentissage supervisé

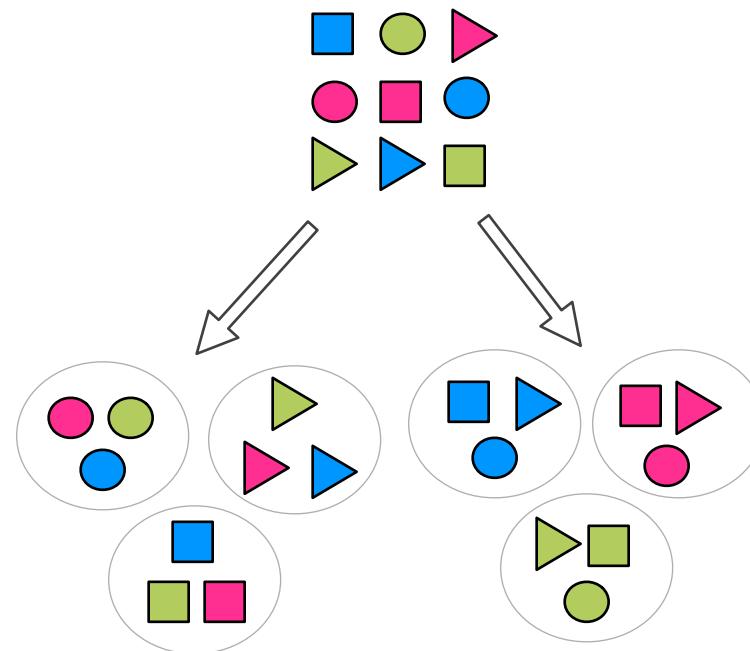
3. Techniques d'apprentissage machine

Apprentissage non-supervisé (1/5)

- Contrairement à l'apprentissage supervisé, dans le cas non supervisé les données de sortie ne sont pas connues (ne sont pas étiquetées).
- Le système apprend alors de lui-même à organiser les données ou à déterminer des structures dans les données.
- La tâche d'apprentissage la plus courante est le regroupement (clustering en anglais) qui consiste à regrouper les données d'entrées selon leurs caractéristiques communes.
- Ce type d'apprentissage est utilisé dans le but de visualiser ou explorer des données.

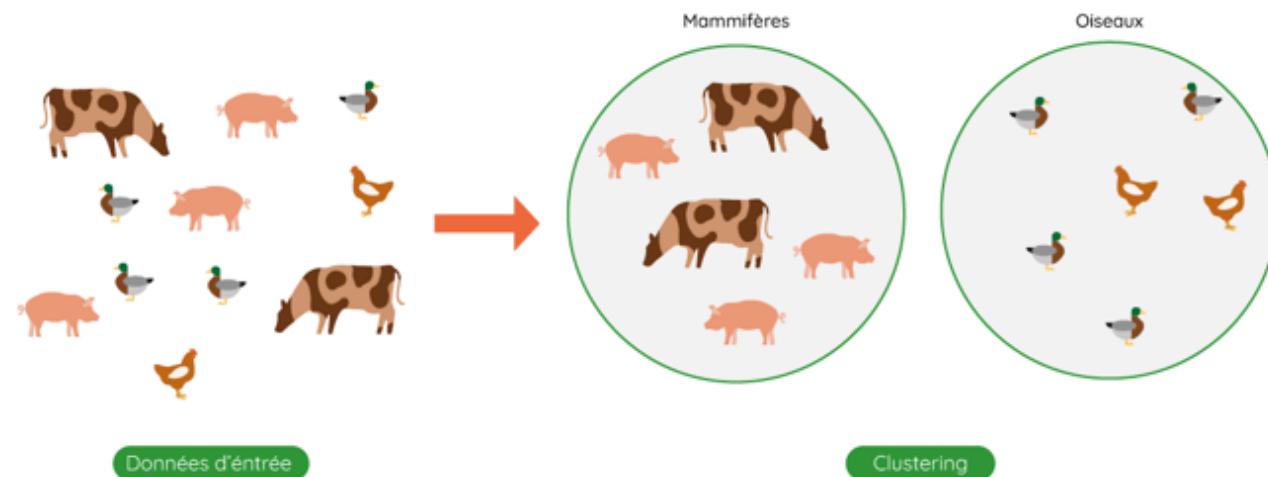
3. Techniques d'apprentissage machine

Apprentissage non-supervisé (2/5)



