

# De Santiago Ramón y Cajal à l'apprentissage profond

Yves Meyer

Nantes, 30 avril, 2025

# Message

Et si les incroyables succès de l'IA venaient de ce que l'IA ne sait pas PENSER?

# Plan de l'exposé

- **Voitures autonomes.**
- Vision humaine et Computer Vision: Santiago Ramón y Cajal, David Marr, David Hubel et Törsten Wiesel.
- Yann Le Cun et Stéphane Mallat nous parlent du deep learning.
- Vladimir Vapnik et l'apprentissage supervisé.
- Ronald Coifman et l'apprentissage non supervisé.

# Plan de l'exposé

- Voitures autonomes.
- Vision humaine et Computer Vision: Santiago Ramón y Cajal, David Marr, David Hubel et Törsten Wiesel.
- Yann Le Cun et Stéphane Mallat nous parlent du deep learning.
- Vladimir Vapnik et l'apprentissage supervisé.
- Ronald Coifman et l'apprentissage non supervisé.

# Plan de l'exposé

- Voitures autonomes.
- Vision humaine et Computer Vision: Santiago Ramón y Cajal, David Marr, David Hubel et Törsten Wiesel.
- Yann Le Cun et Stéphane Mallat nous parlent du deep learning.
- Vladimir Vapnik et l'apprentissage supervisé.
- Ronald Coifman et l'apprentissage non supervisé.

# Plan de l'exposé

- Voitures autonomes.
- Vision humaine et Computer Vision: Santiago Ramón y Cajal, David Marr, David Hubel et Törsten Wiesel.
- Yann Le Cun et Stéphane Mallat nous parlent du deep learning.
- Vladimir Vapnik et l'apprentissage supervisé.
- Ronald Coifman et l'apprentissage non supervisé.

# Plan de l'exposé

- Voitures autonomes.
- Vision humaine et Computer Vision: Santiago Ramón y Cajal, David Marr, David Hubel et Törsten Wiesel.
- Yann Le Cun et Stéphane Mallat nous parlent du deep learning.
- Vladimir Vapnik et l'apprentissage supervisé.
- Ronald Coifman et l'apprentissage non supervisé.

# Résumé

- Nous analyserons l'Intelligence Artificielle en partant de l'exemple des voitures autonomes. Dans cet exemple les verrous sont les problèmes provenant de la **théorie mathématique de la vision**.
- Les avancées scientifiques sur le **fonctionnement de la vision humaine** (Santiago Ramón y Cajal, David Hubel et Törsten Wiesel) ont inspiré la construction des réseaux de neurones profonds. Ces réseaux sont au cœur de l'IA.

# Résumé

- Nous analyserons l'Intelligence Artificielle en partant de l'exemple des voitures autonomes. Dans cet exemple les verrous sont les problèmes provenant de la **théorie mathématique de la vision**.
- Les avancées scientifiques sur le **fonctionnement de la vision humaine** (Santiago Ramón y Cajal, David Hubel et Törsten Wiesel) ont inspiré la construction des réseaux de neurones profonds. Ces réseaux sont au cœur de l'IA.

# Le permis de conduire

- Un “robot” muni de tous les capteurs envisageables saurait-il conduire une voiture en appliquant rigoureusement des règles soigneusement définies?
- En 2004 la Darpa (Defense Advanced Research Projects Agency) a lancé une compétition dont les règles étaient les suivantes: la route, tracée dans le désert, longue de 200 Kms, comportait des obstacles. 15 véhicules autonomes, sans assistance humaine, participaient à la course.
- L'approche utilisée était du type “système expert”. L'ordinateur définissant la conduite de la voiture disposait (1) des données recueillies à chaque instant par les capteurs embarqués et (2) leur appliquait une démarche logique préprogrammée pour prendre une décision.
- Aucun des véhicules n'est allé plus loin que quinze kilomètres.

# Le permis de conduire

- Un “robot” muni de tous les capteurs envisageables saurait-il conduire une voiture en appliquant rigoureusement des règles soigneusement définies?
- En 2004 la Darpa (Defense Advanced Research Projects Agency) a lancé une compétition dont les règles étaient les suivantes: la route, tracée dans le désert, longue de 200 Kms, comportait des obstacles. 15 véhicules autonomes, sans assistance humaine, participaient à la course.
- L'approche utilisée était du type “système expert”. L'ordinateur définissant la conduite de la voiture disposait (1) des données recueillies à chaque instant par les capteurs embarqués et (2) leur appliquait une démarche logique préprogrammée pour prendre une décision.
- Aucun des véhicules n'est allé plus loin que quinze kilomètres.

# Le permis de conduire

- Un “robot” muni de tous les capteurs envisageables saurait-il conduire une voiture en appliquant rigoureusement des règles soigneusement définies?
- En 2004 la Darpa (Defense Advanced Research Projects Agency) a lancé une compétition dont les règles étaient les suivantes: la route, tracée dans le désert, longue de 200 Kms, comportait des obstacles. 15 véhicules autonomes, sans assistance humaine, participaient à la course.
- L'approche utilisée était du type “système expert”. L'ordinateur définissant la conduite de la voiture disposait (1) des données recueillies à chaque instant par les capteurs embarqués et (2) leur appliquait une démarche logique préprogrammée pour prendre une décision.
- Aucun des véhicules n'est allé plus loin que quinze kilomètres.

