

Intelligence Artificielle

Construction de **programmes informatiques** qui s'adonnent à des tâches qui sont, pour l'instant, **accomplies de façon plus satisfaisante par des êtres humains** car elles demandent des processus mentaux de haut niveau tels que : **l'apprentissage** perceptuel, l'organisation de la **mémoire** et le **raisonnement** critique.

**Marvin Lee
Minsky - 1955**

Françoise Bouvet, SDev, Dept Informatique
Corentin Allaire, SDev, Dept Informatique
David Rousseau, PHE



Retour sur le sondage : état des lieux

*Sondage effectué auprès des membres d'IJCLab en **janvier 2025***

Le questionnaire a reçu 256 réponses dont 137 complètes.

- 31 personnes ont un **projet scientifique en IA en cours**
- 53 personnes prévoient de l'utiliser **dans l'année à venir** à des fins scientifiques dont :
- 86 personnes utilisent **l'IA générative**
- 52 personnes n'utilisent pas du tout l'IA

Tous les pôles sont représentés dans les projets scientifiques menés.

Les personnes qui ont déjà un projet scientifique en cours s'informent essentiellement par la **littérature scientifique**. Les autres s'informent plus via **les réseaux sociaux et les médias** (presse écrite et internet).

Utilisation de l'IA générative

- Majoritairement pour générer du code, du texte et pour la traduction.
- chatGPT est de loin l'outil le plus cité.
- Certaines personnes mentionnent qu'elles n'ont pas été convaincues par les outils testés.



Retour sur le sondage : actions à mettre en place

Au total, 96 personnes seraient intéressées par la mise en place d'actions relatives à l'IA au sein d'IJCLab :

- 23 ont un projet scientifique en IA en cours
- 19 ont un projet scientifique en IA à venir
- 54 n'ont aucun projet scientifique en IA

Pour les personnes ayant un projet scientifique en cours, **le café IA et un canal d'échanges** apparaissent de loin comme les actions les plus pertinentes. Concernant le contenu du café IA, **les discussions sur les activités en cours et les revues de papier** sont les plus demandées.

-> traduit un besoin de discussion autour des travaux en cours pour échanger, poser des questions sur les problèmes rencontrés, faire des retours d'expérience ...

Pour les deux autres groupes, **le café IA et la liste de diffusion** remportent majoritairement l'adhésion. Concernant le contenu du café IA, **des présentations et un replay d'une sélection de Panoram'IA** sont de loin majoritaires.

-> traduit un besoin d'information.

On note une demande de **mise à disposition d'outils**.

Plusieurs personnes expriment des **préoccupations environnementales** quant à l'utilisation de l'IA.

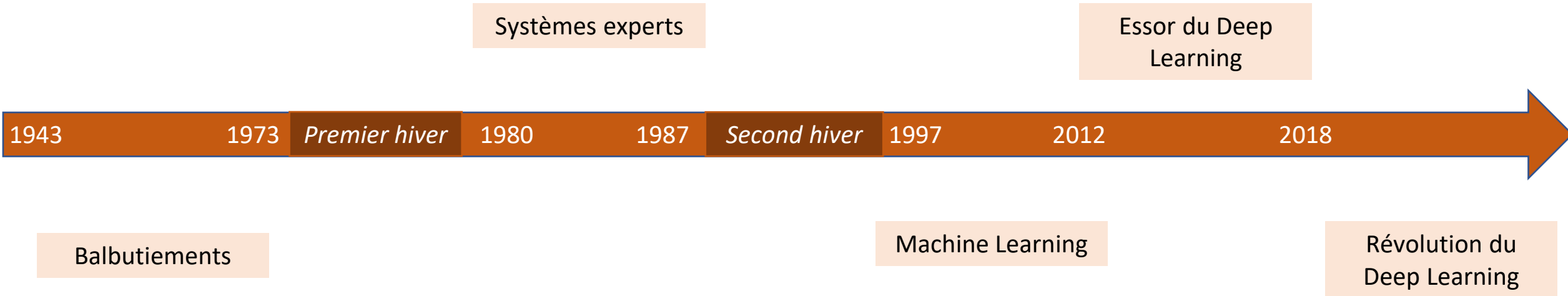


Plan

- I. Un peu d'histoire
- II. Qu'est-ce que l'IA ?
- III. Différents types d'apprentissage
- IV. Principe de base du deep learning : le neurone formel
- V. Fonctionnement d'un réseau de neurones
- VI. Exemples de réseaux de neurones
- VII. IA générative
- VIII. Conclusion : quelques questions liées à l'IA



Brève histoire de l'IA





Les balbutiements de l'IA (1943-1973)

Pour **vérifier si une machine est « intelligente »** :
si elle peut mener une conversation (par
téléscripteur interposé) qu'on ne puisse
différencier d'une conversation avec un être
humain, alors la machine peut être qualifiée
d'« intelligente »

Test de Turing



Conférence de
Dartmouth

Changement de
politique de la
DARPA -> coupes
budgétaires

1943

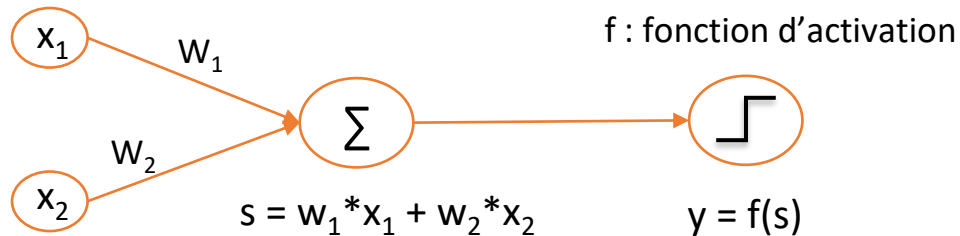
1950

1956

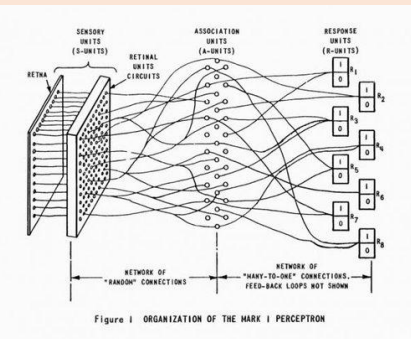
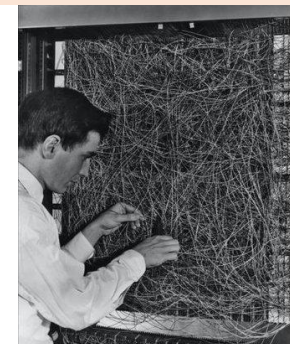
1957

1973

Neurone formel
McCulloch, Pitts et Hebb



Perceptron F. Rosenblatt
Premier système d'apprentissage automatique



Réglages par potentiomètres



Les systèmes experts (les années 80)

Systèmes experts

Approche symbolique : règles qui simulent le raisonnement humain

Logique floue

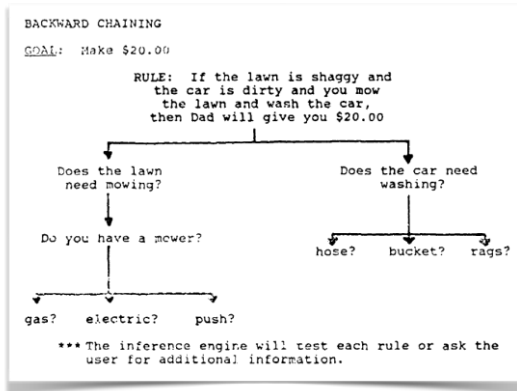
Tim Berners-Lee invente le World Wide Web (WWW) au CERN, introduisant les concepts de l'URL, HTTP, et HTML.



1980

1986

1989



Perceptron multi-couche (MLP) Algorithme de rétropropagation du gradient (GBP)



Rumelhart



Yann Le Cun

L'IA s'est discréditée par des déclarations trop présomptueuses
-> crédits reportés sur d'autres projets



L'essor du Machine Learning (1996-2011)

SVM : Machine à Vecteurs de Support

Adoption croissante des SVM dans divers domaines, y compris la classification d'images, la bioinformatique et la reconnaissance de texte.

1996

1997

1999

2011

Deep Blue



Nvidia : « première »
carte graphique,
Geforce256

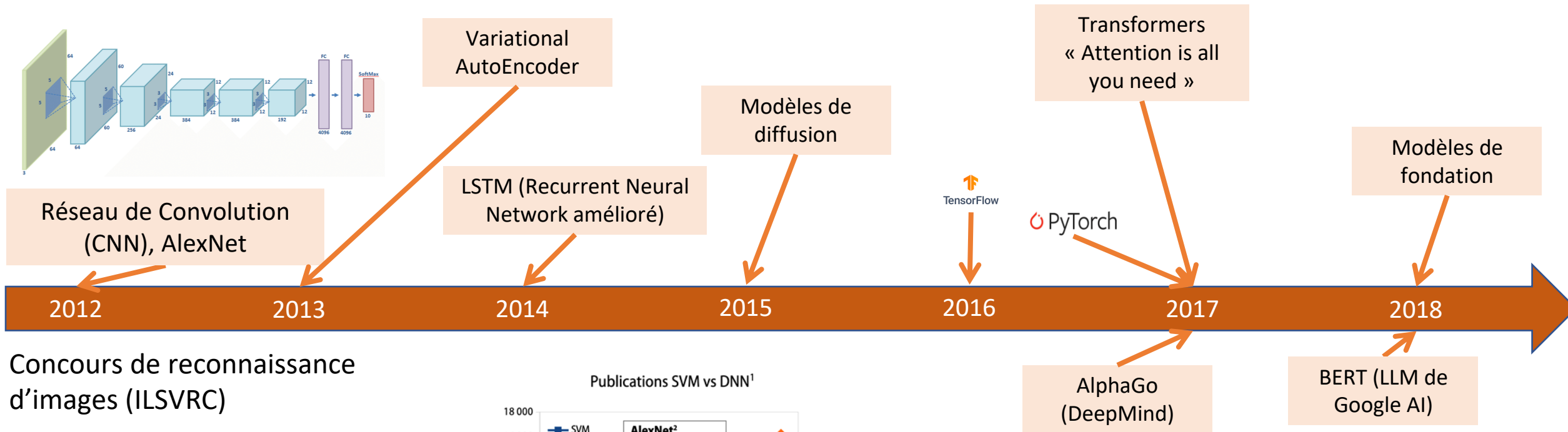
Explosion des données : L'avènement d'Internet a entraîné une explosion des données, fournissant des ensembles de données massifs pour l'entraînement des modèles.

- GoogleBrain
- Siri (reconnaissance vocale)
- Watson (IBM)



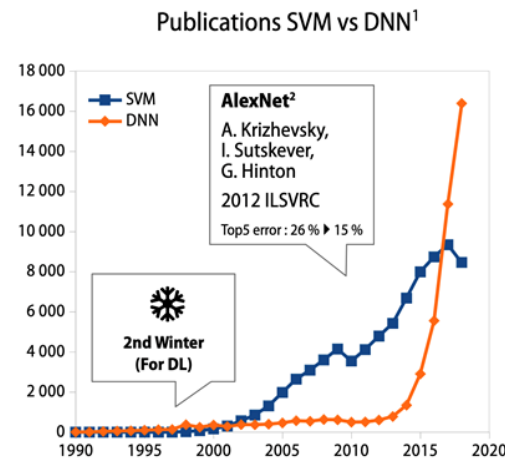
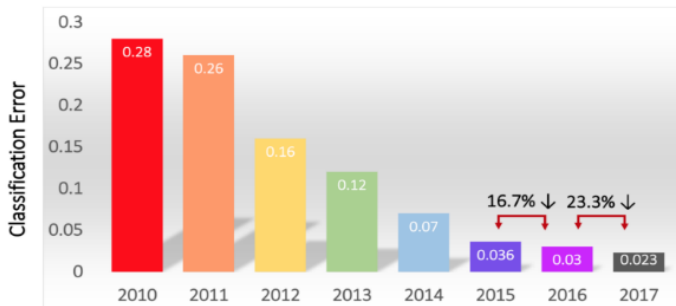


L'essor du Deep Learning (2012-2018)



Concours de reconnaissance d'images (ILSVRC)

Classification Results (CLS)



4 conditions réunies :

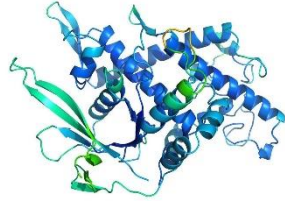
- Progrès algorithmiques, éclosion des modèles
- Puissance des GPUs
- Framework Deep Learning
- Masse de données



La révolution du Deep Learning (2018-...)

Multimodalité

- Image
- Audio
- Vidéo
- Texte



AlphaFold2



Dall'E : modèle de diffusion

Dall'E 2

AlphaFold3

2018

2019

2020

2021

2022

2023

2024

GPT2

GPT1

Generative Pre-trained Transformers (OpenAI)

GPT3

Llama2
(MetaAI)

Gemini
(Google)



Intelligence artificielle :
Simulation du comportement du cerveau

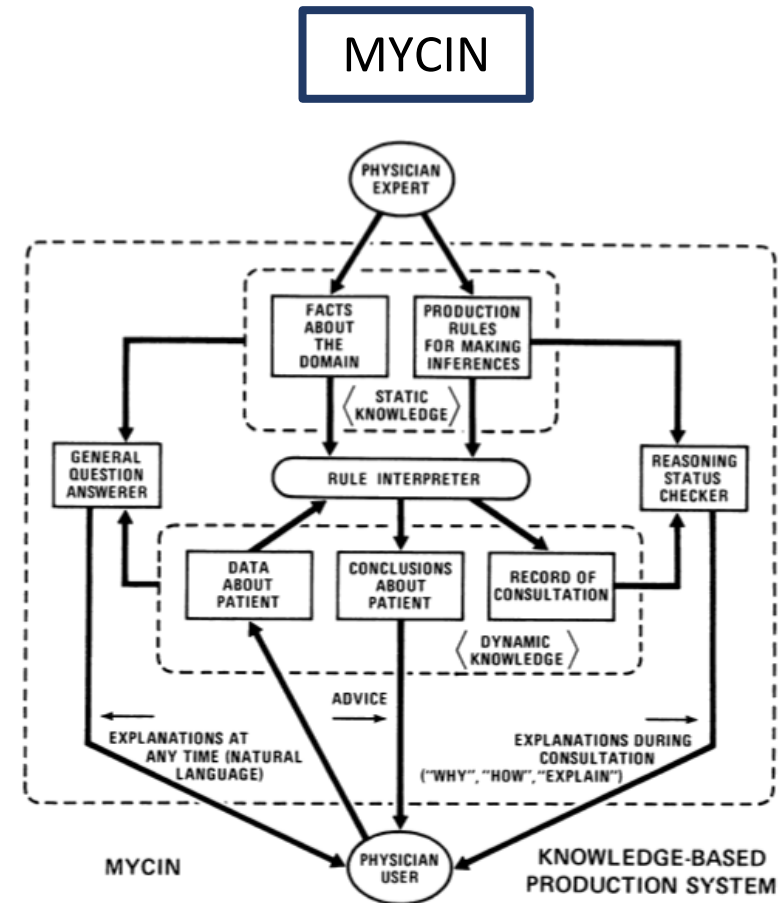
L'ordinateur est programmé
explicitement pour effectuer une tâche.