3. Techniques d'apprentissage machine

Apprentissage non-supervisé (3/5)



3. Techniques d'apprentissage machine

Apprentissage non-supervisé (4/5)

Exemple 3: Certains téléphones portables utilisent l'apprentissage non supervisé pour disposer de manière automatisée les photos → Le téléphone est capable d'identifier la même personne sur des photos ou trouver des lieux similaires afin de les ranger selon ces critères = du regroupement selon certains critères



3. Techniques d'apprentissage machine

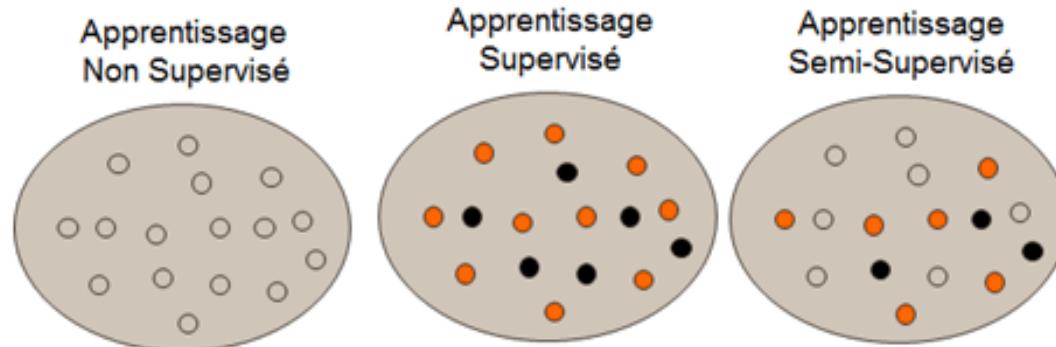
Apprentissage non-supervisé (5/5)

- Les techniques d'apprentissage non supervisé peuvent être utilisées pour résoudre, entre autres, les problèmes suivants :
 - Le partitionnement de données (par exemple avec l'algorithme des k-moyennes, le regroupement hiérarchique),
 - L'estimation de densité de distribution
 - La réduction de dimension (analyse en composantes principales, carte auto-adaptative)
- A58 – Algorithmes d'apprentissage non supervisé

3. Techniques d'apprentissage machine

Apprentissage semi-supervisé (1/2)

- L'apprentissage semi-supervisé se base sur un mélange de données étiquetées et non étiquetées.
- Il se situe ainsi entre l'apprentissage supervisé qui n'utilise que des données étiquetées et l'apprentissage non supervisé qui n'utilise que des données non étiquetées.

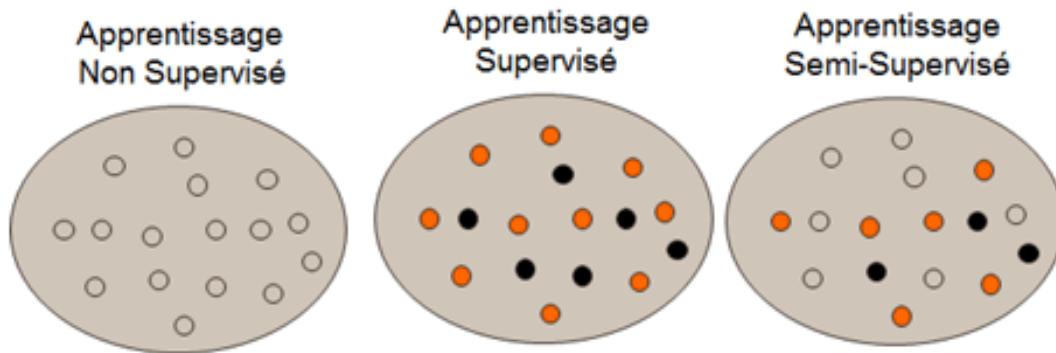


3. Techniques d'apprentissage machine

Apprentissage semi-supervisé (2/2)

Pourquoi?