# Le permis de conduire

- Un “robot” muni de tous les capteurs envisageables saurait-il conduire une voiture en appliquant rigoureusement des règles soigneusement définies?
- En 2004 la Darpa (Defense Advanced Research Projects Agency) a lancé une compétition dont les règles étaient les suivantes: la route, tracée dans le désert, longue de 200 Kms, comportait des obstacles. 15 véhicules autonomes, sans assistance humaine, participaient à la course.
- L'approche utilisée était du type “système expert”. L'ordinateur définissant la conduite de la voiture disposait (1) des données recueillies à chaque instant par les capteurs embarqués et (2) leur appliquait une démarche logique préprogrammée pour prendre une décision.
- Aucun des véhicules n'est allé plus loin que quinze kilomètres.

# Grand Challenge



# Grand Challenge



DARPA ran its path-breaking Grand Challenge with the goal to accelerate the development of autonomous vehicle technologies. No team entry successfully completed the designated DARPA Grand Challenge route from Barstow, CA, to Primm, NV, on March 13, 2004. The event offered a \$1 million prize to the winner from 15 finalists, but the prize went unclaimed as no vehicles were able to complete the difficult desert route.

# Grand Challenge

Un des principaux problèmes venait du système de vision artificielle utilisé. Une tache noire sur la route est-elle une ombre ou un rocher? L'année suivante (2005) DARPA répéta son défi. La conduite automatique fut confiée au deep learning. Tous les véhicules réussirent le test.

# Grand Challenge

- Dans l'approche "système expert" l'ordinateur **déduit sa conduite** en appliquant des règles fixées à l'avance.
- Dans l'approche "deep learning" l'ordinateur compare ce qu'il voit à des situations déjà rencontrées et **induit sa conduite** en extrapolant à partir de ces exemples.
- Dans ce dernier cas, l'ordinateur apprend et perfectionne son logiciel en temps réel.

# Grand Challenge

- Dans l'approche "système expert" l'ordinateur **déduit sa conduite** en appliquant des règles fixées à l'avance.
- Dans l'approche "deep learning" l'ordinateur compare ce qu'il voit à des situations déjà rencontrées et **induit sa conduite** en extrapolant à partir de ces exemples.
- Dans ce dernier cas, l'ordinateur apprend et perfectionne son logiciel en temps réel.

# Grand Challenge

- Dans l'approche "système expert" l'ordinateur **déduit sa conduite** en appliquant des règles fixées à l'avance.
- Dans l'approche "deep learning" l'ordinateur compare ce qu'il voit à des situations déjà rencontrées et **induit sa conduite** en extrapolant à partir de ces exemples.
- Dans ce dernier cas, l'ordinateur apprend et perfectionne son logiciel en temps réel.

# Grand Challenge

- L'interprétation correcte des scènes enregistrées par les capteurs est le plus difficile des problèmes rencontrés dans la construction de véhicules autonomes.
- Il faut décider si une tache noire est une ombre ou un rocher.
- Dans le premier cas le véhicule continue à rouler, dans le second il ralentit et contourne l'obstacle.

# Grand Challenge

- L'interprétation correcte des scènes enregistrées par les capteurs est le plus difficile des problèmes rencontrés dans la construction de véhicules autonomes.
- Il faut décider si une tache noire est une ombre ou un rocher.
- Dans le premier cas le véhicule continue à rouler, dans le second il ralentit et contourne l'obstacle.

# Grand Challenge

- L'interprétation correcte des scènes enregistrées par les capteurs est le plus difficile des problèmes rencontrés dans la construction de véhicules autonomes.
- Il faut décider si une tache noire est une ombre ou un rocher.
- Dans le premier cas le véhicule continue à rouler, dans le second il ralentit et contourne l'obstacle.

# Le drame

Monday 19 Mar 2018. An autonomous Uber car killed a woman in the street in Tempe, Arizona, police said, in what appears to be the first reported fatal crash involving a self-driving vehicle and a pedestrian in the US.

Tempe police said the self-driving car was in autonomous mode at the time of the crash and that the vehicle hit a woman, who was walking outside of the crosswalk and later died at a hospital. There was a vehicle operator inside the car at the time of the crash.

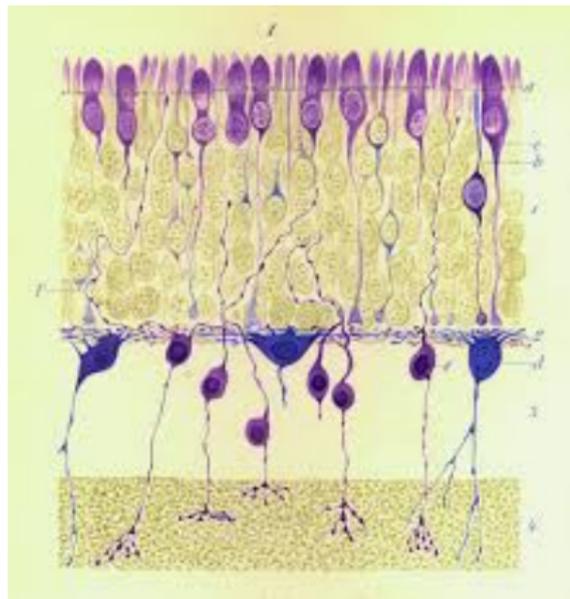
# Taxis Waymo

Les taxis Waymo sont autonomes de niveau 4 et opèrent à Los Angeles, Phoenix et San Francisco.