Systeme expert

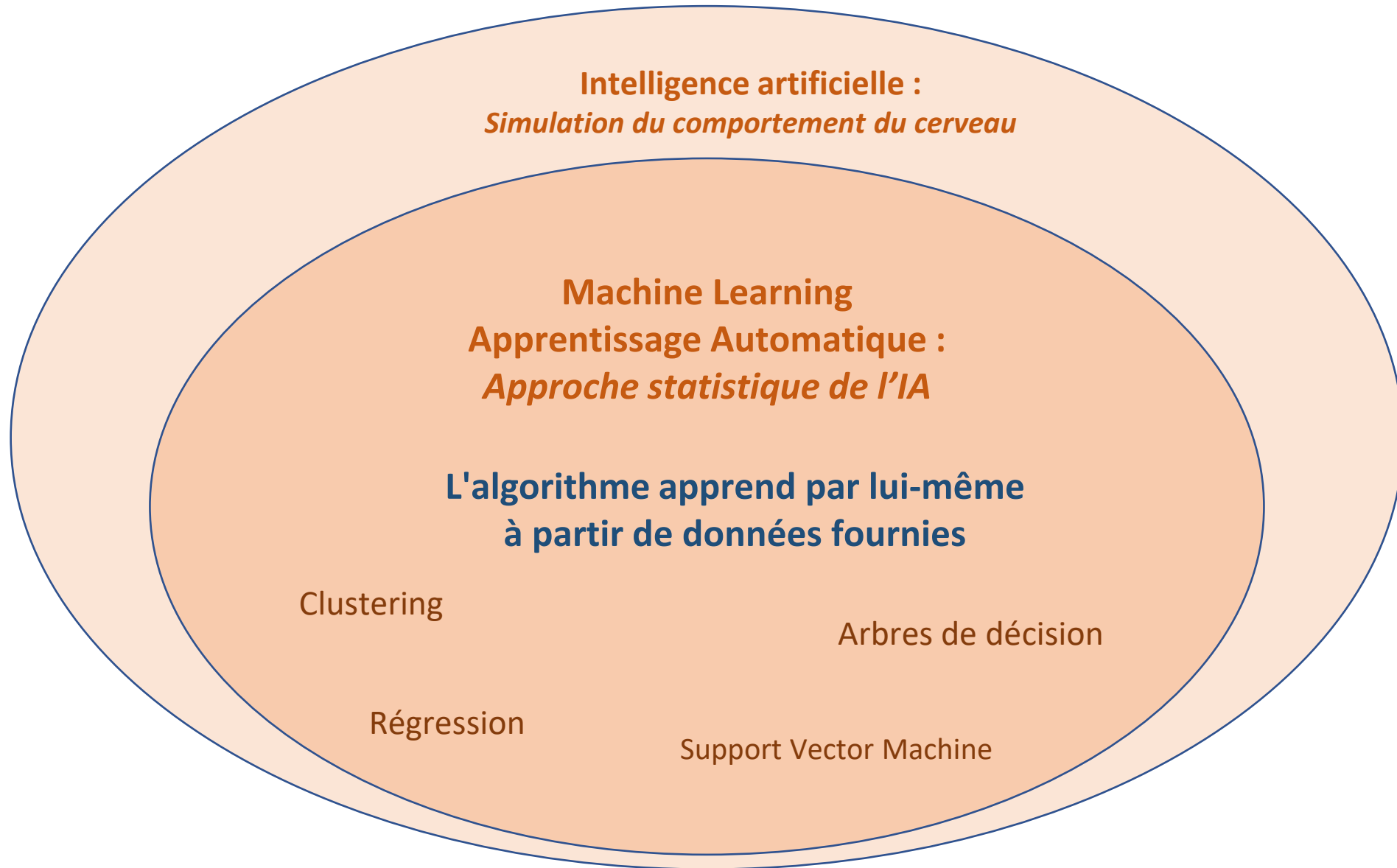


IA : Système expert

- Programme informatique LISP
- Information sur le domaine fournie par des **experts**
- Equation à base de **règles de logique**
- Performait aussi bien qu'un médecin
- Globalement la technique est encore utilisée par les **IA de jeux vidéo**

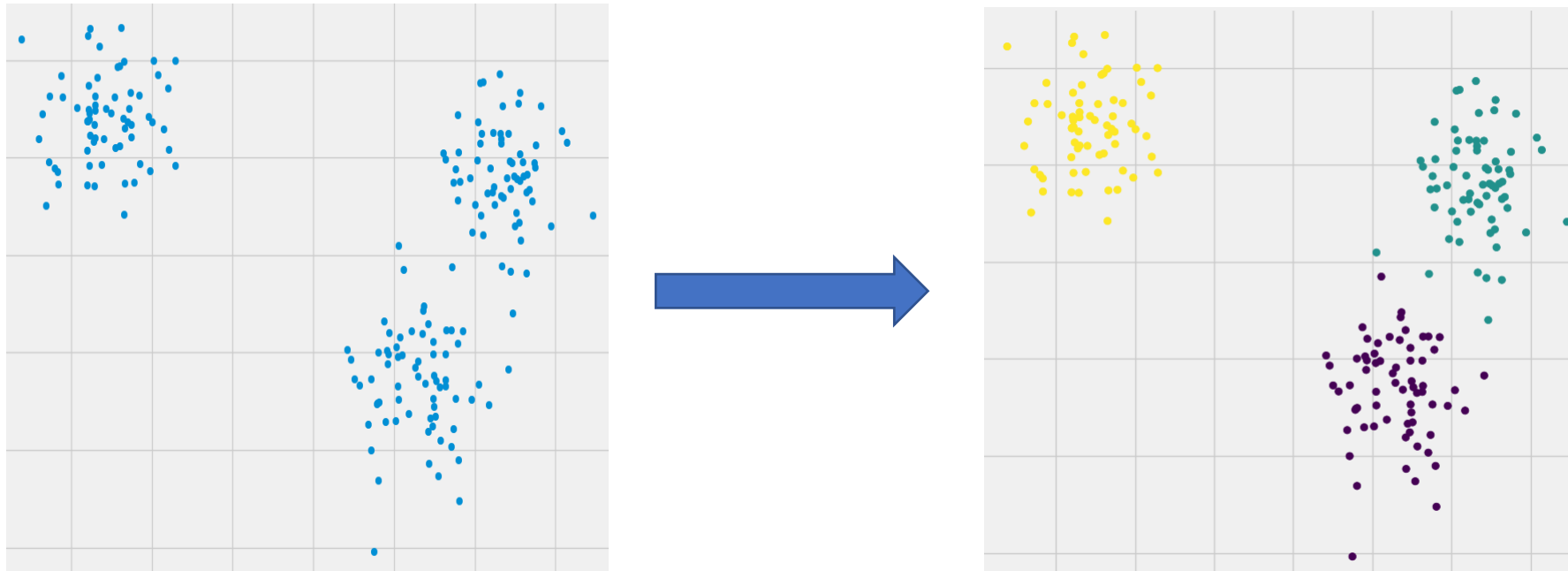


[Shortliffe EH. Mycin: A Knowledge-Based Computer Program Applied to Infectious Diseases, 1977.](#)





Permet de regrouper des données en fonction de leur similarité



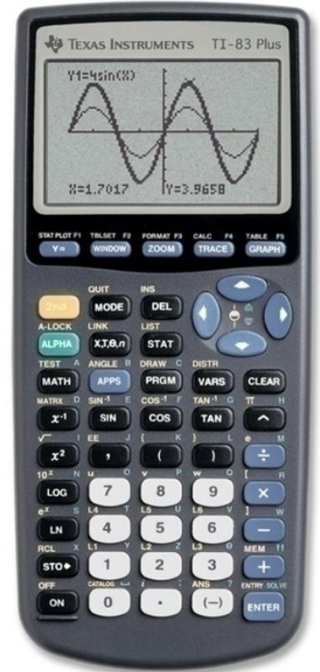
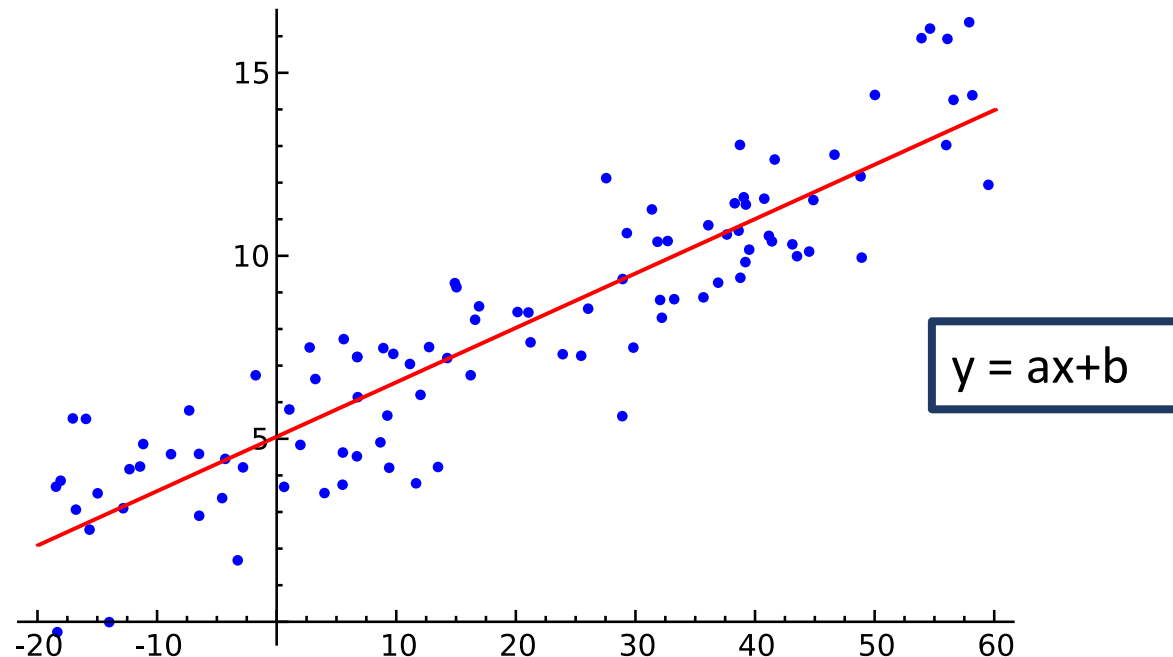
Ex : **recommandation musicale** de spotify.



Permet de faire de la prédiction

Exemple : régression linéaire

Algorithme qui recherche la courbe (ici une droite) qui représente le mieux les points de données.



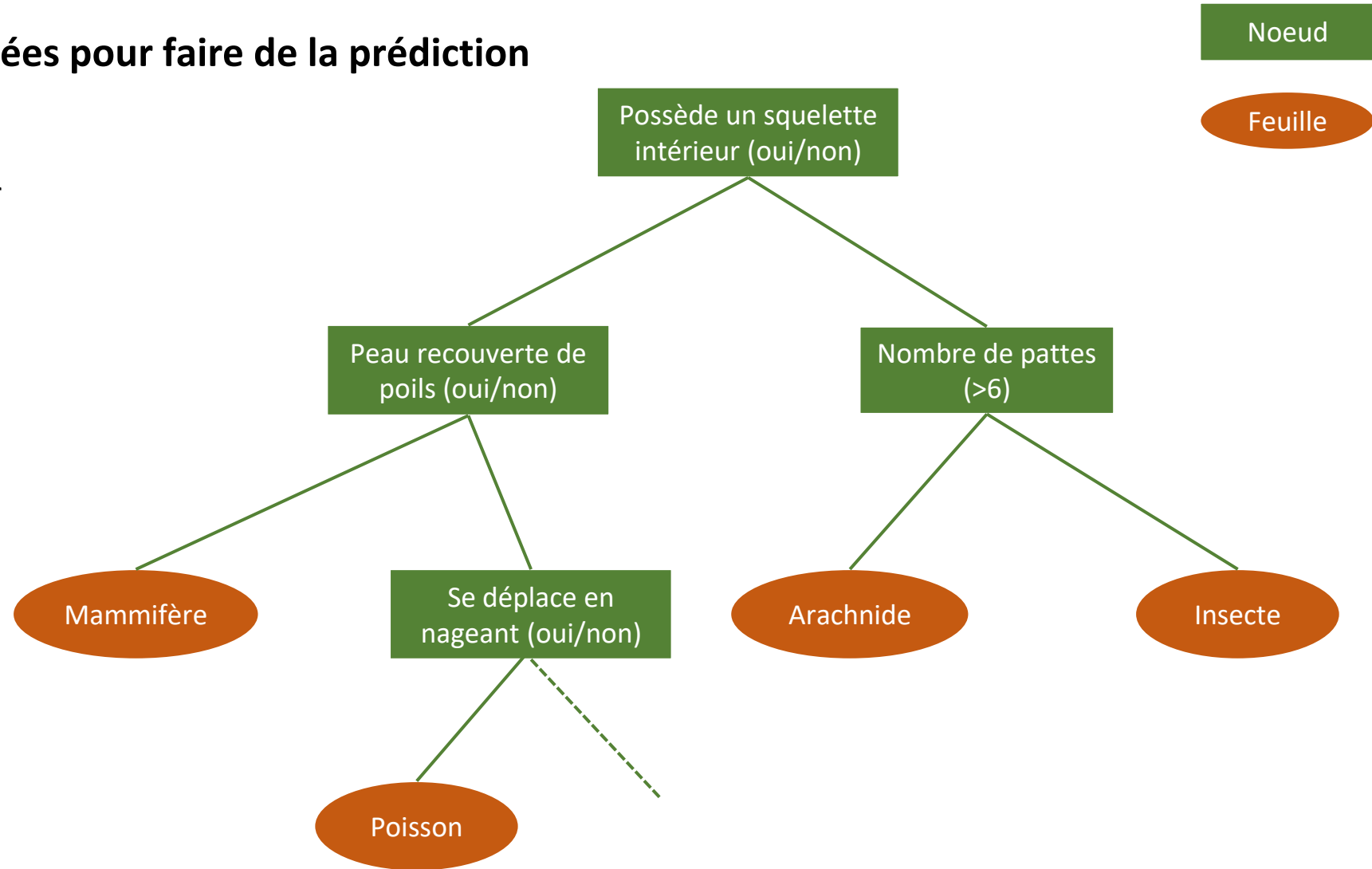
Ex : trouver le prix d'un logement à partir de la surface.