- L'étiquetage de données nécessite souvent l'intervention d'un utilisateur humain. Lorsque les jeux de données deviennent très grands, cette opération peut s'avérer couteuse, répétitive et «time consuming» → l'apprentissage semi-supervisé, qui ne nécessite que quelques échantillons étiquetés à un intérêt pratique évident.

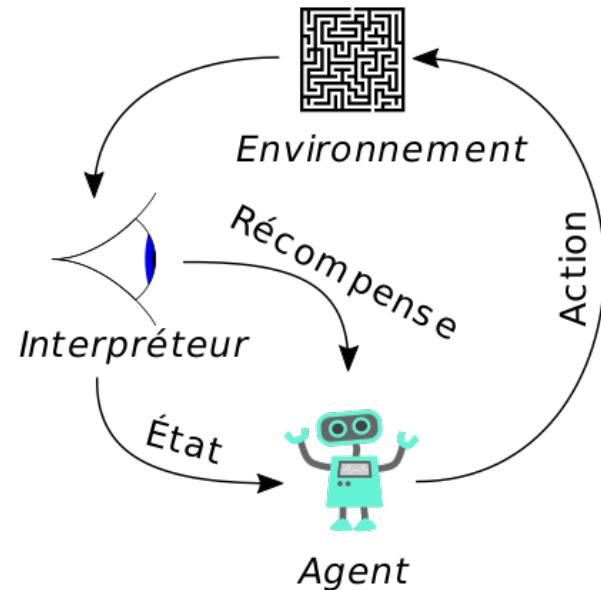


Exemple : une archive de photos dans laquelle seules certaines images sont étiquetées (chien, chat, personne, par exemple) et la plupart ne le sont pas.

3. Techniques d'apprentissage machine

Apprentissage par renforcement (1/2)

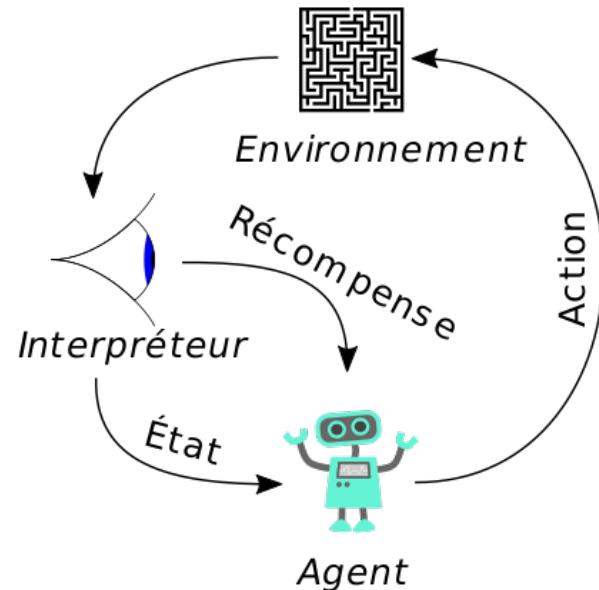
- L'apprentissage par renforcement se base sur des données d'entrée similaires à celles utilisées en apprentissage supervisé.
- Cependant dans ce cas, l'apprentissage est guidé par l'environnement sous la forme de récompenses (positive ou négative) calculées en fonction de l'erreur commise lors de l'apprentissage.
- A59 – Algorithmes d'apprentissage par renforcement



3. Techniques d'apprentissage machine

Apprentissage par renforcement (2/2)

- En robotique, l'apprentissage par renforcement a permis de mettre au point des robots plus autonomes et adaptatifs que ceux qui existaient auparavant.
- Exemples :
 - Un robot qui adapte sa façon de marcher en fonction de l'état du sol
 - Un robot qui apprend à maintenir un bâton en équilibre instable, un autre qui retourne les pancakes