# Santiago Ramón y Cajal



# Santiago Ramón y Cajal



# Ramón y Cajal

- Ramón y Cajal (1852-1934) proposa à la fin du 19-ième siècle une explication du fonctionnement du cerveau. Il décrit le cerveau comme un ensemble de neurones. Il comprit le rôle des synapses. Ce sont des portes: si la porte est ouverte le signal est transmis d'un neurone à celui qui lui est connecté; sinon, pas de transmission.
- Cajal fit ces découvertes cinquante ans avant que les synapses puissent être vues (grâce au microscope électronique). Les synapses étaient invisibles à l'époque de Ramón y Cajal.
- Ramón y Cajal comprit que nos pensées sont des arborescences de neurones. Il découvrit la plasticité du cerveau.

# Ramón y Cajal

- Ramón y Cajal (1852-1934) proposa à la fin du 19-ième siècle une explication du fonctionnement du cerveau. Il décrit le cerveau comme un ensemble de neurones. Il comprit le rôle des synapses. Ce sont des portes: si la porte est ouverte le signal est transmis d'un neurone à celui qui lui est connecté; sinon, pas de transmission.
- Cajal fit ces découvertes cinquante ans avant que les synapses puissent être vues (grâce au microscope électronique). Les synapses étaient invisibles à l'époque de Ramón y Cajal.
- Ramón y Cajal comprit que nos pensées sont des arborescences de neurones. Il découvrit la plasticité du cerveau.

# Ramón y Cajal

- Ramón y Cajal (1852-1934) proposa à la fin du 19-ième siècle une explication du fonctionnement du cerveau. Il décrit le cerveau comme un ensemble de neurones. Il comprit le rôle des synapses. Ce sont des portes: si la porte est ouverte le signal est transmis d'un neurone à celui qui lui est connecté; sinon, pas de transmission.
- Cajal fit ces découvertes cinquante ans avant que les synapses puissent être vues (grâce au microscope électronique). Les synapses étaient invisibles à l'époque de Ramón y Cajal.
- Ramón y Cajal comprit que nos pensées sont des arborescences de neurones. Il découvrit la plasticité du cerveau.

# David Marr et la vision humaine

- David Marr (1945-1980) était un neurobiologiste anglais. Intéressé d'abord par une théorie générale de la cognition, il devint ensuite un spécialiste de la vision humaine.
- En 1977 David Marr rejoignit le MIT (Massachusetts Institute of Technology). Les chercheurs en robotique du MIT avaient échoué à construire un robot qui puisse utiliser ses capteurs pour se déplacer. Ils firent appel à David Marr, un spécialiste de la vision humaine, pour comprendre la raison de leur échec. Mais David Marr mourut d'une leucémie en 1980. Son livre est posthume.
- David Marr, *Vision: A Computational Investigation into the Human Representation and Processing of Visual Information*, New York, W. H. Freeman and Company, 1982.

# David Marr et la vision humaine

- David Marr (1945-1980) était un neurobiologiste anglais. Intéressé d'abord par une théorie générale de la cognition, il devint ensuite un spécialiste de la vision humaine.
- En 1977 David Marr rejoignit le MIT (Massachusetts Institute of Technology). Les chercheurs en robotique du MIT avaient échoué à construire un robot qui puisse utiliser ses capteurs pour se déplacer. Ils firent appel à David Marr, un spécialiste de la vision humaine, pour comprendre la raison de leur échec. Mais David Marr mourut d'une leucémie en 1980. Son livre est posthume.
- David Marr, *Vision: A Computational Investigation into the Human Representation and Processing of Visual Information*, New York, W. H. Freeman and Company, 1982.

# David Marr et la vision humaine

- David Marr (1945-1980) était un neurobiologiste anglais. Intéressé d'abord par une théorie générale de la cognition, il devint ensuite un spécialiste de la vision humaine.
- En 1977 David Marr rejoignit le MIT (Massachusetts Institute of Technology). Les chercheurs en robotique du MIT avaient échoué à construire un robot qui puisse utiliser ses capteurs pour se déplacer. Ils firent appel à David Marr, un spécialiste de la vision humaine, pour comprendre la raison de leur échec. Mais David Marr mourut d'une leucémie en 1980. Son livre est posthume.
- David Marr, *Vision: A Computational Investigation into the Human Representation and Processing of Visual Information*, New York, W. H. Freeman and Company, 1982.

# Hubel et Wiesel

Hubel (1926-2013) et Wiesel (1924- ) ont décodé le parcours du signal électrique qui part d'un cône ou d'un batonnet de la rétine pour rejoindre les zones cognitives du cerveau. Ce signal est transformé en une suite de 0 ou de 1 (en fait de spikes) par une succession de neurones dédiés. Les réseaux de neurones utilisés en IA sont construits en suivant ce modèle.

# Stéphane Mallat



# Stéphane Mallat nous parle

Deep convolutional neural networks have recently obtained remarkable experimental results. They give state-of-the-art performances for image classification with thousands of complex classes, speech recognition, biomedical applications, natural language understanding, and in many other domains. They are also studied as neurophysiological models of vision.