Permet de classer les données pour faire de la prédiction

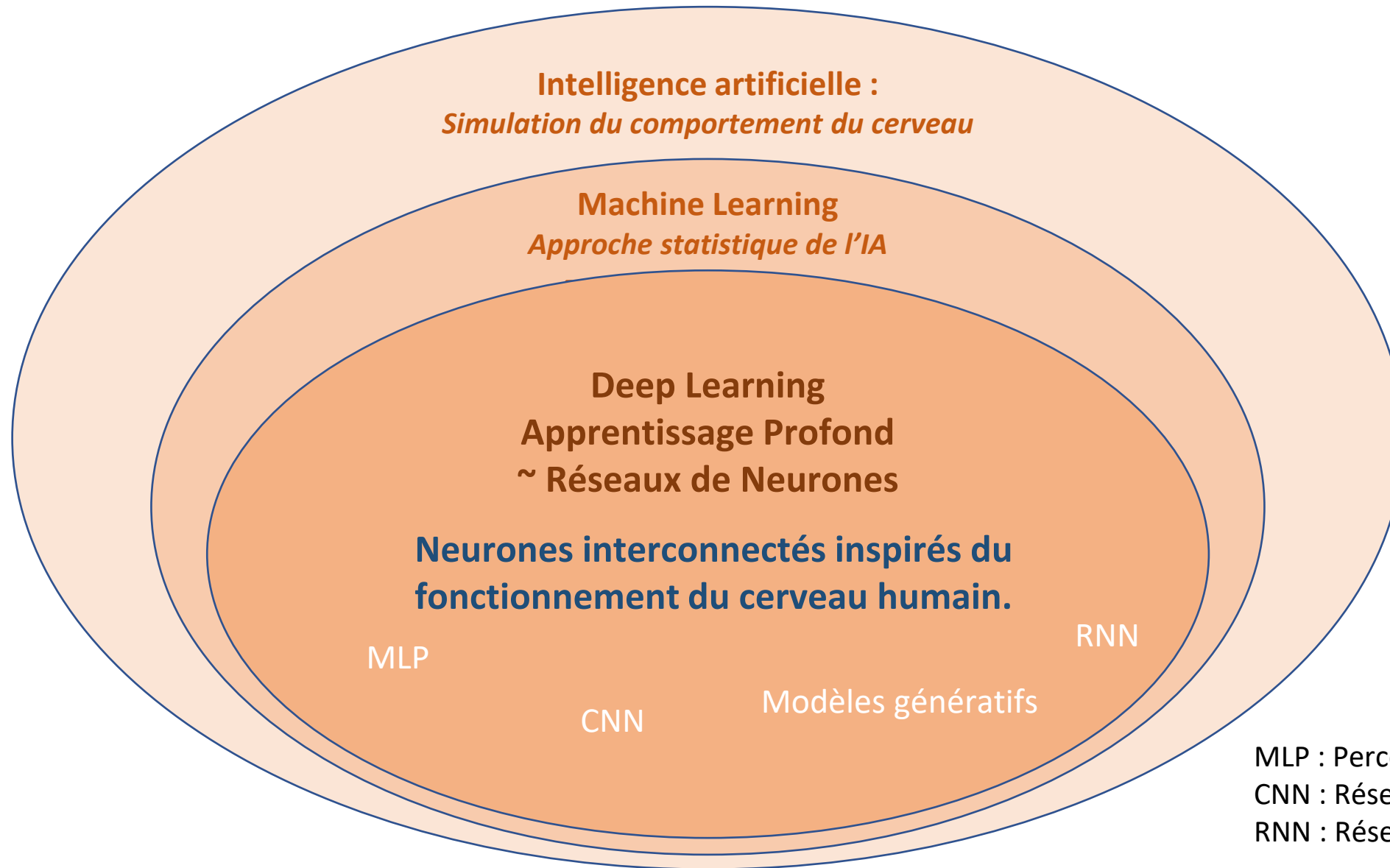
Déterminer l'espèce (classe) à partir de 4 paramètres :

- Squelette intérieur/extérieur
 - Recouvert de poils (oui/non)
 - Mode de déplacement
 - Nombre de pattes
-
- Omniprésent au CERN depuis une vingtaine d'années
 - BDT (Boosted Decision Tree) construction de plusieurs arbres -> variante plus robuste
 - A été utilisé par Google pour le classement de ses réponses





Définition de l'IA



MLP : Perceptron multi-couches
CNN : Réseau de convolution
RNN : Réseau récurrent



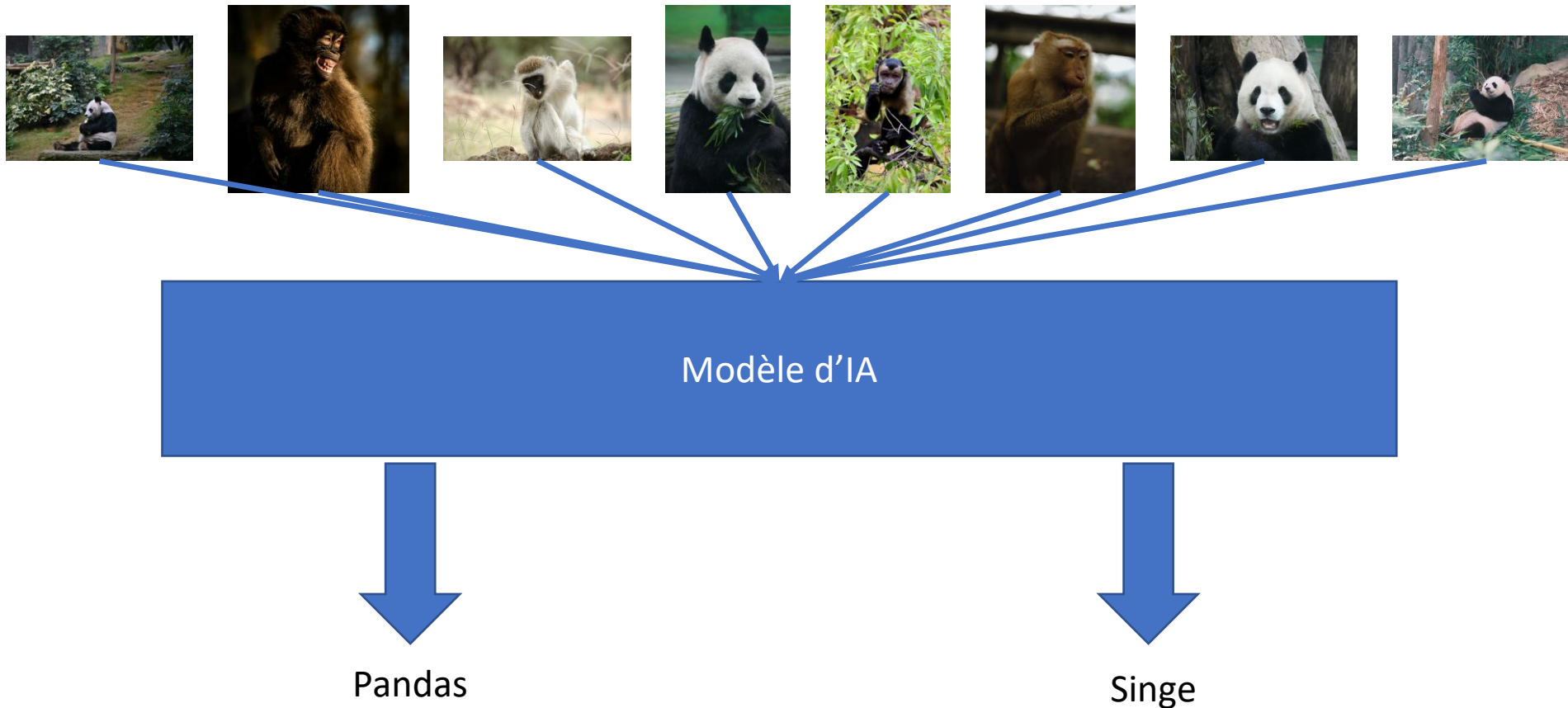
Différents types d'apprentissage

Apprentissage supervisé

Apprentissage non supervisé

Apprentissage par renforcement

- *On connaît l'étiquette (ici : panda ou singe)*
- Ex : arbres de décision ou régression





Différents types d'apprentissage

Apprentissage supervisé

Apprentissage non supervisé

Apprentissage par renforcement

- *On ne connaît pas l'étiquette, on veut mettre en évidence des similitudes*





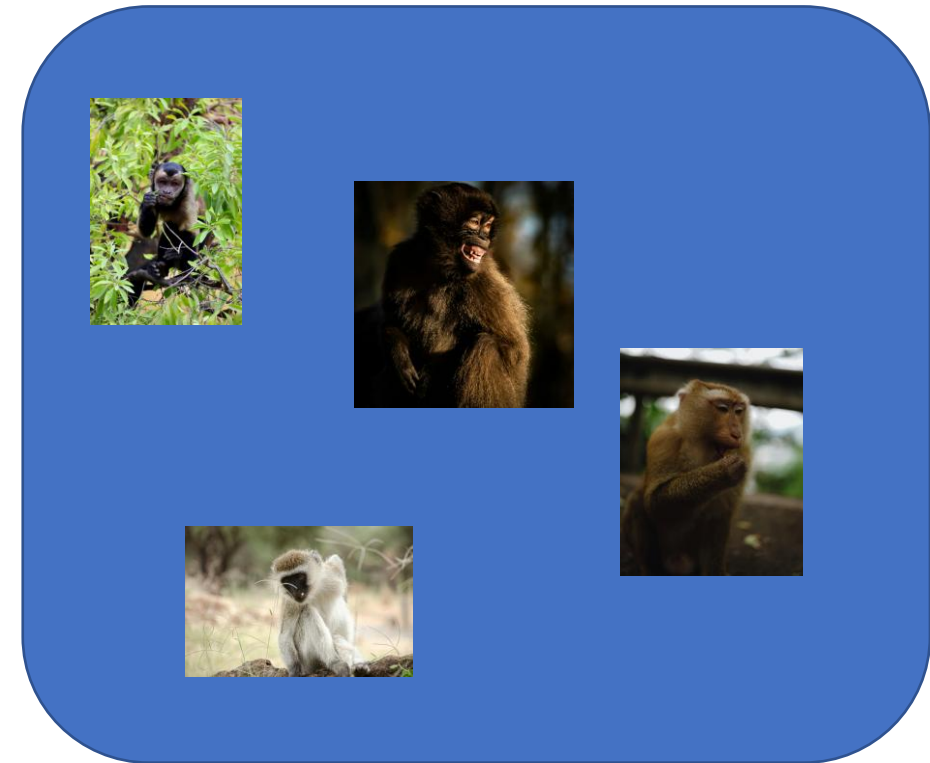
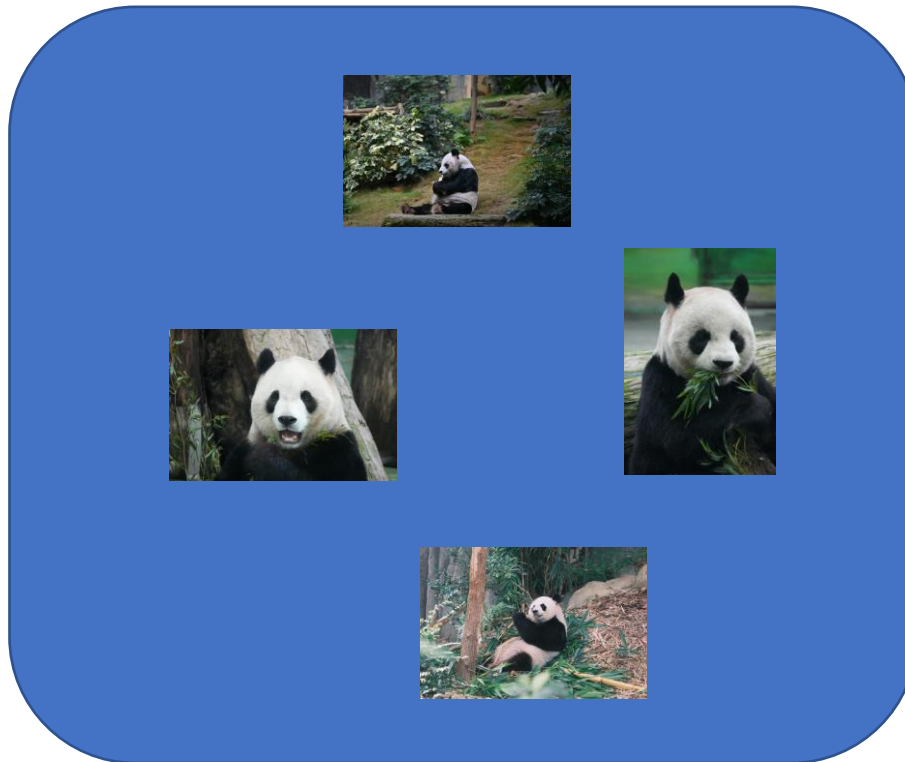
Différents types d'apprentissage

Apprentissage supervisé

Apprentissage non supervisé

Apprentissage par renforcement

- *On ne connaît pas l'étiquette, on veut mettre en évidence des similitudes*
- Ex : clustering





Différents types d'apprentissage

Apprentissage supervisé

Apprentissage non supervisé

Apprentissage par renforcement

- *Le modèle apprend par essai/erreur*
- Le modèle évolue dans un environnement en essayant de **maximiser une récompense** cumulée

Robotique



Jeux





Neurone artificiel ou « neurone formel »