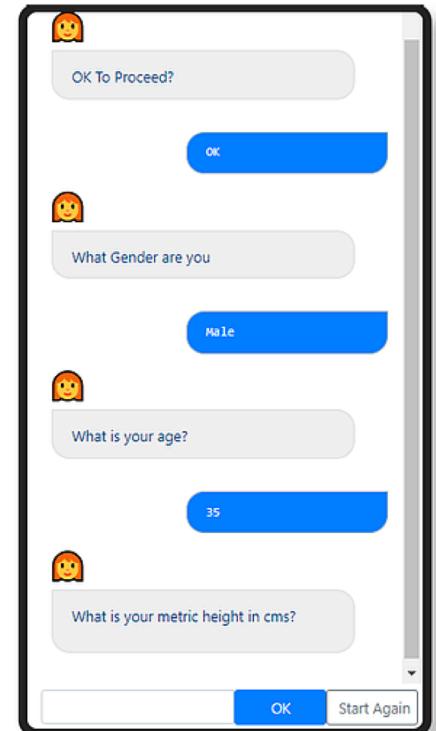
Plan du cours

1. Intelligence artificielle/apprentissage machine/apprentissage profond
2. Paradigme d'apprentissage machine
3. Les techniques d'apprentissage machine:
 - Apprentissage supervisé
 - Apprentissage non-supervisée
 - Apprentissage semi-supervisé
 - Apprentissage par renforcement
4. Applications de l'IA
5. Éthique et IA

4. Applications de l'IA

Systèmes expert d'aide médicale

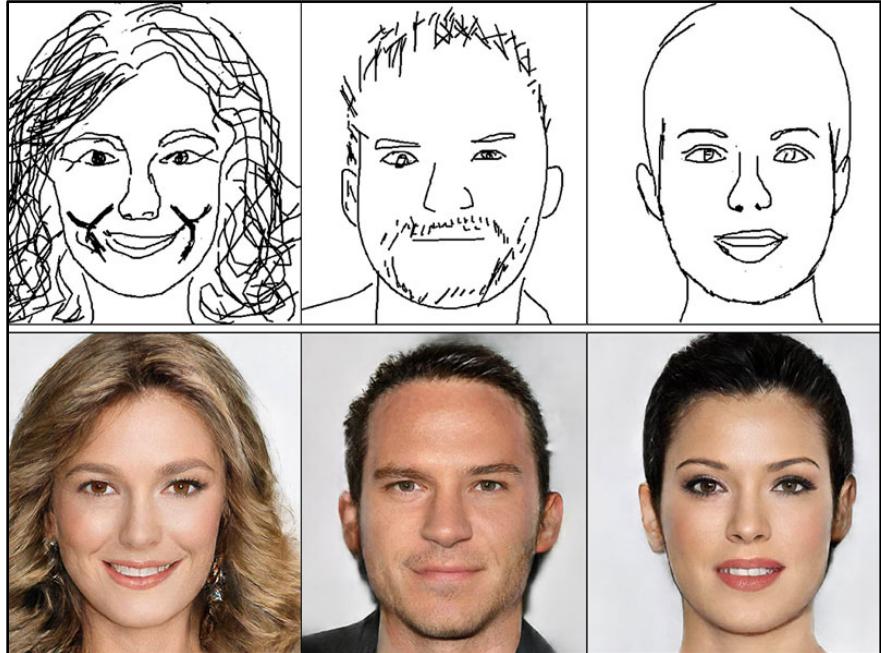
- VisiRule est un logiciel graphique facile à utiliser qui permet aux professionnels de la santé et aux médecins de définir et de fournir en ligne des conseils médicaux, des diagnostics et des plans de traitement personnalisés.
- VisiRule est basé sur la logique conditionnelle et constitue un candidat idéal pour représenter et exécuter la logique des protocoles cliniques établis.
- La logique de VisiRule peut également être utilisé pour aider à élaborer des plans de bien-être personnalisés en fonction de la situation et des aspirations personnelles des individus.



4. Applications de l'IA

Reconnaissance de visage

- Il existe actuellement plusieurs applications commercialisées pour la reconnaissance de visage
- À titre d'exemple, nous citons le système de reconnaissance faciale, DeepFace, développé par le réseau social Facebook dont la précision est à peine inférieure à ce que peut faire un humain



