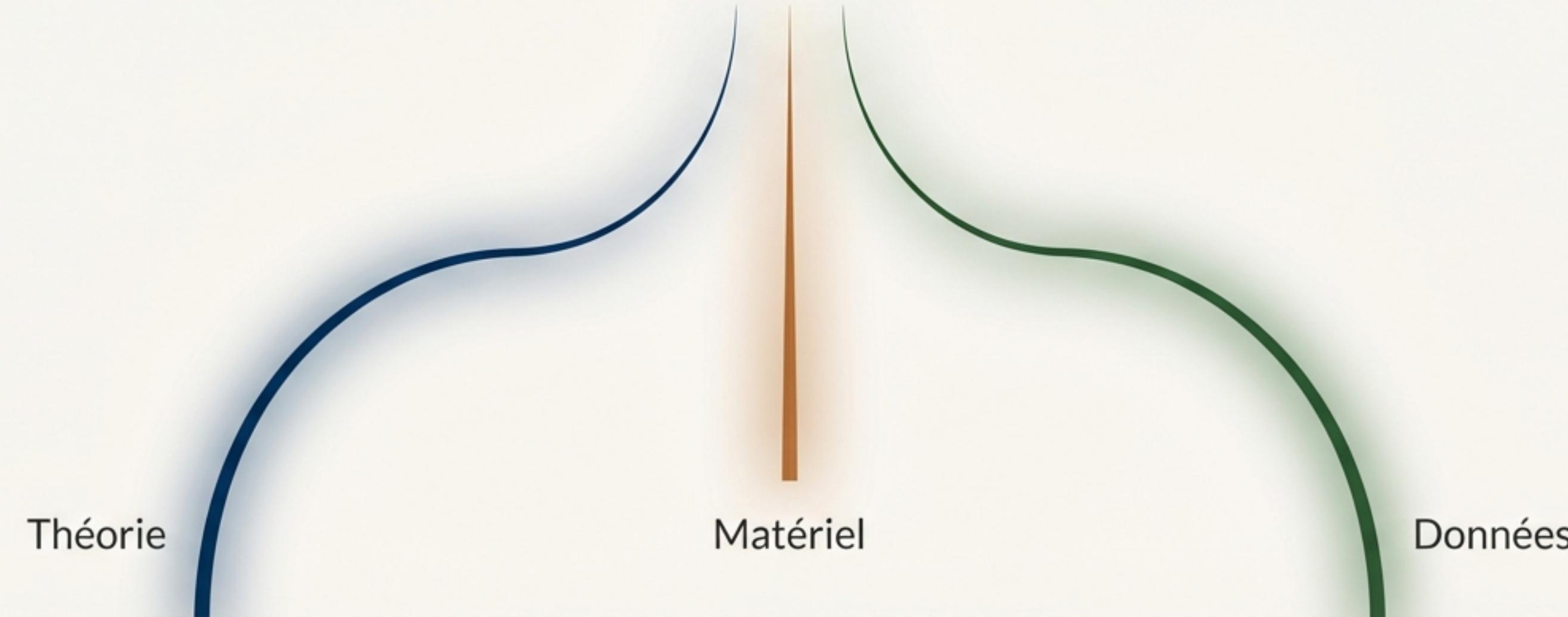


# Histoire de l'IA : La Grande Convergence

Comment la convergence de la théorie, du matériel et des données a déclenché une révolution.



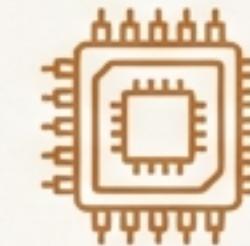
# L'IA n'est pas une ligne droite, mais une histoire d'interdépendances.

L'histoire de l'intelligence artificielle est une chronique d'interdépendances complexes. Les succès et les échecs ont toujours été dictés par une interaction dynamique entre trois forces fondamentales :



## 1. La Théorie Algorithmique (L'Esprit)

Les concepts, les modèles mathématiques et les paradigmes qui définissent l'intelligence.