Entrée

1

w_0

x_1

w_1

x_2

w_2

x_n

w_n

Somme pondérée

$$s = \sum_{i=0}^n w_i x_i$$

x_i : $i^{\text{ème}}$ entrée

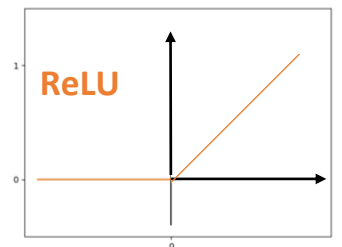
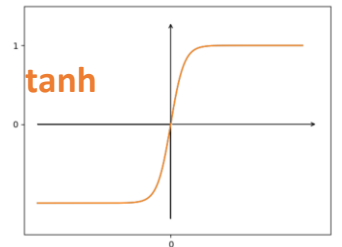
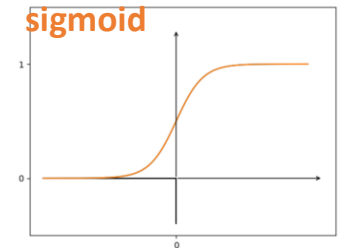
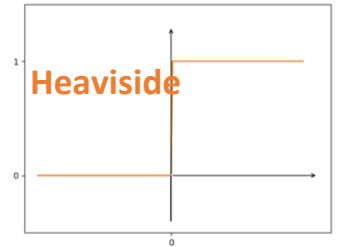
w_i : poids associé à x_i

Sortie

$$y = f(s)$$

f : fonction d'activation

$$s = w_0 + w_1 \times x_1 + w_2 \times x_2 + \dots + w_n \times x_n$$





Neurone artificiel ou « neurone formel »

Entrée

1

5

2

6

3

7

4

8

Somme pondérée

$$s = \sum_{i=0}^n w_i x_i$$

x_i : $i^{\text{ème}}$ entrée

w_i : poids associé à x_i

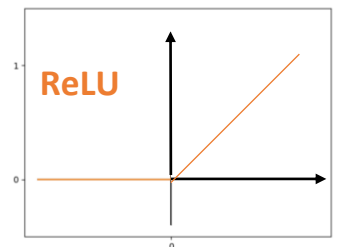
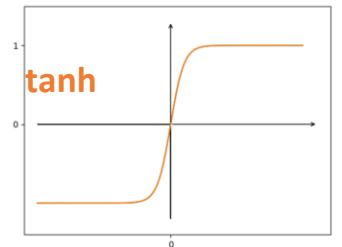
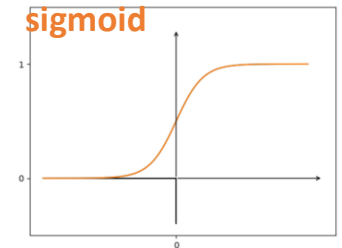
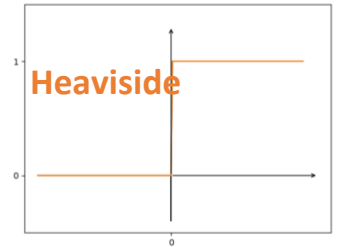
Sortie

$$y = f(s)$$

f : fonction d'activation

$$s = w_0 + w_1 \times x_1 + w_2 \times x_2 + \dots + w_n \times x_n$$

$$s = 5 \times 1 + 6 \times 2 + 7 \times 3 + 8 \times 4 = 67$$

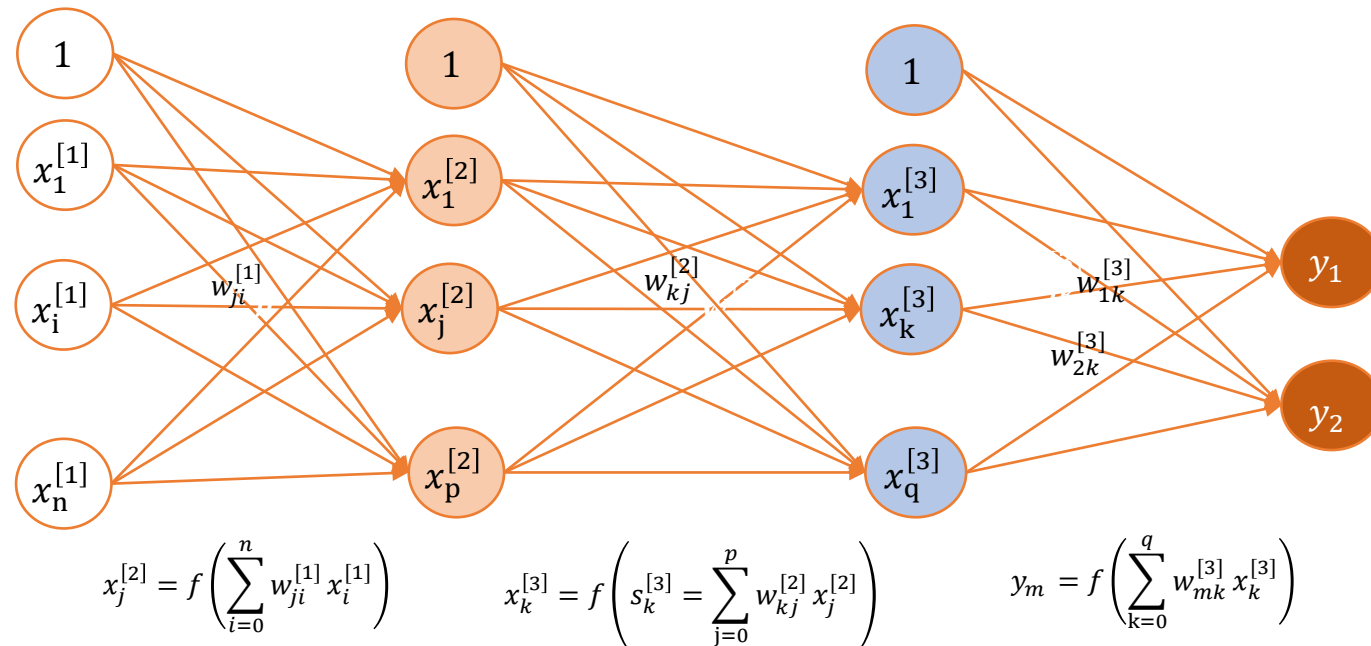




Réseaux de neurones : perceptron multi-couches (MLP)

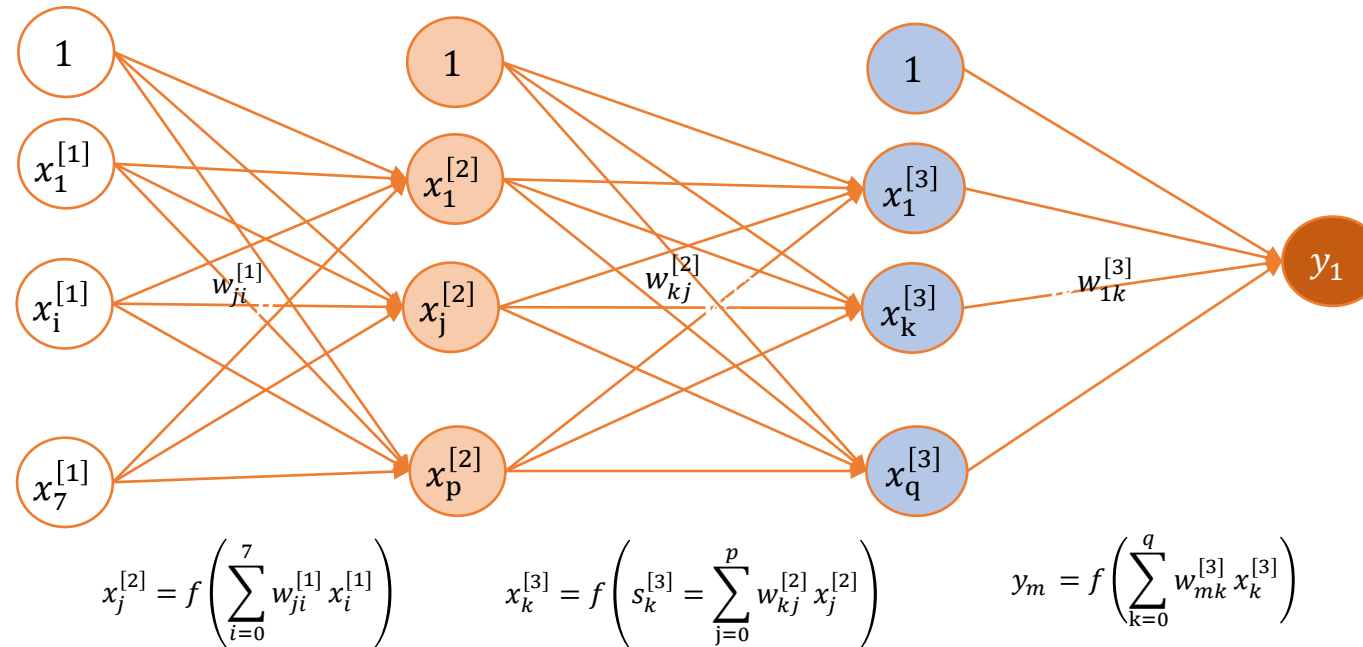
Perceptron = réseau de neurones : neurones interconnectés

Perceptron multi-couches (MLP-multi layer perceptron) : neurones organisés sous forme de couches successives entièrement connectées 2 à 2





Réseaux de neurones : perceptron multi-couches (MLP)



Exemple :

On veut déterminer le **risque de burnout** à partir des 7 indicateurs suivants :

Entrée

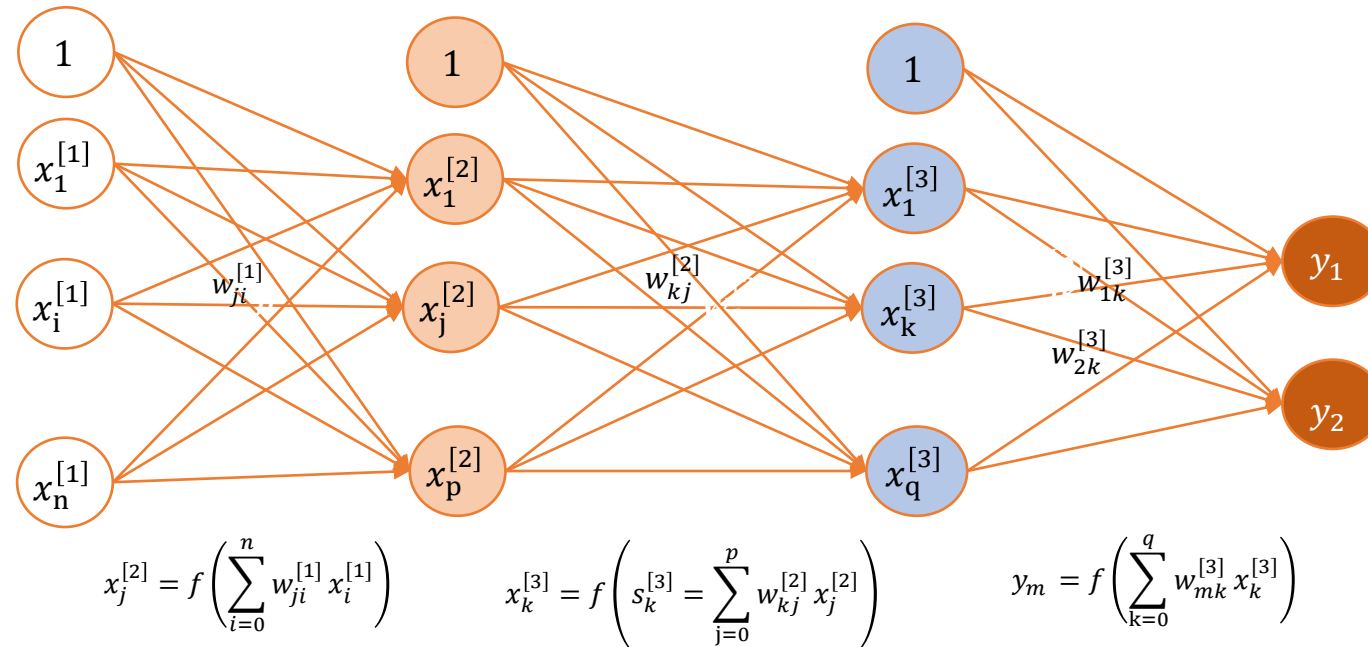
- Nombre d'heure de travail / jour
- Nombre d'heures devant l'écran
- Nombre de réunions / jour
- Nombre de pauses
- Travail en dehors des heures de travail
- Taux de tâches accomplies
- Nombre d'heures de sommeil

Sortie

Score de risque de burn out

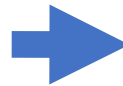


Réseaux de neurones : perceptron multi-couches (MLP)

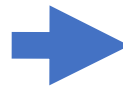


Exemple Chat/Chien

- x_i : pixel de mon image
- y_1 0 : pas chat; 1 chat
- y_2 0 : pas chien; 1 chien



(0.85, 0.1) Clairement Chat



(0.35, 0.78) Plutôt chien



Phase d'apprentissage = entraînement du réseau

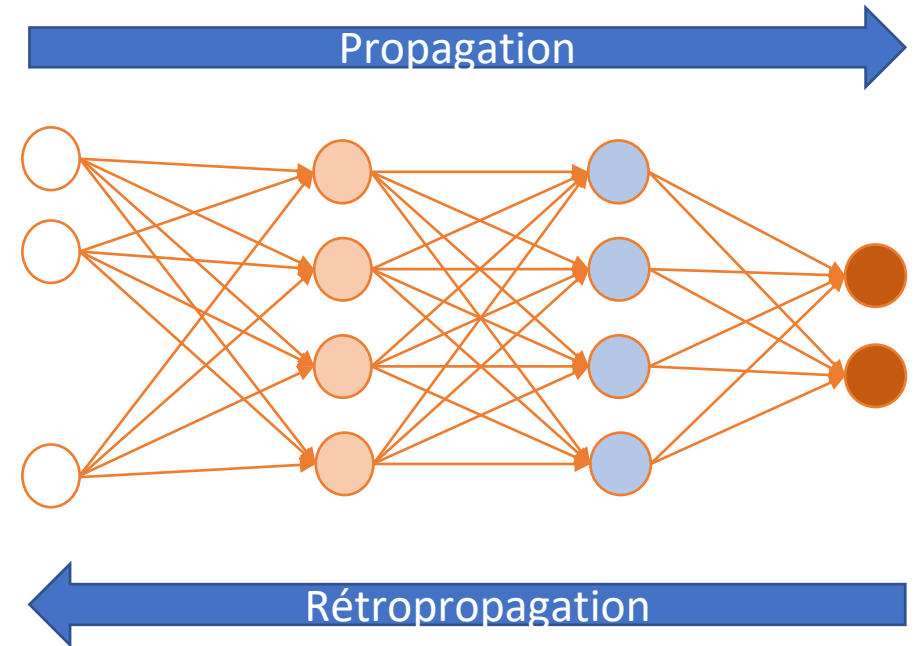
Processus itératif :

1. Propager chaque exemple de la base de données
2. Comparer le résultat en sortie avec le résultat souhaité
3. Ajuster les poids (w_{ij}) du réseau

->Le réseau est entraîné, les valeurs des poids sont figées

Phase d'inférence : utilisation sur de nouveaux exemples

L'exemple à classer est propagé dans le réseau.