4. Applications de l'IA

La foresterie

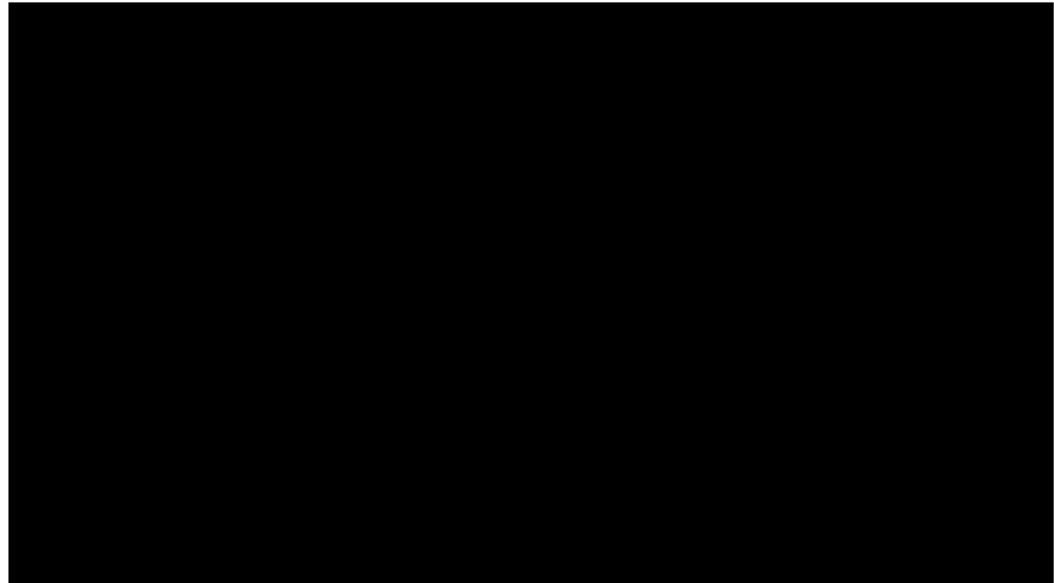
- Les techniques d'apprentissage machine touche également de domaine de la foresterie.
- Ces techniques sont utilisées afin d'identifier et de quantifier les arbres dans les forêts, de manières automatiques à partir d'une application installée sur un terminal mobile
- L'objectif étant d'aider les propriétaires fonciers, les groupes de conservation et les entreprises forestières à gérer leur inventaire et à préserver des habitats naturels précieux



4. Applications de l'IA

Les voitures autonomes

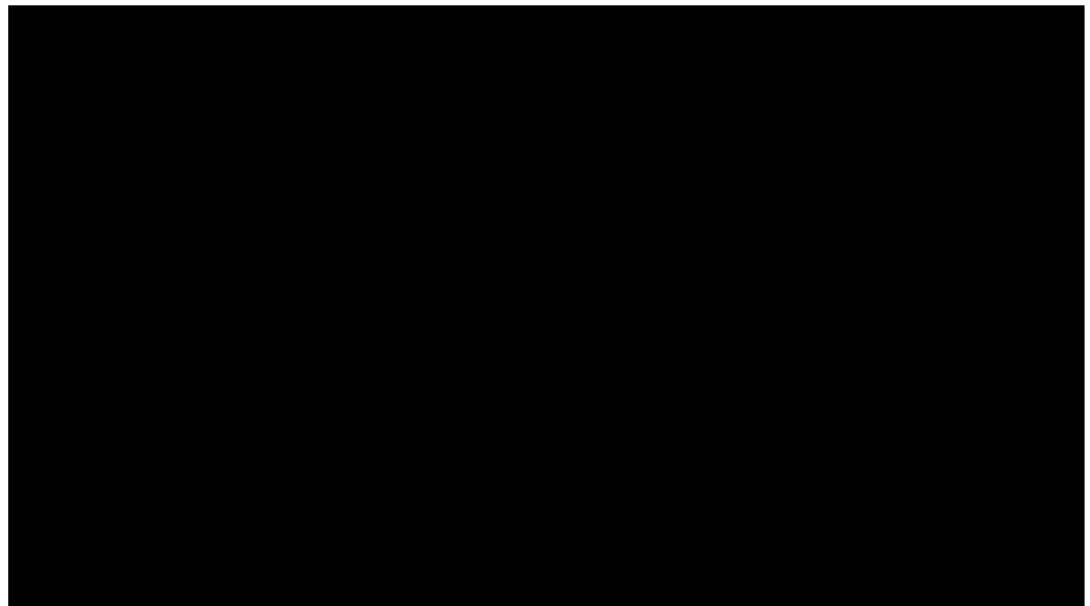
- Un véhicule autonome est un véhicule automobile capable de rouler, sur une route ouverte, sans intervention d'un conducteur.
- Il est équipé de capteurs d'images par caméras, radars, sonars, lidars, dont les données sont traitées par des processeurs et des logiciels dédiés
- En prenant en compte toutes les données, ces logiciels reconstituent la situation routière 3D par reconnaissance de formes (voies, véhicules, obstacles, panneaux, limites de chaussées) et emploient des algorithmes d'AM pour décider d'actions à réaliser sur les commandes du véhicule