## 2. La Capacité Matérielle (Le Corps)

La puissance de calcul brute, régie par la physique des semi-conducteurs et l'architecture des machines.



## 3. La Disponibilité des Données (Le Carburant)

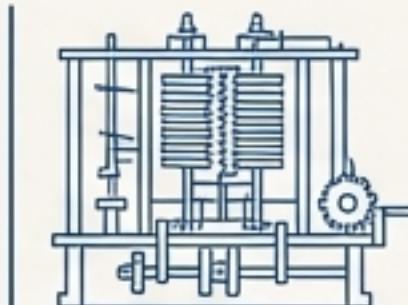
Les informations massives qui nourrissent et entraînent les modèles.



Le progrès n'explose que lorsque ces trois forces s'alignent. Les "Hivers de l'IA" sont des périodes où une force est limitée par les autres.

L'Âge des Fondations (1830 - 1945)

# Les fondations théoriques ont précédé la machine.

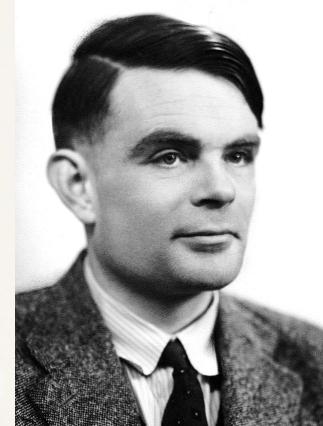


## Années 1830 : Le Rêve Mécanique

Charles Babbage conçoit la Machine Analytique. Ada Lovelace écrit le premier algorithme.

Matériel

Données



0	0	1	1	1	0
---	---	---	---	---	---

## 1936 : La Formalisation Abstraite

Alan Turing publie 'On Computable Numbers', définissant le concept de 'Machine de Turing Universelle'.

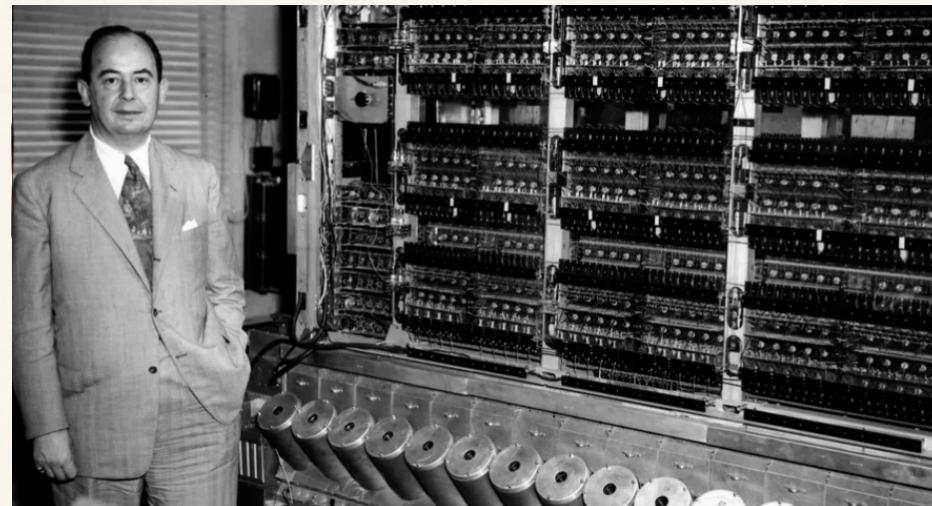
### Concept clé : L'Indécidabilité

Turing prouve qu'il existe des problèmes qu'aucune machine ne pourra jamais résoudre. Les limites fondamentales du calcul sont établies avant même la naissance de

# La concrétisation matérielle : de l'ENIAC à l'architecture Von Neumann.

- **1945 : Le Géant Électronique**

L'ENIAC, premier ordinateur entièrement électronique, est achevé. Massif (27 tonnes), il est 1000 fois plus rapide mais doit être recâblé pour chaque nouveau programme.