Exemple de MLP

Base d'apprentissage



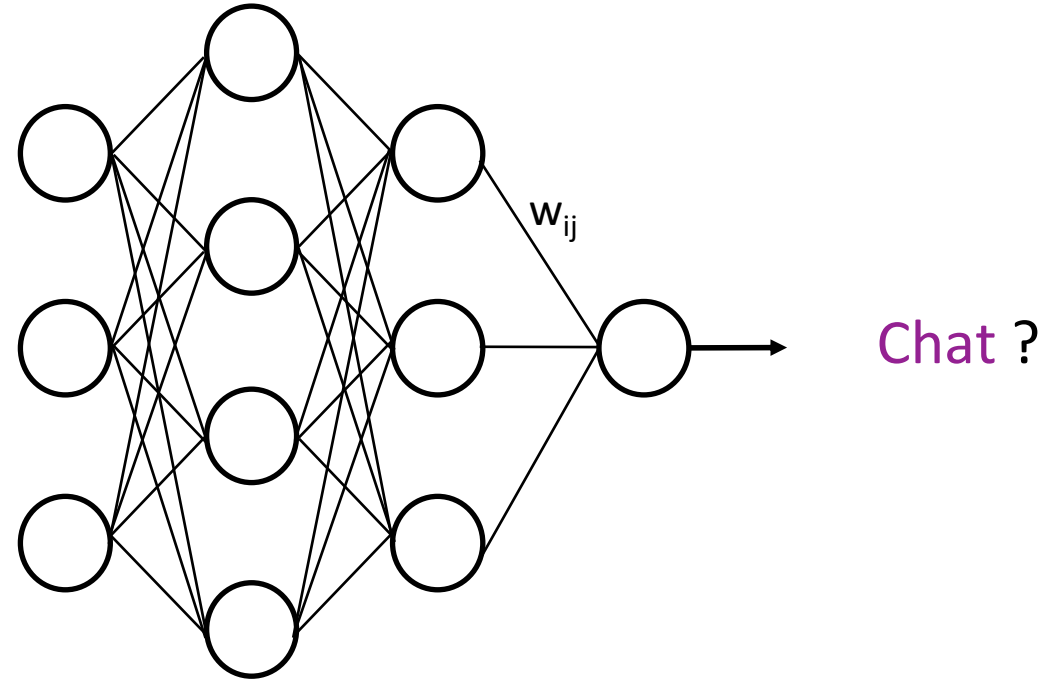
Chats

Chiens



Exemple de MLP : processus d'apprentissage

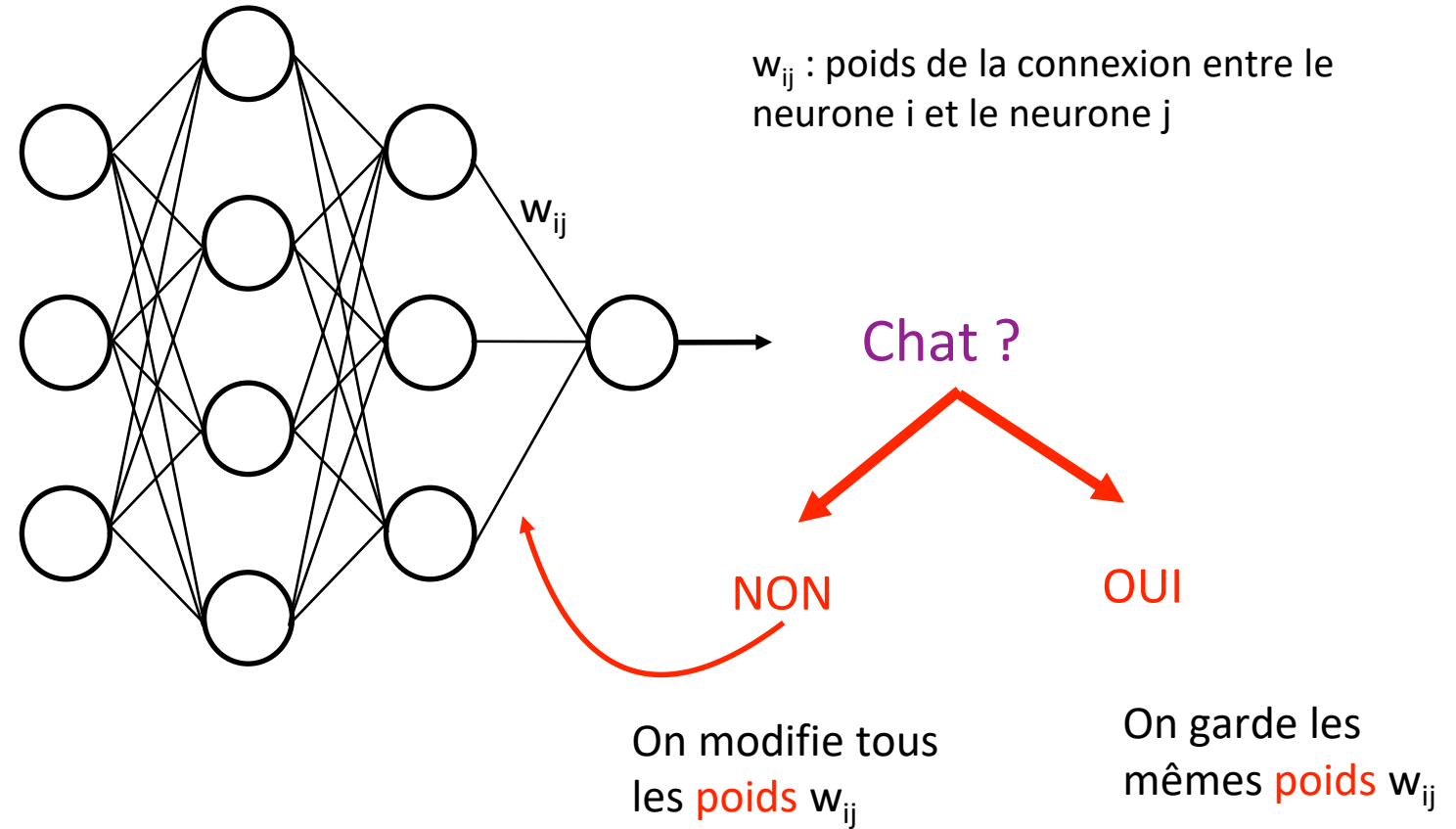
Phase d'apprentissage : à chaque itération, on passe les exemples un par un





Exemple de MLP : processus d'apprentissage

Phase d'apprentissage





Exemple de MLP : inférence

Phase d'inférence : on passe les nouveaux exemples à classer

Les poids sont figés



?

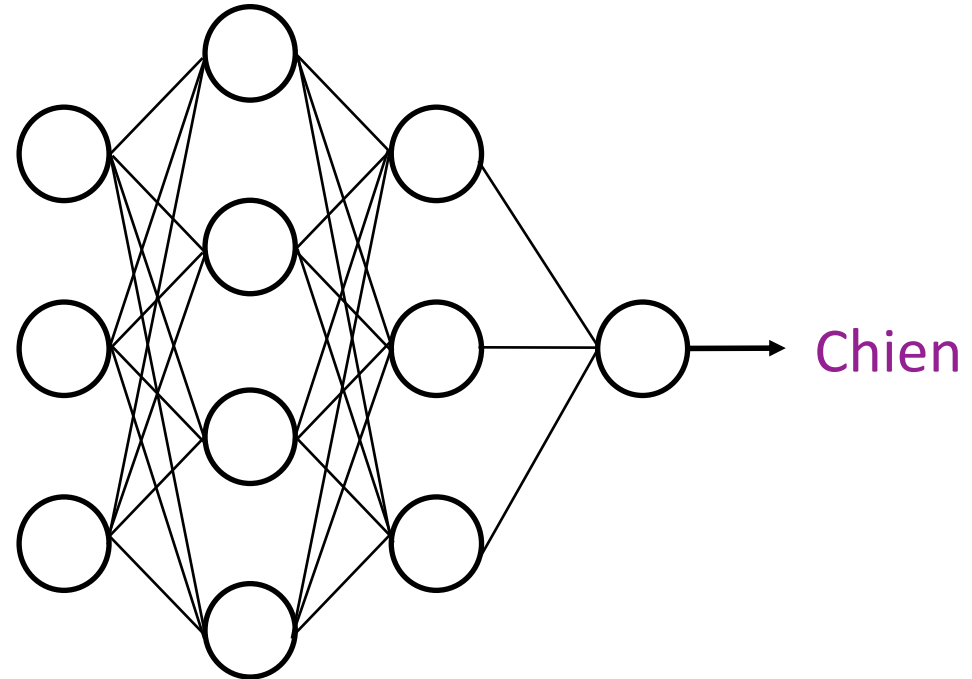
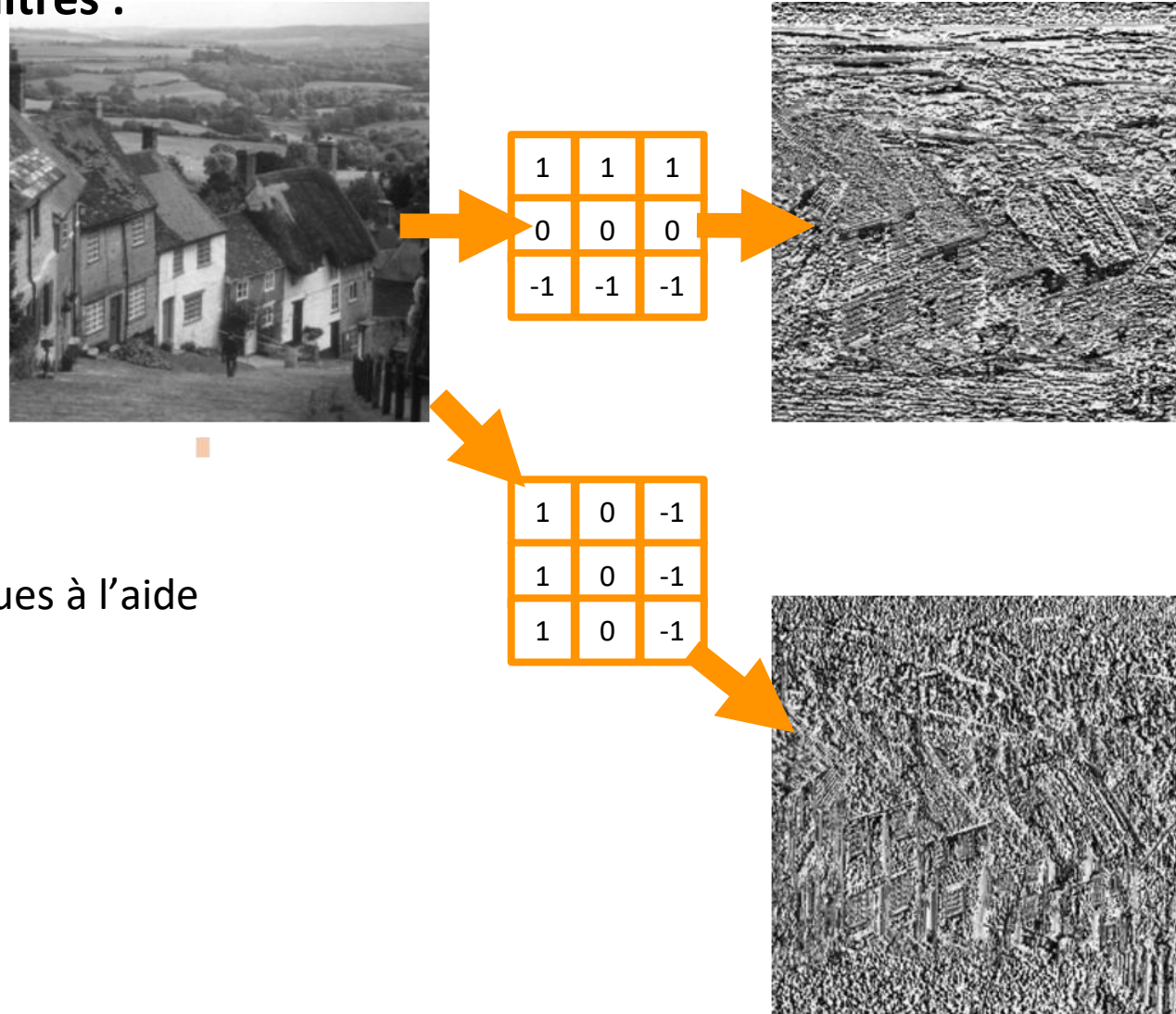