4. Applications de l'IA

Secteur militaire

- Le secteur du militaire est aussi l'un des principaux utilisateurs de l'apprentissage machine.
- Exemple: BigDog est un robot quadrupède à l'allure d'un chien créé en 2005 par la société américaine Boston Dynamics en collaboration avec l'université Harvard.
- Il s'agit d'un robot destiné à accompagner les soldats en leur transportant du matériel dans des terrains trop irréguliers pour les véhicules.

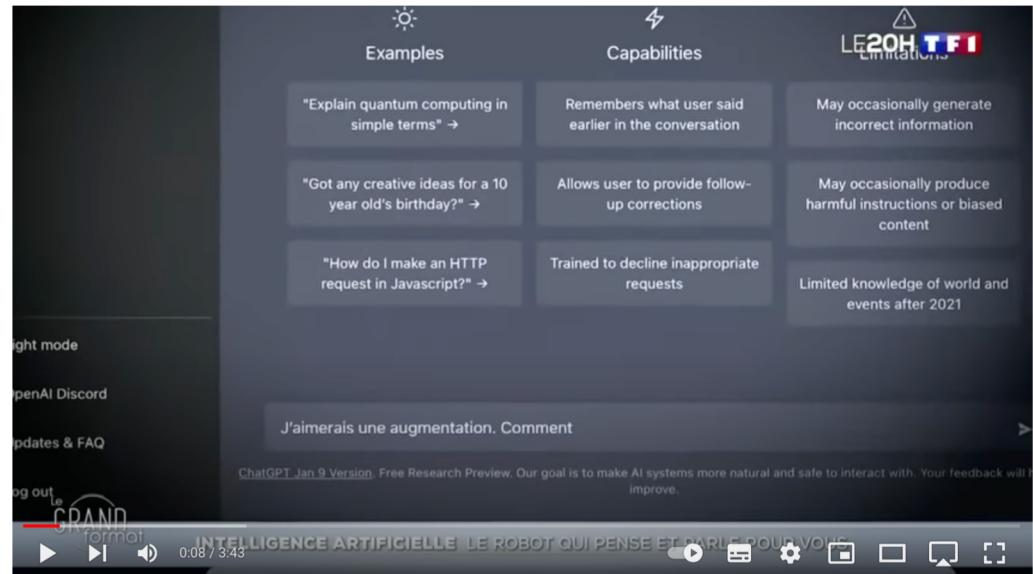


<https://www.youtube.com/watch?v=xqMVg5ixhd0>

4. Applications de l'IA

ChatGPT

- ChatGPT est un chatbot conçu par la société américaine OpenAI, spécialisée dans le domaine de l'intelligence artificielle. Sa principale fonction : générer du texte pour répondre aux requêtes des internautes. Le chatbot peut générer des réponses textuelles dans plusieurs langues dont le français.



<https://www.youtube.com/watch?v=eG7yiX7vW7E>

Plan du cours

1. Intelligence artificielle/apprentissage machine/apprentissage profond
2. Paradigme d'apprentissage machine
3. Les techniques d'apprentissage machine:
 - Apprentissage supervisé
 - Apprentissage non-supervisée
 - Apprentissage semi-supervisé
 - Apprentissage par renforcement
4. Applications de l'IA
5. Éthique et IA

5. Éthique et IA (1/5)

- Le développement de l'IA constitue un progrès technologique majeur qui rend possibles de nouvelles avancées scientifiques et technologiques.
- Il peut également engendrer des bénéfices sociaux en améliorant les conditions de vie, la santé, en créant de la richesse et en renforçant la sécurité au travail.
- Cependant, il y a des enjeux éthiques à considérer :
 - 1) Propriété des données collectées par les objets connectés
 - 2) La question du développement durable
 - 3) De la logique à l'éthique : transparence et pluralisme