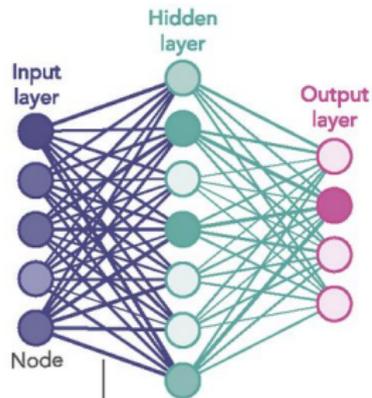
# Stéphane Mallat nous parle

Deep convolutional neural networks, introduced by Le Cun, are implemented with linear convolutions followed by non-linearities, over typically more than five layers. These complex programmable machines, defined by potentially billions of filter weights, bring us to a different mathematical world.

- Les réseaux de neurones formels imitent ceux qui opèrent dans le cortex visuel primaire.
- Le réseaux de neurones formels jouent un rôle essentiel dans l'apprentissage profond.

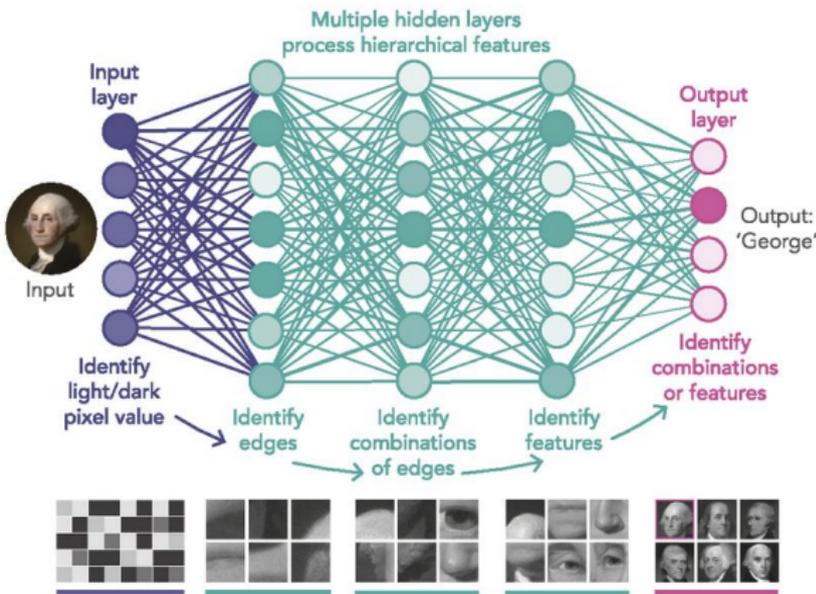
- Les réseaux de neurones formels imitent ceux qui opèrent dans le cortex visuel primaire.
- Les réseaux de neurones formels jouent un rôle essentiel dans l'apprentissage profond.

## 1980S-ERA NEURAL NETWORK



Links carry signals from one node to another, boosting or damping them according to each link's 'weight'.

## DEEP LEARNING NEURAL NETWORK



# Le prix Turing

- Chacun des trois lauréats du Prix Turing 2019 (Yoshua Bengio, Yann Le Cun et Geoffrey Hinton) a aidé à construire l'intelligence artificielle. Ils ont développé des méthodes d'apprentissage appelées "deep learning" ou réseaux de neurones profonds.
- Les paramètres de ces algorithmes ne sont pas introduits par les programmeurs mais "appris" à partir d'une base de données d'exemples, par essais-erreurs. Des millions, voire des milliards, de paramètres sont ainsi modifiés à partir de milliers, voire de millions, d'exemples.

# Le prix Turing

- Chacun des trois lauréats du Prix Turing 2019 (Yoshua Bengio, Yann Le Cun et Geoffrey Hinton) a aidé à construire l'intelligence artificielle. Ils ont développé des méthodes d'apprentissage appelées "deep learning" ou réseaux de neurones profonds.
- Les paramètres de ces algorithmes ne sont pas introduits par les programmeurs mais "appris" à partir d'une base de données d'exemples, par essais-erreurs. Des millions, voire des milliards, de paramètres sont ainsi modifiés à partir de milliers, voire de millions, d'exemples.

# Apprentissage supervisé

Soit  $X$  l'ensemble des données  $x$ . On cherche à construire une fonction  $F(x)$  (modélisant le jugement ou la décision prise sur la donnée  $x$ ) quand on connaît  $F(x_1) = y_1, \dots, F(x_N) = y_N$ . C'est le machine learning dans sa version supervisée. On cherche  $F$  en privilégiant certains critères (simplicité, vraisemblance) qui sont des a priori du problème et qui seront des contraintes injectées dans l'algorithme.

# Yann Le Cun



# Yann Le Cun

Yann Le Cun oriente sa recherche sur l'apprentissage et il propose pendant sa thèse une variante de l'algorithme de rétropropagation du gradient, qui permettra l'apprentissage des coefficients des réseaux de neurones. Il fait son post-doctorat au sein de l'équipe de Geoffrey Hinton à Montreal.

En 1987, Yann Le Cun rejoint l'Université de Toronto et en 1988 les laboratoires AT&T, pour lesquels il développe des méthodes d'apprentissage supervisé.

Yann Le Cun élabore l'algorithme de compression DjVu qui repose sur l'analyse par ondelettes.

Yann Le Cun est professeur à l'université de New York où il a créé le Center for Data Sciences.