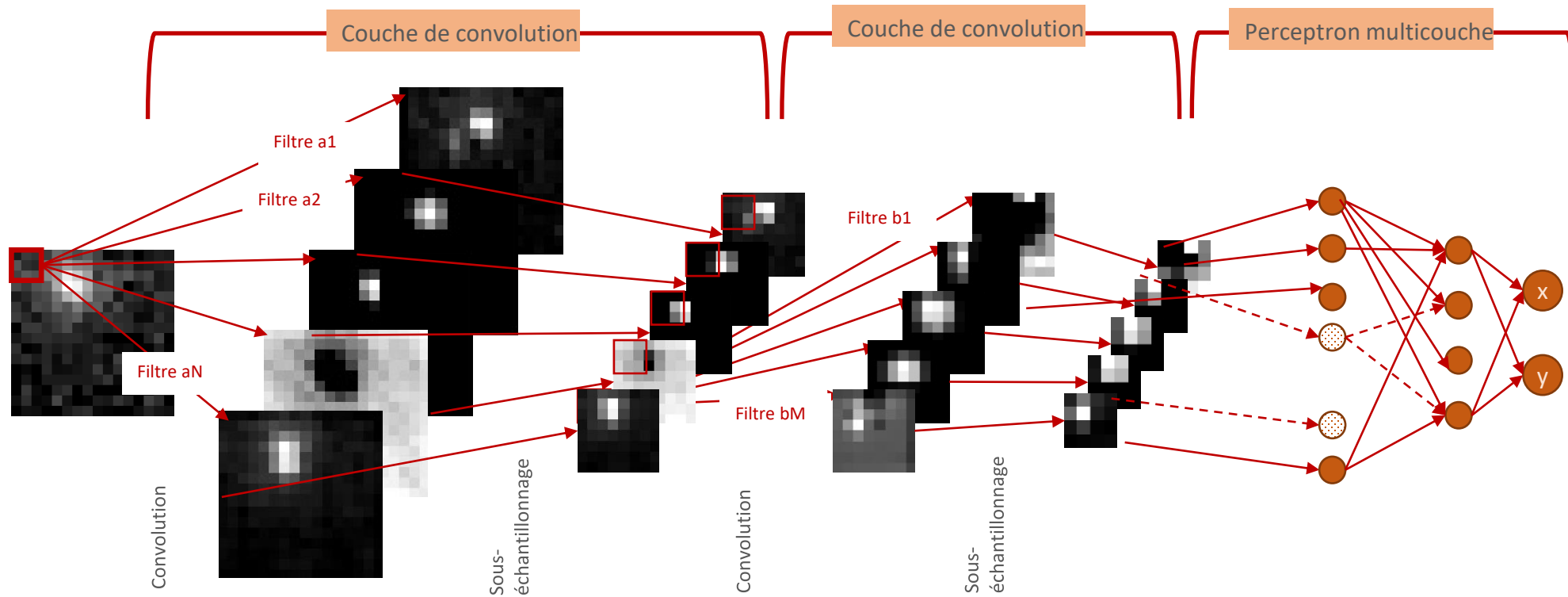
Illustration de l'effet des filtres :



Extraction de caractéristiques à l'aide de filtres simples :

- Horizontal : toits
- Vertical : façades

Réseau de convolution : plus performant pour l'analyse des images

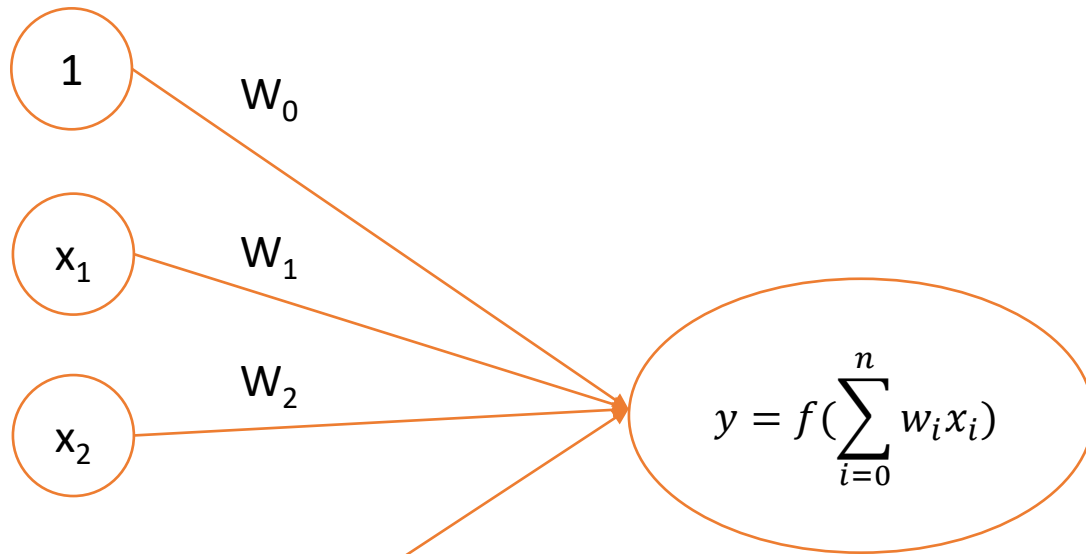


Convolution des images : permet d'analyser l'image pas à pas avec une fenêtre de filtre et d'extraire des caractéristiques à différentes échelles



Neurone artificiel / neurone biologique

Le réseau de neurones est inspiré du fonctionnement de notre cerveau.



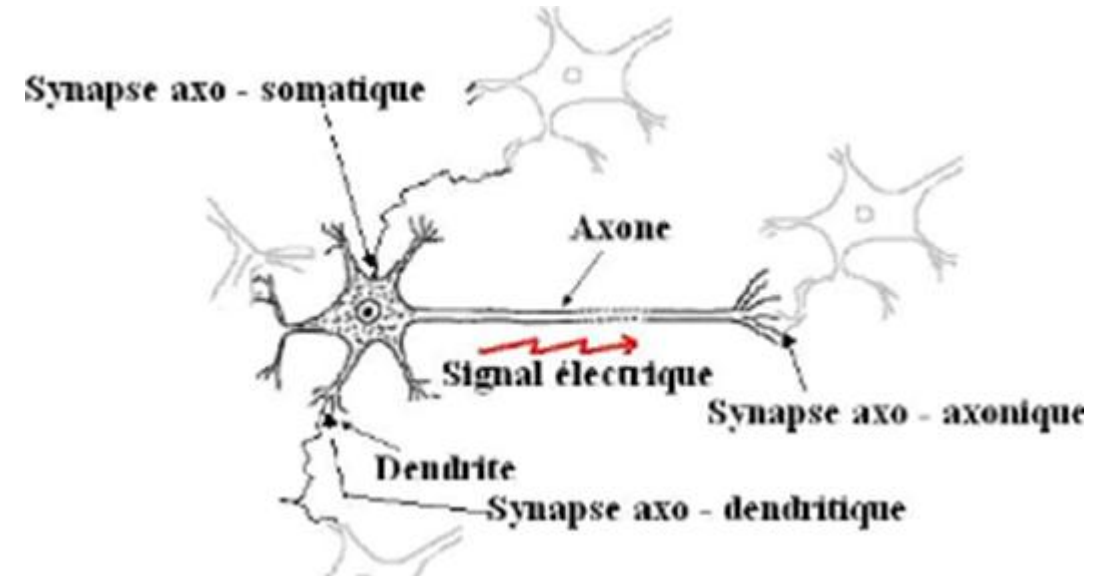
Entrée

Neurone

Sortie

Poids (ajustables)

Fonction d'activation



→ Dendrites

→ Corps cellulaire (potentiel d'action)

→ Axone

→ Synapse (plasticité synaptique)

→ Potentiel postsynaptique (excitateur ou inhibiteur)



Pour aller plus loin : Réseaux récurrents

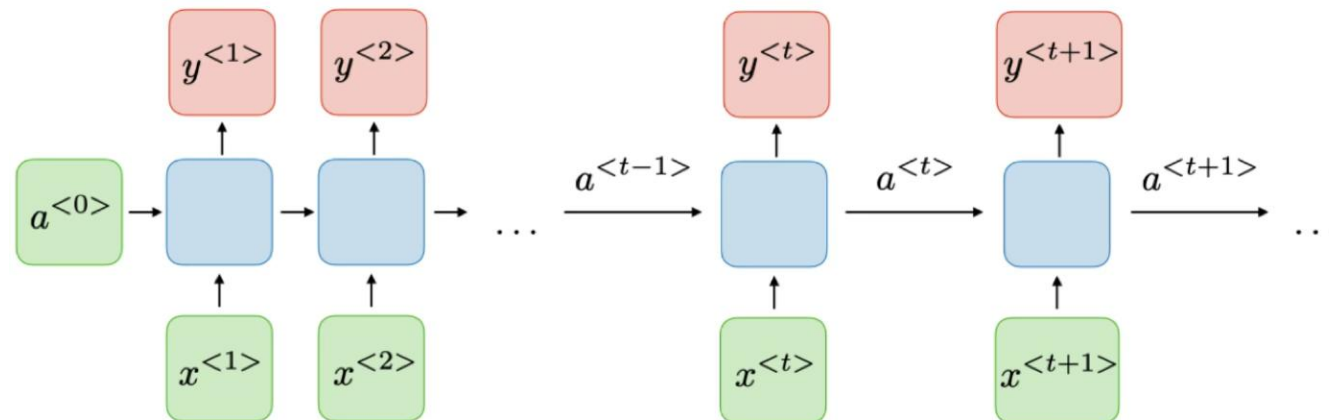
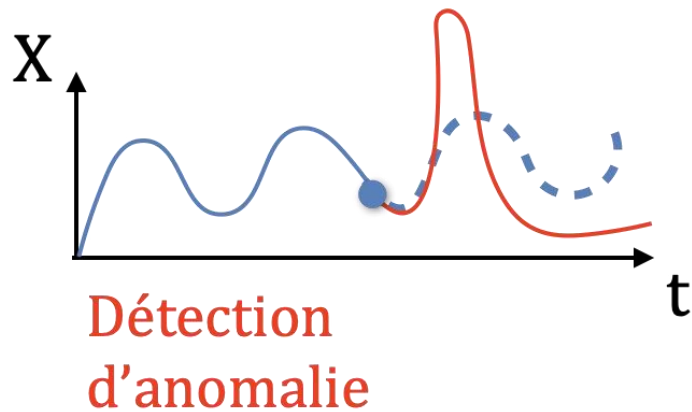
Parfois nos données sont des **séquences**:

- Signal sonore
- Série temporelle

Réseaux récurrents: séquence de réseaux de neurones se transmettant de l'information

Utilisation:

- Reconnaissance vocale
- Sécurisation de centrale électrique

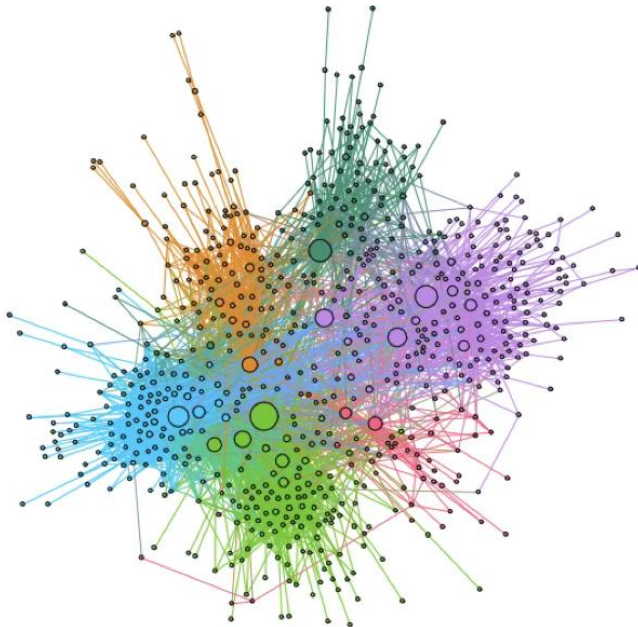
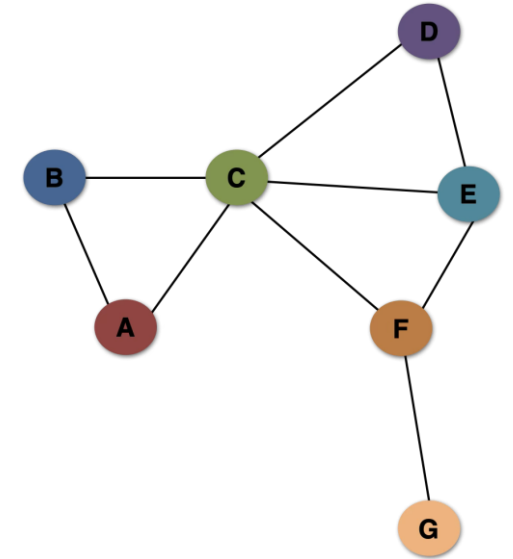
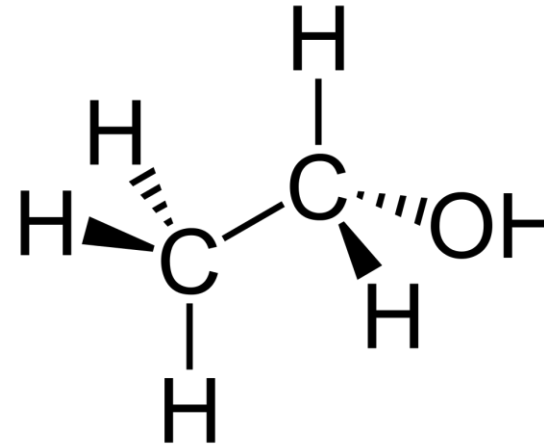




Pour aller plus loin : Graph Neural Network (GNN)

Parfois nos données sont représentables par des **graphes**:

- Relation entre personnes
- Chimie



GNN: réseau de neurones appliqué à un graphe

- Réseaux sociaux
- Adapté au cas où le nombre d'objets analysé n'est pas connu



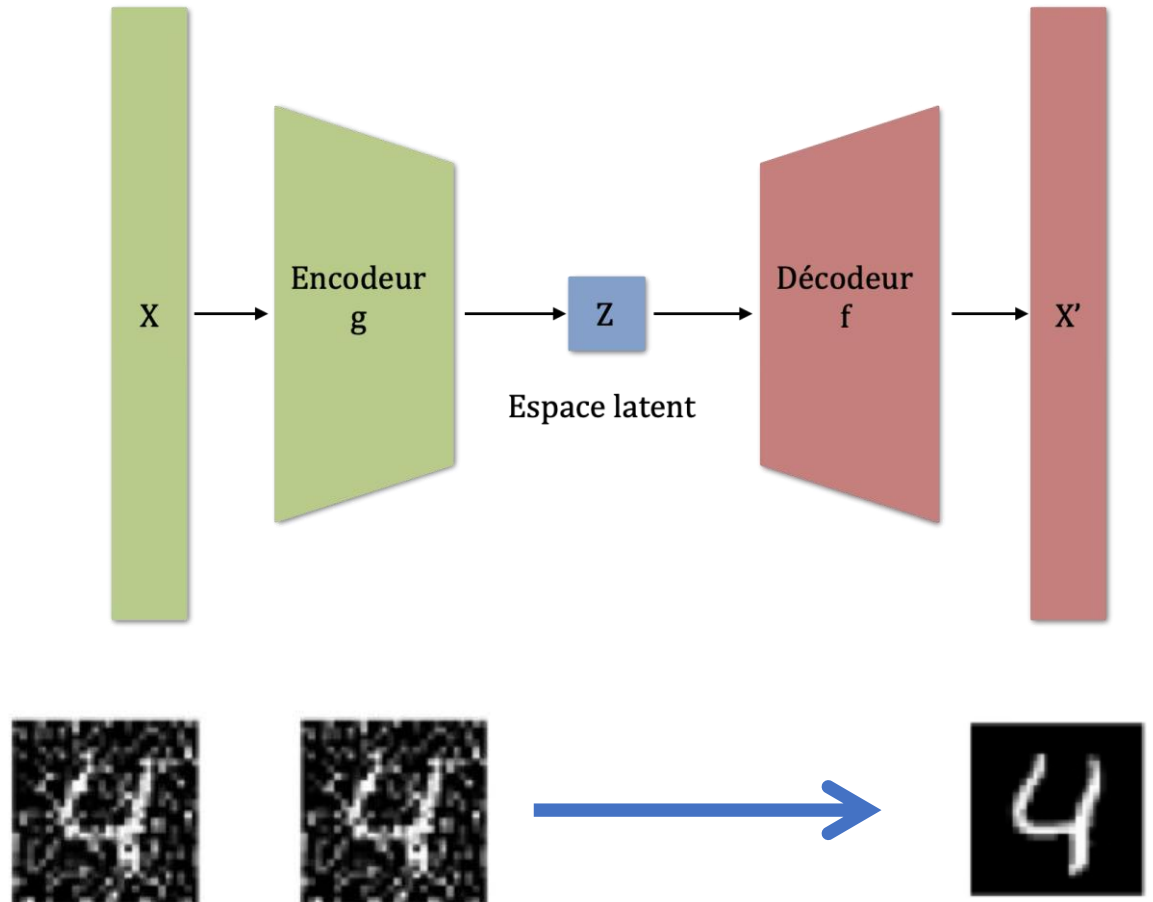
Pour aller plus loin : L'auto-encodeur

Auto-encodeur : ancienne technique d'IA **général**

- **Encodeur** : **réduit** notre objet à quelques nombres
- **Décodeur** : **reconstitue** l'objet grâce à ces nombres
- Entraînement non supervisé (reconstruit les objets)