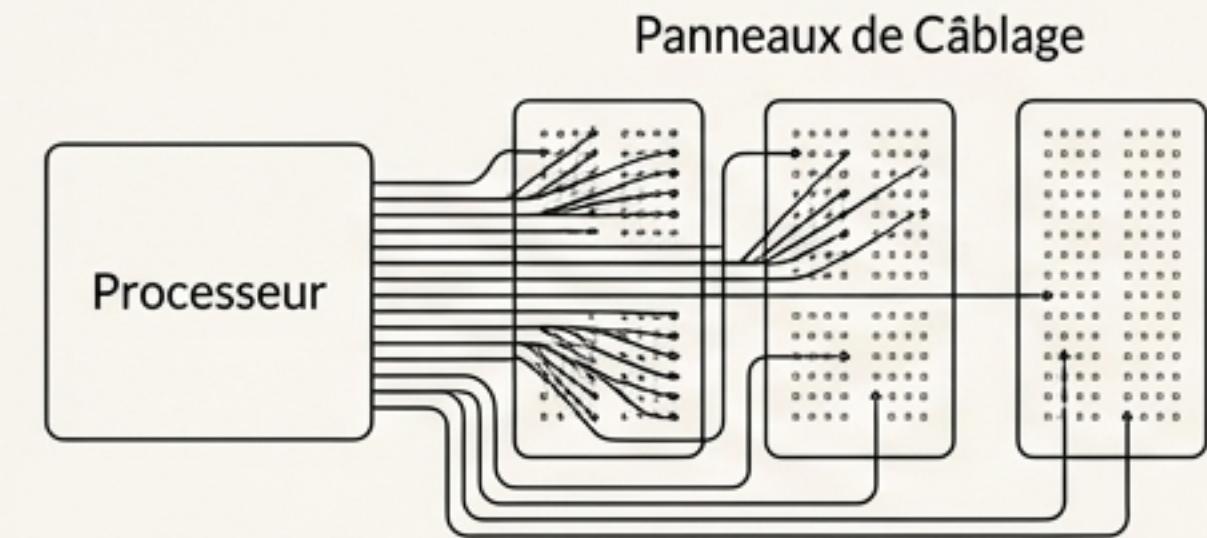
- **1945 : La Rupture Architecturale**

John von Neumann formalise l'architecture à programme enregistré : les instructions et les données sont stockées dans la même mémoire unifiée. C'est la naissance du *logiciel*.

- **La Contrainte Fondamentale**

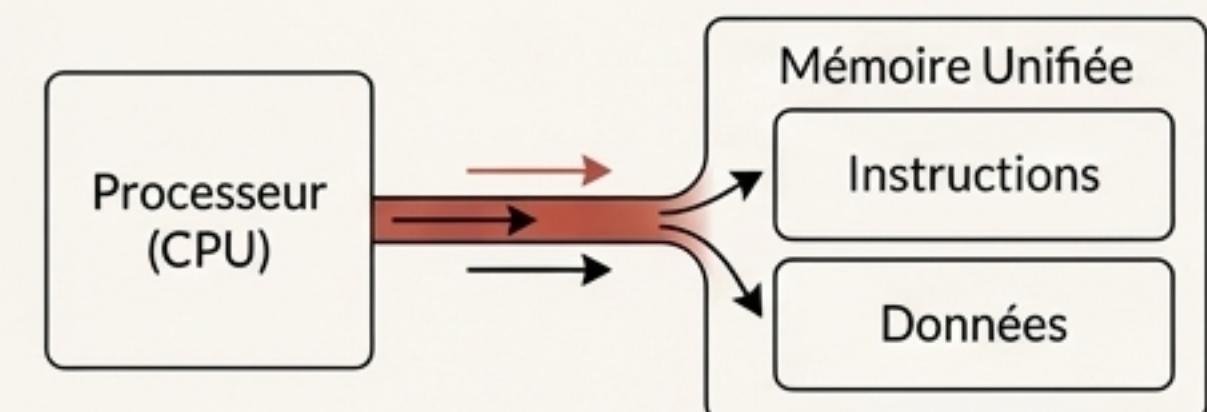
Cette architecture introduit le 'goulot d'étranglement de Von Neumann', une limitation du débit entre le processeur et la mémoire. Ce défi, né en 1945, est au cœur des enjeux de performance actuels.