# Yann Le Cun nous parle

L'explosion récente de l'intelligence artificielle et de ses applications est due en grande partie à l'utilisation de l'apprentissage machine, particulièrement des techniques d'apprentissage profond. Les idées fondatrices de l'apprentissage machine remontent aux années 50, et celles de l'apprentissage profond aux années 80. Les applications pratiques ont explosé ces dernières années, des voitures autonomes à la traduction, la recherche d'information et la médecine personnalisée.

# Yann Le Cun nous parle

Mais que dit la théorie? La formulation mathématique la plus générale des processus d'apprentissage supervisé est celle du mathématicien Russe émigré aux Etats-Unis Vladimir Vapnik. Dans son petit livre publié en 1995 "La Nature de la Théorie Statistique de l'Apprentissage", Vapnik décrit les conditions générales dans lesquelles un système, informatique ou biologique, peut apprendre une tâche, et à quelle vitesse.

# Yann Le Cun nous parle

Mais cette théorie générale n'explique pas pourquoi les méthodes modernes d'apprentissage profond fonctionnent si bien, bien mieux que les méthodes plus simples et mathématiquement mieux comprises. L'émergence de l'intelligence artificielle suscitera-t-elle une nouvelle théorie de l'intelligence ? C'est un nouveau défi pour les mathématiques et peut-être la clé des futurs progrès de l'intelligence artificielle.

# Vladimir Vapnik

- Vladimir Vapnik, né en 1936 en Ouzbékistan, a quitté l'Union Soviétique en 1995. A travaillé pour Bell AT& T, puis Facebook.
- *Mathematics is the language in which God has written the universe* (Galileo Galilei).
- My current research interest is to develop advanced models of empirical inference.

# Vladimir Vapnik

- Vladimir Vapnik, né en 1936 en Ouzbékistan, a quitté l'Union Soviétique en 1995. A travaillé pour Bell AT& T, puis Facebook.
- *Mathematics is the language in which God has written the universe* (Galileo Galilei).
- My current research interest is to develop advanced models of empirical inference.

# Vladimir Vapnik

- Vladimir Vapnik, né en 1936 en Ouzbékistan, a quitté l'Union Soviétique en 1995. A travaillé pour Bell AT& T, puis Facebook.
- *Mathematics is the language in which God has written the universe* (Galileo Galilei).
- My current research interest is to develop advanced models of empirical inference.

# Vladimir Vapnik nous parle

Despite the outstanding success of deep learning in real-world applications, most of the related research is empirically driven and a mathematical foundation is almost completely missing. At the same time, those methods have already shown their impressive potential in mathematical research areas such as imaging sciences, inverse problems, or numerical analysis of partial differential equations. Recently, theoretical research aiming to derive a fundamental understanding of different aspects of deep learning such as expressibility, generalization, identifiability, and learning as well as improving current methodologies has been intensified. Summarizing, deep learning is a rich research area, touching various areas of mathematics and posing an exciting challenge to mathematicians.

# DARPA

- L'apprentissage profond est une boîte noire. L'intelligence artificielle ne sait pas penser.
- Un programme de la DARPA (doté de 4 milliards de dollars) est de construire une intelligence artificielle qui puisse justifier ses décisions.

# DARPA

- L'apprentissage profond est une boîte noire. L'intelligence artificielle ne sait pas penser.
- Un programme de la DARPA (doté de 4 milliards de dollars) est de construire une intelligence artificielle qui puisse justifier ses décisions.

# La DARPA et l'intelligence artificielle

- La DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) a ouvert un programme de 4 milliards de dollars pour développer l'IA de troisième génération.
- L'intelligence artificielle est née en 1970. La première vague d'IA aurait pu être appelée *le savoir artisanal*. On nourrit l'ordinateur des connaissances, de l'expertise nécessités par un domaine particulier du savoir. Une fois nourri de cette expertise l'ordinateur répond à une demande en appliquant, en outre, des règles logiques.
- Cette **approche "système expert"** est très rigide. Elle échoue misérablement sur la reconnaissance vocale, la traduction automatique, les voitures autonomes, etc.

# La DARPA et l'intelligence artificielle

- La DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) a ouvert un programme de 4 milliards de dollars pour développer l'IA de troisième génération.
- L'intelligence artificielle est née en 1970. La première vague d'IA aurait pu être appelée *le savoir artisanal*. On nourrit l'ordinateur des connaissances, de l'expertise nécessités par un domaine particulier du savoir. Une fois nourri de cette expertise l'ordinateur répond à une demande en appliquant, en outre, des règles logiques.
- Cette approche "système expert" est très rigide. Elle échoue misérablement sur la reconnaissance vocale, la traduction automatique, les voitures autonomes, etc.

# La DARPA et l'intelligence artificielle

- La DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) a ouvert un programme de 4 milliards de dollars pour développer l'IA de troisième génération.
- L'intelligence artificielle est née en 1970. La première vague d'IA aurait pu être appelée *le savoir artisanal*. On nourrit l'ordinateur des connaissances, de l'expertise nécessités par un domaine particulier du savoir. Une fois nourri de cette expertise l'ordinateur répond à une demande en appliquant, en outre, des règles logiques.
- Cette **approche "système expert"** est très rigide. Elle échoue misérablement sur la reconnaissance vocale, la traduction automatique, les voitures autonomes, etc.