Utilisations:

- Débruitage (super-résolution)
- Détection d'anomalie (comparaison entrée-sortie)
- Génération d'image (décodeur utilisé sur du bruit)

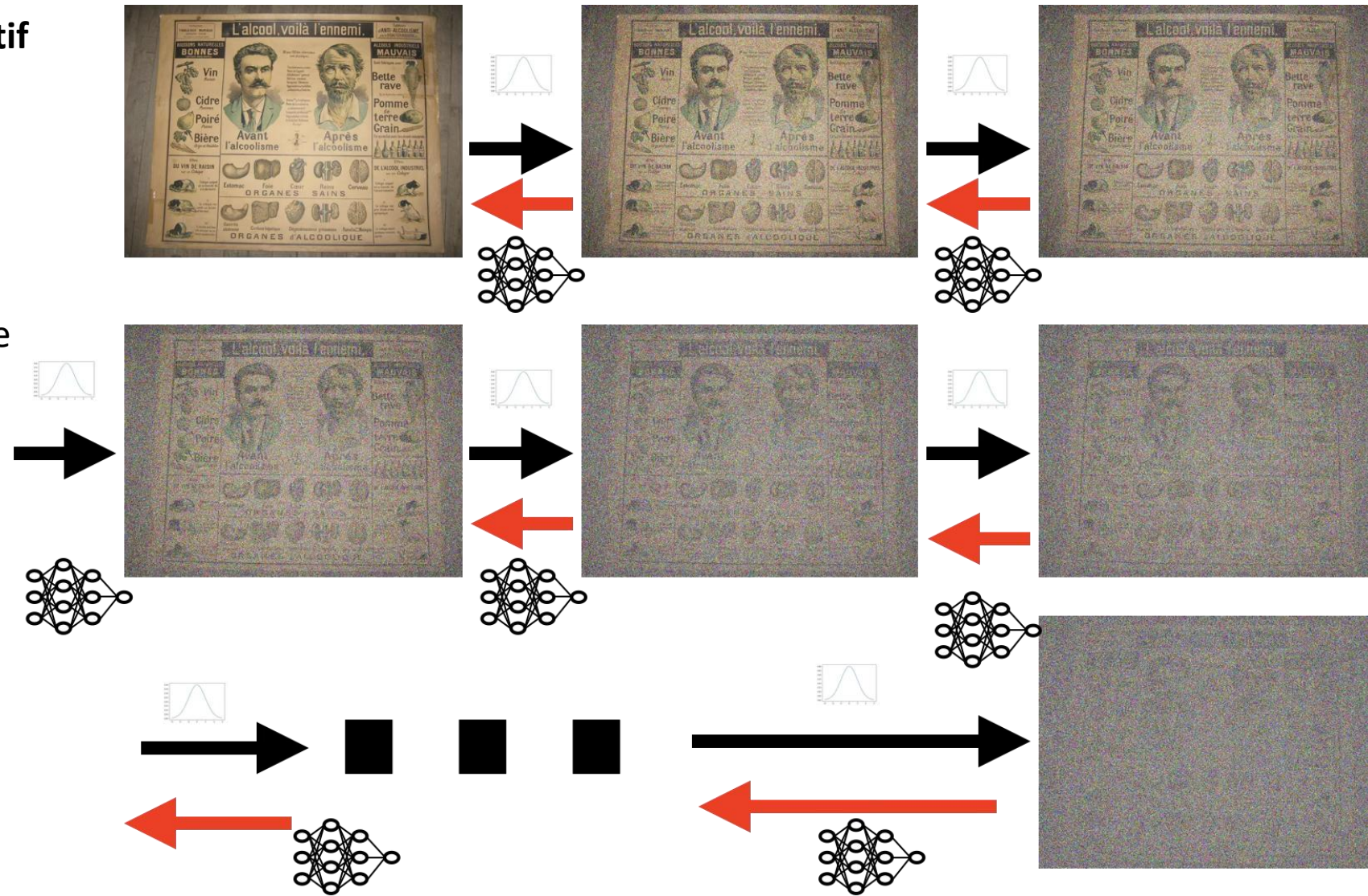




Pour aller plus loin : Modèle de diffusion

Modèle de diffusion : modèle génératif
le plus utilisé pour les images

- "Un réseau de neurones peut débruiter une image"
- Le même réseau appliqué plein de fois à du bruit peut créer une image





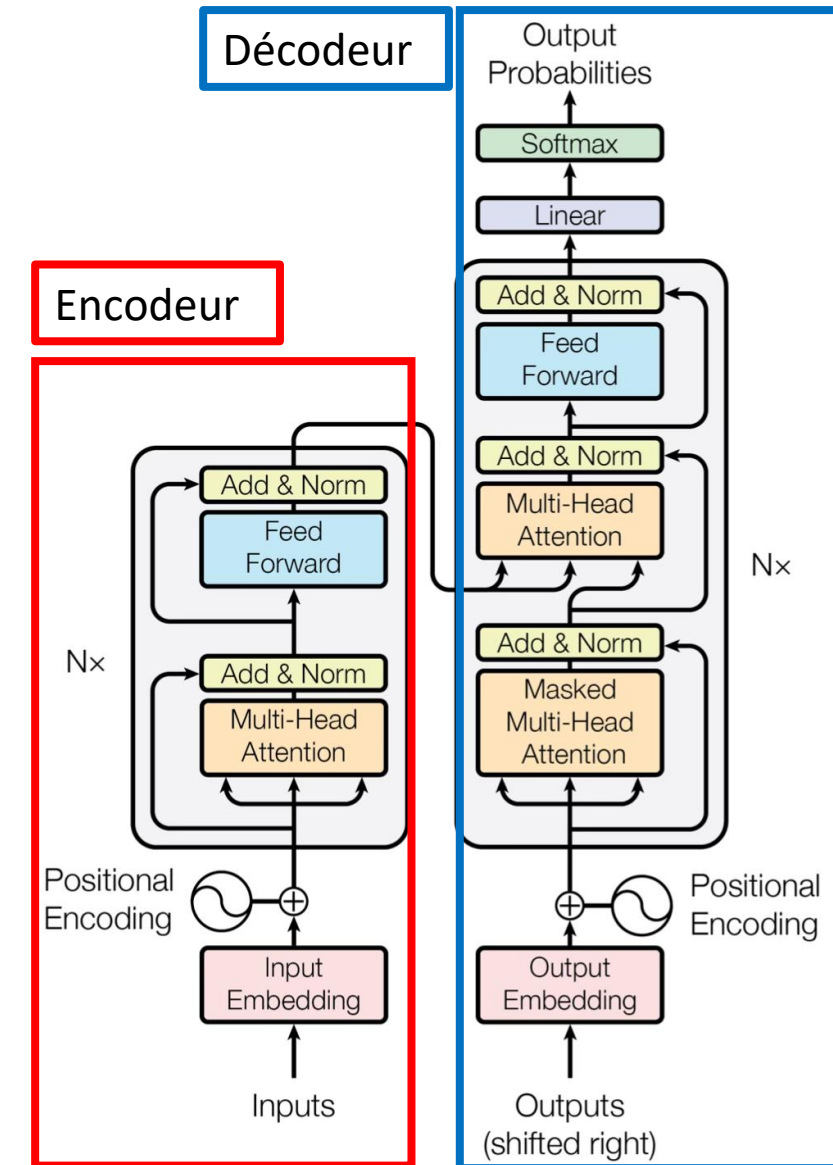
Pour aller plus loin : Transformer

Transformer : combinaison entre un GNN et un réseau récurrent

- **Encodeur** : **analyse** le contexte actuel
- **Décodeur** : **génère** une séquence basée sur le contexte

Utilisations:

- Large Language Model (LLM)
- Traduction
- **Encodeur** = Calcul/Analyse; **Décodeur** = Génération





IA Scientifique vs IA Générative

IA Scientifique

- Exploiter **nos données** par des approches mathématiques et statistiques plus efficaces
- Développer, entraîner et utiliser **dans nos labos**
- Autrefois appelée “**Technique multivariée**”
- Première application en HEP ~ 1980
- Exemples :
 - Reconstruire des particules dans un détecteur
 - Détecter automatiquement un problème avec une machine
 - Différencier une tumeur d'un tissu sain
 - Accélérer la simulation de nos expériences

IA Générative

- **Génération** de texte, image ou vidéo à partir d'une entrée (texte, son, autre image)
- Créé par de grandes entreprises
- Utilise des ressources **externes au labo**
- Exemples :
 - Résumer un texte
 - Traduire
 - Générer du code pour la programmation informatique

IA générative

Françoise Bouvet, SDev, Dept Informatique
Corentin Allaire, SDev, Dept Informatique
David Rousseau, PHE

Merci à Hugo Bacard



Les modèles génératifs servent à générer :

- Des données scientifiques
- Des images
- De l'audio
- Des vidéos
- Du texte

Génération d'images avec Emmy (MistralAI) : ~20



Accélérateur de particules



Accélérateur de particules dans le style renaissance

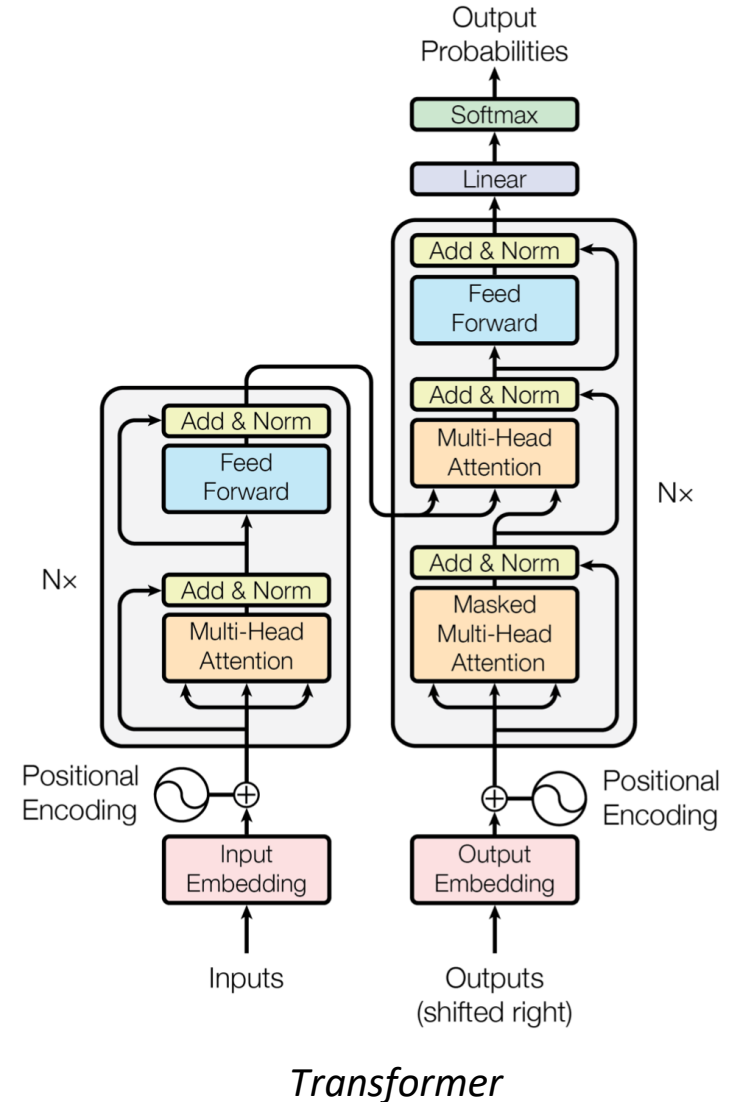


Génération de texte : les LLM

- LLM : Large Language Model
- Basés initialement sur les **transformers**
- Milliards de paramètres ; ex : LeChat 8B -> 8 milliards

Applications :

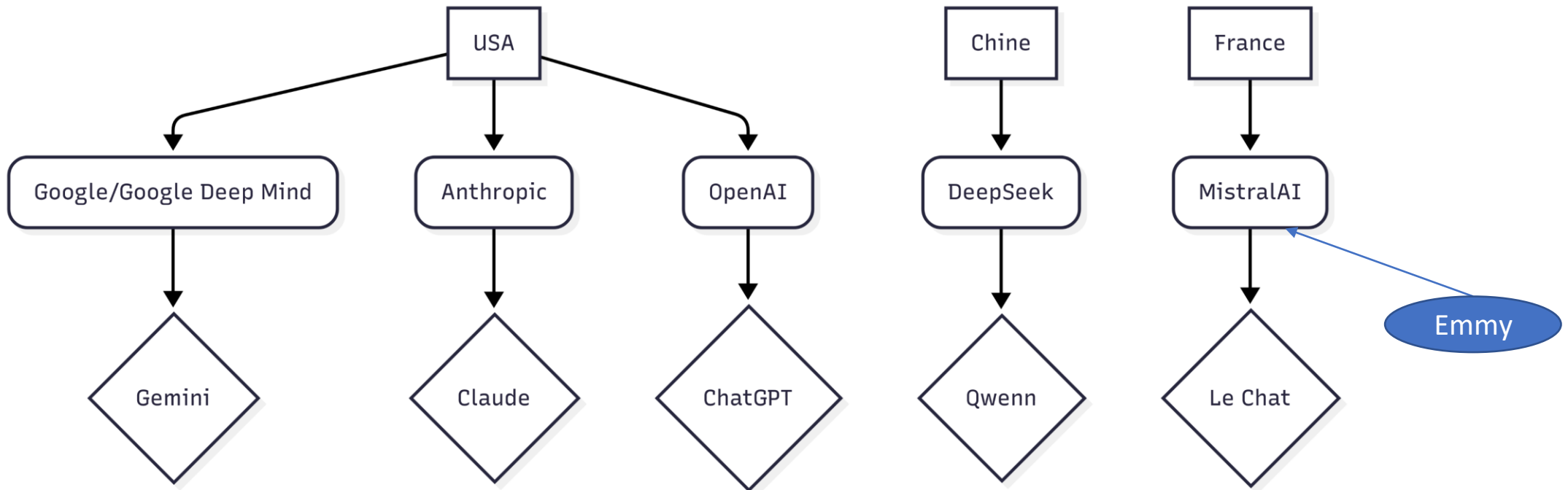
- Résumé, synthèse de texte
- Analyse de texte
- Correction orthographique
- Génération de contenu
- Extraction de données
- Réponse aux questions
- Traduction
- Recherche bibliographique
- Génération de code, refactoring
- ...