5. Éthique et IA (2/5)

I. Propriété des données collectées par les objets connectés:

- À première vue, il semble que les consommateurs et les utilisateurs possèdent les données recueillies par leurs objets connectés
- Cependant le passage des informations aux données est un travail complexe.
 - Les données encodent des informations, ce qui nécessite un protocole de capture et un support physique de stockage.
 - Très souvent, les compagnies possèdent ces protocoles et les supports physiques où sont stockés les données.
 - Donc, l'information initiale permettant la création de données semble appartenir au citoyen, mais c'est l'entreprise qui détient le protocole de capture et de stockage des données.

5. Éthique et IA (3/5)

I. La question du développement durable :

- L'IA soulève aussi des enjeux relatifs à la protection de la vie privée. Dans ce contexte, la transparence, l'imputabilité et la sécurité des données se doivent d'autant plus d'être assurées.
- La question du développement durable est également au cœur des réflexions entourant l'IA → Enjeux en vue d'une meilleure utilisation des ressources dans une perspective de durabilité: prise en compte de l'impact environnemental dans les applications de l'IA, ou encore l'empreinte écologique* des infrastructures technologiques nécessaires.

- <https://www.quebec.ca/gouvernement/politiques-orientations/vitrine-numeriqc/strategie-integration-ia-administration-publique-2021-2026/enjeux-ethiques-ia-administration-publique>
- Empreinte écologique = une estimation de la surface (terrestre ou aquatique) nécessaire pour permettre à un individu de soutenir son mode de vie

5. Éthique et IA (4/5)

3. De la logique à l'éthique : transparence et pluralisme

- Une des innovations importantes grâce à l'IA est la voiture autonome.
- La question qui se pose : comment doit-on programmer une voiture intelligente lorsqu'elle doit faire un choix éthique? Si elle se retrouve dans un accident et doit impérativement choisir entre foncer vers une personne ou vers la chaussée, que doit-elle faire?
- Lorsqu'un humain doit faire un choix de cet ordre, on conçoit facilement que le choix n'en est pas vraiment un, car l'être humain réagit très difficilement aux situations qui comportent un tel niveau de pression.
- La rapidité et l'imprévisibilité d'une telle situation dédouane les parties impliquées de leur devoir éthique.

5. Éthique et IA (5/5)

→ **Déclaration de Montréal pour un développement responsable de l'intelligence artificielle**

Trois objectifs :

1. Élaborer un cadre éthique pour le développement et le déploiement de l'IA
2. Orienter la transition numérique afin que tous puissent bénéficier de cette révolution technologique ;
3. Ouvrir un espace de dialogue national et international pour réussir collectivement un développement inclusif, équitable et écologiquement soutenable de l'IA.

Mesures prises par le Québec (1/2)

Le Québec a pris plusieurs mesures importantes pour promouvoir une utilisation responsable de l'IA:

1.Création de l'Institut québécois d'intelligence artificielle (Mila): Fondé par Yoshua Bengio, un des pionniers de l'apprentissage profond, Mila se consacre à la recherche avancée en IA et à la promotion d'une IA éthique et responsable.

2.Stratégie québécoise de l'intelligence artificielle: Le gouvernement du Québec a lancé une stratégie visant à positionner la province comme un leader mondial en matière d'IA éthique et responsable. Cette stratégie inclut des investissements dans la recherche, le développement des compétences et l'adoption de normes éthiques.

Mesures prises par le Québec (1/2)

Le Québec a pris plusieurs mesures importantes pour promouvoir une utilisation responsable de l'IA:

3. Collaborations internationales: Le Québec collabore avec des entités internationales pour promouvoir des normes éthiques globales dans le domaine de l'IA, comme son partenariat avec l'UNESCO et d'autres organisations mondiales.

4. Éducation et sensibilisation: Des programmes éducatifs sur l'IA éthique sont mis en place dans les universités et institutions éducatives pour préparer les futurs professionnels de l'IA à adopter des pratiques responsables.

LES NOTIONS FONDAMENTALES DE L'IA