# DARPA perspective on AI

- Les systèmes-experts ne peuvent pas apprendre.
- La seconde génération d'IA est le machine learning.
- Machine learning est adapté aux problèmes nécessitant la perception du monde extérieur.
- Il échoue sur des problèmes nécessitant l'abstraction, la modélisation et le raisonnement.
- La troisième vague d'IA devra expliquer les décisions prises par l'IA en élaborant un modèle.

# DARPA perspective on AI

- Les systèmes-experts ne peuvent pas apprendre.
- La seconde génération d'IA est le machine learning.
- Machine learning est adapté aux problèmes nécessitant la perception du monde extérieur.
- Il échoue sur des problèmes nécessitant l'abstraction, la modélisation et le raisonnement.
- La troisième vague d'IA devra expliquer les décisions prises par l'IA en élaborant un modèle.

# DARPA perspective on AI

- Les systèmes-experts ne peuvent pas apprendre.
- La seconde génération d'IA est le machine learning.
- Machine learning est adapté aux problèmes nécessitant la perception du monde extérieur.
- Il échoue sur des problèmes nécessitant l'abstraction, la modélisation et le raisonnement.
- La troisième vague d'IA devra expliquer les décisions prises par l'IA en élaborant un modèle.

# DARPA perspective on AI

- Les systèmes-experts ne peuvent pas apprendre.
- La seconde génération d'IA est le machine learning.
- Machine learning est adapté aux problèmes nécessitant la perception du monde extérieur.
- Il échoue sur des problèmes nécessitant l'abstraction, la modélisation et le raisonnement.
- La troisième vague d'IA devra expliquer les décisions prises par l'IA en élaborant un modèle.

# DARPA perspective on AI

- Les systèmes-experts ne peuvent pas apprendre.
- La seconde génération d'IA est le machine learning.
- Machine learning est adapté aux problèmes nécessitant la perception du monde extérieur.
- Il échoue sur des problèmes nécessitant l'abstraction, la modélisation et le raisonnement.
- La troisième vague d'IA devra expliquer les décisions prises par l'IA en élaborant un modèle.

# L'approche de Coifman

Ronald Coifman travaille aujourd'hui sur l'**apprentissage non supervisé**, domaine où il a introduit des idées révolutionnaires.

# discussion



# Coifman

- Les “diffusion maps” introduits par Coifman sont une méthode de réduction de dimensionnalité qui préserve la structure géométrique des données en utilisant un processus de diffusion sur un graphe.
- Cette approche est particulièrement utile pour analyser des ensembles de données complexes et non linéaires, en révélant les structures sous-jacentes sans nécessiter de labels ou de supervision explicite.

# Coifman

- Les “diffusion maps” introduits par Coifman sont une méthode de réduction de dimensionnalité qui préserve la structure géométrique des données en utilisant un processus de diffusion sur un graphe.
- Cette approche est particulièrement utile pour analyser des ensembles de données complexes et non linéaires, en révélant les structures sous-jacentes sans nécessiter de labels ou de supervision explicite.

# Les diffusion maps

- L'idée clé des "diffusion maps" est de considérer les données comme un graphe où chaque point est relié aux autres selon une probabilité de transition. En appliquant une analyse spectrale sur ce graphe (notamment avec des valeurs propres et vecteurs propres de la matrice de transition), on obtient une représentation de l'espace qui reflète mieux les structures globales et locales des données.
- Les diffusion maps sont utilisées dans divers domaines: biologie, génomique, neurosciences, traitement du signal et reconnaissance de formes, modélisation de systèmes dynamiques complexes.
- C'est une technique puissante lorsque les données ont une structure intrinsèque non linéaire.

# Les diffusion maps

- L'idée clé des "diffusion maps" est de considérer les données comme un graphe où chaque point est relié aux autres selon une probabilité de transition. En appliquant une analyse spectrale sur ce graphe (notamment avec des valeurs propres et vecteurs propres de la matrice de transition), on obtient une représentation de l'espace qui reflète mieux les structures globales et locales des données.
- Les diffusion maps sont utilisées dans divers domaines: biologie, génomique, neurosciences, traitement du signal et reconnaissance de formes, modélisation de systèmes dynamiques complexes.
- C'est une technique puissante lorsque les données ont une structure intrinsèque non linéaire.

# Les diffusion maps

- L'idée clé des "diffusion maps" est de considérer les données comme un graphe où chaque point est relié aux autres selon une probabilité de transition. En appliquant une analyse spectrale sur ce graphe (notamment avec des valeurs propres et vecteurs propres de la matrice de transition), on obtient une représentation de l'espace qui reflète mieux les structures globales et locales des données.
- Les diffusion maps sont utilisées dans divers domaines: biologie, génomique, neurosciences, traitement du signal et reconnaissance de formes, modélisation de systèmes dynamiques complexes.
- C'est une technique puissante lorsque les données ont une structure intrinsèque non linéaire.

# Ronald Coifman et l'apprentissage non supervisé

- L'approche utilisée par R. Coifman pour résoudre les problèmes posés par l'IA repose sur une belle hypothèse scientifique: une régularité ou un ordre caché existe souvent dans beaucoup d'ensembles de données. Cette hypothèse nous dit que beaucoup d'ensembles de données possèdent une structure interne, car ils obéissent à des règles cachées. Cette hypothèse est soutenue par la DARPA.
- Etant donné un grand ensemble de données, l'algorithme construit par Coifman et appelé "diffusion map algorithm" nous apprend le système de coordonnées adapté à la description de cet ensemble.