Principaux chatBot

- **ChatBot = LLM + interface**
- **IA agentique = LLM + interface + outils**
- Créés par de grandes entreprises en utilisant majoritairement les données provenant de **internet** et des **réseaux sociaux**
- Utilise des **ressources de calcul externes**





Fonctionnement d'un LLM

- Un mot est découpé en tokens (généralement mot ou syllabe)
- **Phase d'entraînement** : les données servent à déterminer les paramètres du modèle (texte à trou)
- **Phase d'inférence** : le LLM détermine le token le plus probable après un groupe de mots

Conséquences

- Connaissances **statistiques** : **le LLM n'est pas intelligent**
- **Importance de la qualité des données**
- **Biais** (de genre, âge, origine ethnique ou raciale, culturel, ...) : tout biais dans les données est répercuté dans les réponses
- Langue : plus performants en anglais
- Absence de compréhension pratique, du monde réel
- **Hallucinations** : données entièrement créées par le modèle

A savoir

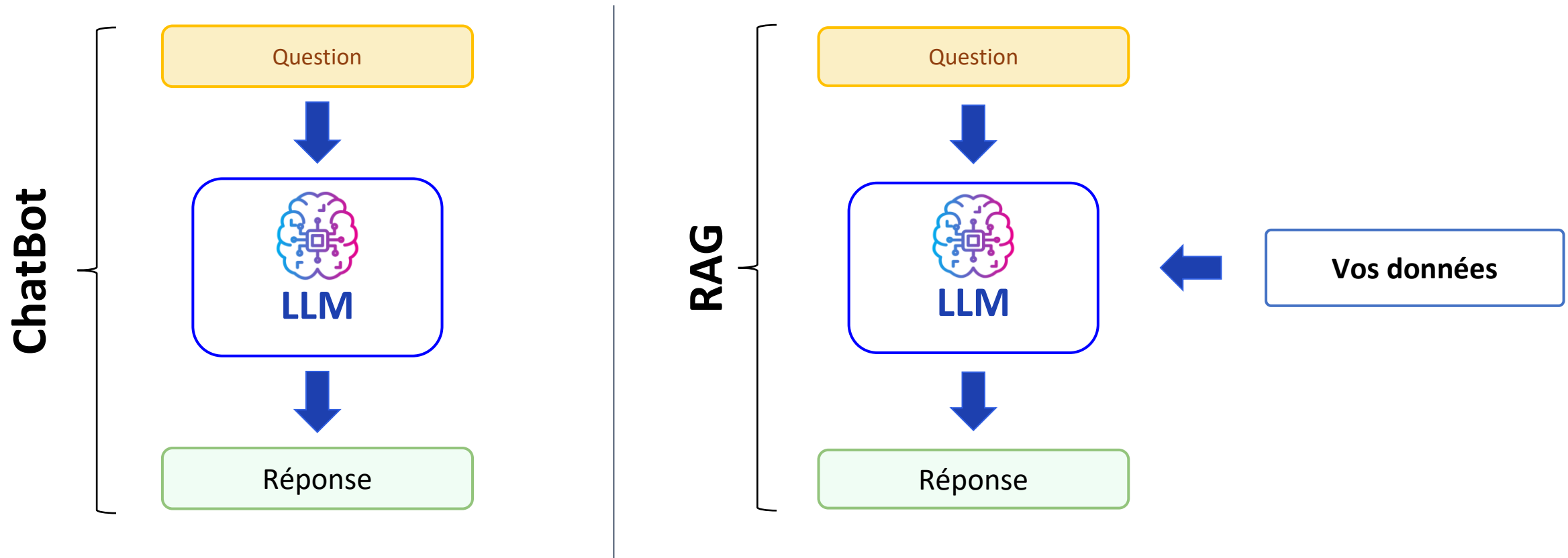
- **Protection des données** : les données fournies sont consultées par l'entreprise qui fournit le modèle -> fuite de données, problème de confidentialité
- **Coût énergétique** : consommation d'énergie *10 / moteur de recherche classique



RAG

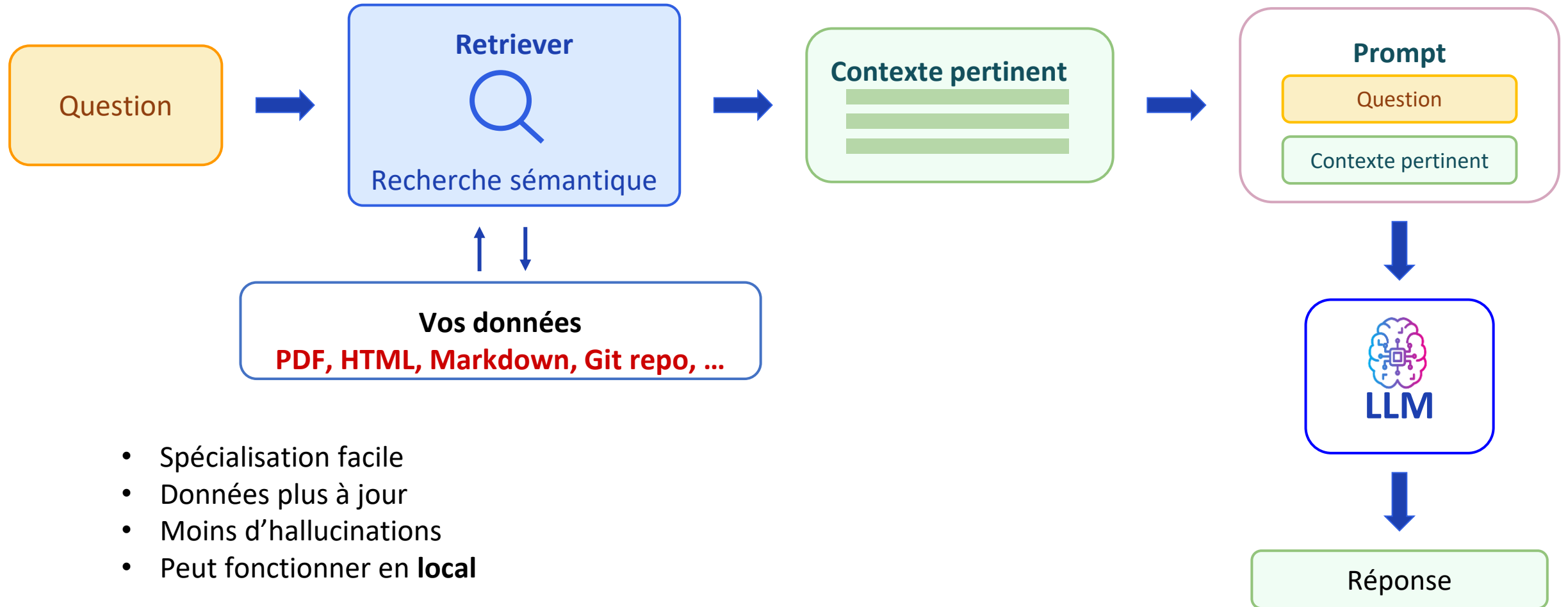
RAG = Retrieval Augmented Generation

Technique qui permet de connecter ses propres données aux modèles d'IA générative





Principe du RAG





Demande

- Donner des **consignes claires et précises**
 - qui écrit
 - l'objectif
 - le contexte
 - la forme (langage parlé, écrit, soutenu, ...)
 - les contraintes éventuelles (modèle)
 - la structure du document attendu
- **Procéder par étapes** (chaîne de pensée)
- Donner des exemples le cas échéant

Ces consignes valent aussi pour la génération d'images, de vidéos ou d'audio.

Réponse

- L'IA peut faire des erreurs -> apprendre à **évaluer les résultats**
- Garder un **esprit critique**
- Demander au modèle de citer les sources et les vérifier



Remarques générales

- comparia.beta.gouv.fr
 - Propose 2 réponses issues de 2 modèles parmi 80
 - Objectif : comparer les réponses de différents modèles d'IA
 - Mesure l'empreinte écologique des questions posées aux IA (consommation, CO2)
- Le prompt vous appartient mais pas toujours la réponse.
- Vous êtes responsable de ce que vous faites de la réponse.
- Soyez vigilant(e) quant à la **protection des données** « Si c'est gratuit, c'est que vous êtes le produit »
- Permet d'automatiser une tâche -> attention à ne pas automatiser vos capacités cognitives (perception, prise de décision)

Faire un usage raisonné de l'IA générative



Questions environnementales : le cas de Mistral AI

		GHG Emissions	Water Consumption	Materials Consumption
INFRASTRUCTURE	1 Model conception Download and storage of training data, developers' laptops embodied impacts and power consumption	<1%	<1%	<1%
	2 Datacenter construction Building and support equipment manufacturing	<1%	<1%	1.5%
	3 Hardware embodied impacts Server manufacturing transportation and end-of-life	11%	5%	61%
COMPUTING	4 Model training & inference Power and water use of servers and support equipment	85.5%	91%	29%
	5 Network traffic of tokens Transfer of requests to inference clusters and responses back to users	<1%	<1%	<1%
USAGE	6 End-user equipment Embodied impacts and power consumption	3%	2%	7%
	7 Downstream 'enabled' impacts Indirect impacts that result from the product's use	N/A	N/A	N/A

- Chiffres calculés par **Mistral AI** en collaboration avec **Carbone 4** et **l'ADEME**.
- *Peer-reviewed* par Resilio et Hubblo,
- **Entrainement** du modèle :
 - 20,4 ktCO₂e,
 - 281 000 m³ d'eau
 - 660 kg Sb eq (unité standard d'utilisation de ressources)
 - 1kg d'or -> 2.35 kg SB
 - 1kg de Cuivre -> 0.000000161 kg SB
- **Inférence** du modèle
(une question avec une réponse d'une page) :
 - 1.14 gCO₂e,
 - 45 mL d'eau
 - 0.16 mg Sb eq

<https://mistral.ai/news/our-contribution-to-a-global-environmental-standard-for-ai>



Questions environnementales : le cas de Mistral AI

		GHG Emissions	Water Consumption	Materials Consumption
INFRASTRUCTURE	1 Model conception Download and storage of training data, developers' laptops embodied impacts and power consumption	<1%	<1%	<1%
	2 Datacenter construction Building and support equipment manufacturing	<1%	<1%	1.5%
	3 Hardware embodied impacts Server manufacturing transportation and end-of-life	11%	5%	61%
COMPUTING	4 Model training & inference Power and water use of servers and support equipment	85.5%	91%	29%
	5 Network traffic of tokens Transfer of requests to inference clusters and responses back to users	<1%	<1%	<1%
USAGE	6 End-user equipment Embodied impacts and power consumption	3%	2%	7%
	7 Downstream 'enabled' impacts Indirect impacts that result from the product's use	N/A	N/A	N/A

- Quelques **conclusions** de l'étude:
 - Forte **corrélation** entre la **taille** du modèle et son **impact** environnemental (la plupart des modèles sont trop gros)
 - Manque d'étude sur la fin de vie des cartes graphiques utilisées par les centres de calcul
 - Enorme impact de **l'emplacement** du centre de calcul
- Les résultats seront disponibles via la base empreinte de **l'ADEME** (<https://base-empreinte.ademe.fr/>)

<https://mistral.ai/news/our-contribution-to-a-global-environmental-standard-for-ai>



Conclusion : quelques questions liées à l'IA

✓ **Interprétabilité**

- Modèles de Deep Learning = boîte noire
- Recherche académique active sur l'interprétabilité

✓ **Reproductibilité**

- 2 entraînements peuvent converger sur des résultats différents (conditions initiales)
- Les modèles entraînés sont déterministes

✓ **Questions de société**

- Quelle influence sur l'humain ?
- Rapport de l'humain à l'IA et aux robots ?

✓ **Questions éthiques**

- Responsabilité
- Prévention des biais
- Protection des données privées
- Droits d'auteur : données utilisées pour l'entraînement ?

✓ **Questions de gouvernance**

- Encadrement par les pouvoirs publics, EU AI Act (03/24)

✓ **Questions environnementales**



Futures actions

- Un **café IA** destiné aux personnes qui ont des **projets scientifiques** et qui sera renommé **caféML** (**M**achine **L**earning) pour focaliser sur l'IA scientifique.
- La mise en place d'un **canal Rocket Chat** pour les discussions à destination de ce même public.
- Afin de ne pas multiplier les canaux de diffusion, le groupe Calcul & Données sera étendu aux problèmes de ML et sera renommé « **ML, Calcul & Données** ».
- Un **webinaire** ou une (½) journée en semi-présentiel pour expliquer **comment démarrer un projet en IA**, quels sont les outils et les enjeux.
- Concernant **l'IA générative** :
 - Actions ponctuelles organisées par Hugo Bacard (telles que l'installation d'un RAG)
 - Table ronde sur l'impact sociétal ?