# Ronald Coifman et l'apprentissage non supervisé

- L'approche utilisée par R. Coifman pour résoudre les problèmes posés par l'IA repose sur une belle hypothèse scientifique: une régularité ou un ordre caché existe souvent dans beaucoup d'ensembles de données. Cette hypothèse nous dit que beaucoup d'ensembles de données possèdent une structure interne, car ils obéissent à des règles cachées. Cette hypothèse est soutenue par la DARPA.
- Etant donné un grand ensemble de données, l'algorithme construit par Coifman et appelé "diffusion map algorithm" nous apprend le système de coordonnées adapté à la description de cet ensemble.

# Ronald Coifman et l'apprentissage non supervisé

- Cette représentation adaptée doit être utilisée pour résoudre les problèmes cognitifs.
- Voir le projet DIAL de la DARPA conduit par Ronald Coifman et Yannis Kevrekidis (PI).

# Ronald Coifman et l'apprentissage non supervisé

- Cette représentation adaptée doit être utilisée pour résoudre les problèmes cognitifs.
- Voir le projet DIAL de la DARPA conduit par Ronald Coifman et Yannis Kevrekidis (PI).

# Coifman nous parle

The proposed inference method is unsupervised. Thus, in contrast to supervised regression and classification techniques, it allows for the recovery of intrinsic complex states of dynamical systems, and is not restricted to learning “labels”. Indeed, experimental results on real biomedical signals show that the recovered variables have true physiological meaning, implying that some of the natural complexity of the signals was accurately captured.

# Ronald Coifman

- La vision scientifique de Coifman s'appuie sur soixante ans de travaux en analyse mathématique et sur quarante ans en traitement du signal.
- Cette vision se rattache à la fameuse décomposition de Calderón-Zygmund.
- Dans la même veine Coifman a ensuite découvert la décomposition atomique des fonctions de l'espace de Hardy  $\mathcal{H}^1$ .
- Ces deux algorithmes sont des exemples d'apprentissage non supervisé dans un contexte mathématique. Ils sont "data driven".

# Ronald Coifman

- La vision scientifique de Coifman s'appuie sur soixante ans de travaux en analyse mathématique et sur quarante ans en traitement du signal.
- Cette vision se rattache à la fameuse décomposition de Calderón-Zygmund.
- Dans la même veine Coifman a ensuite découvert la décomposition atomique des fonctions de l'espace de Hardy  $\mathcal{H}^1$ .
- Ces deux algorithmes sont des exemples d'apprentissage non supervisé dans un contexte mathématique. Ils sont "data driven".

# Ronald Coifman

- La vision scientifique de Coifman s'appuie sur soixante ans de travaux en analyse mathématique et sur quarante ans en traitement du signal.
- Cette vision se rattache à la fameuse décomposition de Calderón-Zygmund.
- Dans la même veine Coifman a ensuite découvert la décomposition atomique des fonctions de l'espace de Hardy  $\mathcal{H}^1$ .
- Ces deux algorithmes sont des exemples d'apprentissage non supervisé dans un contexte mathématique. Ils sont "data driven".

# Ronald Coifman

- La vision scientifique de Coifman s'appuie sur soixante ans de travaux en analyse mathématique et sur quarante ans en traitement du signal.
- Cette vision se rattache à la fameuse décomposition de Calderón-Zygmund.
- Dans la même veine Coifman a ensuite découvert la décomposition atomique des fonctions de l'espace de Hardy  $\mathcal{H}^1$ .
- Ces deux algorithmes sont des exemples d'apprentissage non supervisé dans un contexte mathématique. Ils sont "data driven".

# Neural Machine Translation

- Le texte malaisien signifiait “Il a trouvé un emploi comme infirmier” mais en malais il n’y a pas d’article masculin ou féminin. La traduction fut “Elle a trouvé un emploi comme infirmière”.
- Though the original Malay text contained no gender information, the English translation has assumed that the nurse is female and the programmer is male. The NMT system has made this assumption because the training data contained more examples of female than male nurses, and more examples of male than female programmers.

# Neural Machine Translation

- Le texte malaisien signifiait “Il a trouvé un emploi comme infirmier” mais en malais il n’y a pas d’article masculin ou féminin. La traduction fut “Elle a trouvé un emploi comme infirmière”.
- Though the original Malay text contained no gender information, the English translation has assumed that the nurse is female and the programmer is male. The NMT system has made this assumption because the training data contained more examples of female than male nurses, and more examples of male than female programmers.

# Traduction automatique

- This phenomenon is an unfortunate side-effect of how neural networks learn. By picking up on real-world patterns (such as the gender ratios in nursing and programming), the NMT system is inserting unfounded information into its translations. This example is particularly poignant because the translation system is compounding existing inequalities in the world.
- However, these kinds of errors can happen whenever the system learned a strong pattern in the training data, and might inappropriately deploy that pattern when translating. For example, if your training data was gathered in 2013 and had many examples of "US president Obama", but no examples of "US president Trump", your NMT system will regard the phrase "US president Trump" as highly unlikely. In the worst case, this could result in the NMT system changing "Trump" to "Obama".

# Traduction automatique

- This phenomenon is an unfortunate side-effect of how neural networks learn. By picking up on real-world patterns (such as the gender ratios in nursing and programming), the NMT system is inserting unfounded information into its translations. This example is particularly poignant because the translation system is compounding existing inequalities in the world.
- However, these kinds of errors can happen whenever the system learned a strong pattern in the training data, and might inappropriately deploy that pattern when translating. For example, if your training data was gathered in 2013 and had many examples of "US president Obama", but no examples of "US president Trump", your NMT system will regard the phrase "US president Trump" as highly unlikely. In the worst case, this could result in the NMT system changing "Trump" to "Obama".

# Nicolas Ayache nous parle

L'intelligence artificielle et les algorithmes d'apprentissage profond ont révolutionné l'analyse des images médicales avec des performances qui rivalisent avec celles des médecins spécialistes. L'IA peut également aider à construire un jumeau numérique du patient à partir de ses images médicales et d'informations supplémentaires (cliniques, biologiques, comportementales, environnementales, etc.). Ce jumeau numérique peut être utilisé pour guider le diagnostic, puis pour simuler, optimiser et guider la thérapie.

# L'avenir

- **L'Intelligence Artificielle (IA) devient un organisme vivant.**
- Tout en fonctionnant l'IA apprend, elle se perfectionne et elle évolue.
- Du moins dans certains secteurs c'est déjà le cas.
- On ne sait pas aujourd'hui ce que l'IA deviendra, ce qu'elle sera capable de faire et cela fait peur.

# L'avenir

- L'Intelligence Artificielle (IA) devient un organisme vivant.
- Tout en fonctionnant l'IA apprend, elle se perfectionne et elle évolue.
- Du moins dans certains secteurs c'est déjà le cas.
- On ne sait pas aujourd'hui ce que l'IA deviendra, ce qu'elle sera capable de faire et cela fait peur.

# L'avenir

- L'Intelligence Artificielle (IA) devient un organisme vivant.
- Tout en fonctionnant l'IA apprend, elle se perfectionne et elle évolue.
- Du moins dans certains secteurs c'est déjà le cas.
- On ne sait pas aujourd'hui ce que l'IA deviendra, ce qu'elle sera capable de faire et cela fait peur.

# L'avenir

- L'Intelligence Artificielle (IA) devient un organisme vivant.
- Tout en fonctionnant l'IA apprend, elle se perfectionne et elle évolue.
- Du moins dans certains secteurs c'est déjà le cas.
- On ne sait pas aujourd'hui ce que l'IA deviendra, ce qu'elle sera capable de faire et cela fait peur.

# L'avenir

Une IA auto-évolutive est une IA capable de s'améliorer et de s'adapter sans intervention humaine constante. Les avancées récentes de l'AGI (Intelligence générale artificielle) rapprochent cette idée de la réalité. Grâce aux avancées dans des domaines tels que le méta-apprentissage, l'apprentissage par renforcement et l'apprentissage auto-supervisé, l'IA devient de plus en plus capable d'apprendre de manière autonome, de fixer ses propres objectifs et de s'adapter à de nouveaux environnements. Cela soulève une question cruciale : sommes-nous sur le point de développer une IA capable d'évoluer comme des organismes vivants ?

# Foundation models

Formés sur des jeux de données massifs, les modèles de fondation (FM) sont de grands réseaux neuronaux de deep learning qui ont changé la façon dont les spécialistes des données abordent le machine learning (ML). Plutôt que de développer l'intelligence artificielle (IA) à partir de zéro, les spécialistes des données utilisent un modèle de fondation comme point de départ pour développer des modèles de machine learning qui alimentent les nouvelles applications plus rapidement et de manière plus rentable. Le terme modèle de fondation a été inventé par des chercheurs pour décrire des modèles de machine learning formés sur un large éventail de données généralisées et non étiquetées et capables d'effectuer une grande variété de tâches générales telles que la compréhension du langage, la génération de texte et d'images et la conversation en langage naturel.

# Foundation models

Les foundation models, ou modèles de base, ne sont pas entièrement autonomes dans la recherche de documents. Ils sont conçus pour traiter et analyser de grandes quantités de données, mais pour fonctionner efficacement, ils doivent être "nourris" avec des ensembles de données soigneusement sélectionnés et organisés par des experts. Ces données proviennent de diverses sources, comme des publications scientifiques, des sites web ou des bases de données spécialisées.

# Foundation models

Une fois entraînés, les foundation models peuvent effectuer de nombreuses tâches de manière autonome, comme comprendre du texte, générer des réponses, ou identifier des modèles dans des données. Cependant, le processus initial de sélection et de structuration des données dépend de l'intervention humaine. En outre, leur fonctionnement nécessite souvent des ajustements et des mises à jour régulières par des spécialistes pour garantir leur pertinence et leur précision.

# Références

Ronald Coifman, Stéphane Lafon, Diffusion maps. Appl. Comput. Harmon. Anal. 21 (2006) 5–30.

Giuliano da Empoli. L'heure des prédateurs. NRF (avril 2025).

Mallat S. 2016 Understanding deep convolutional networks. Phil. Trans. R. Soc. A 374: 20150203.

<http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2015.0203>

Stanislas Dehaene et Yann LeCun. La plus belle histoire de l'intelligence.

Rapport de Cédric Villani: Donner un sens à l'Intelligence Artificielle.

Gabriel Peyré. Les mathématiques de l'intelligence artificielle. La Gazette de la Société Mathématique de France, avril 2025.