ENIAC



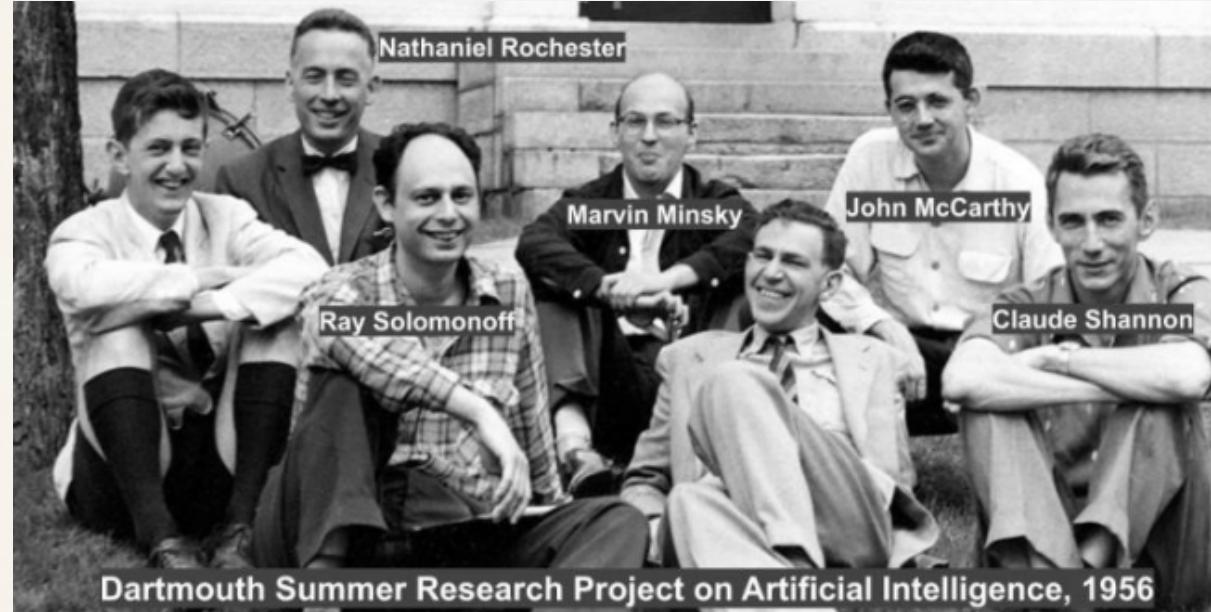
Programmation par câblage externe

Architecture Von Neumann



Programme et données dans une mémoire unifiée

## L'Aube de l'IA (1950 - 1973)



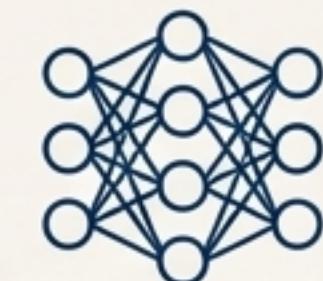
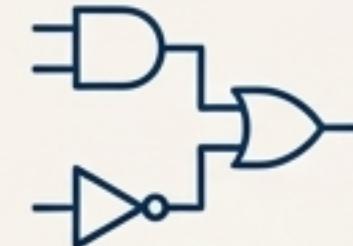
### Le Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence.

John McCarthy y introduit le terme 'intelligence artificielle'.



### IA Symbolique (GOFAI)

- **Description:** Approche 'top-down'. L'intelligence repose sur la manipulation de symboles et de règles logiques explicites.
- **Pionniers:** McCarthy, Marvin Minsky, Herbert Simon & Allen Newell.
- **Exemples:** Logic Theorist (1956), General Problem Solver (1957).



### Connexionisme

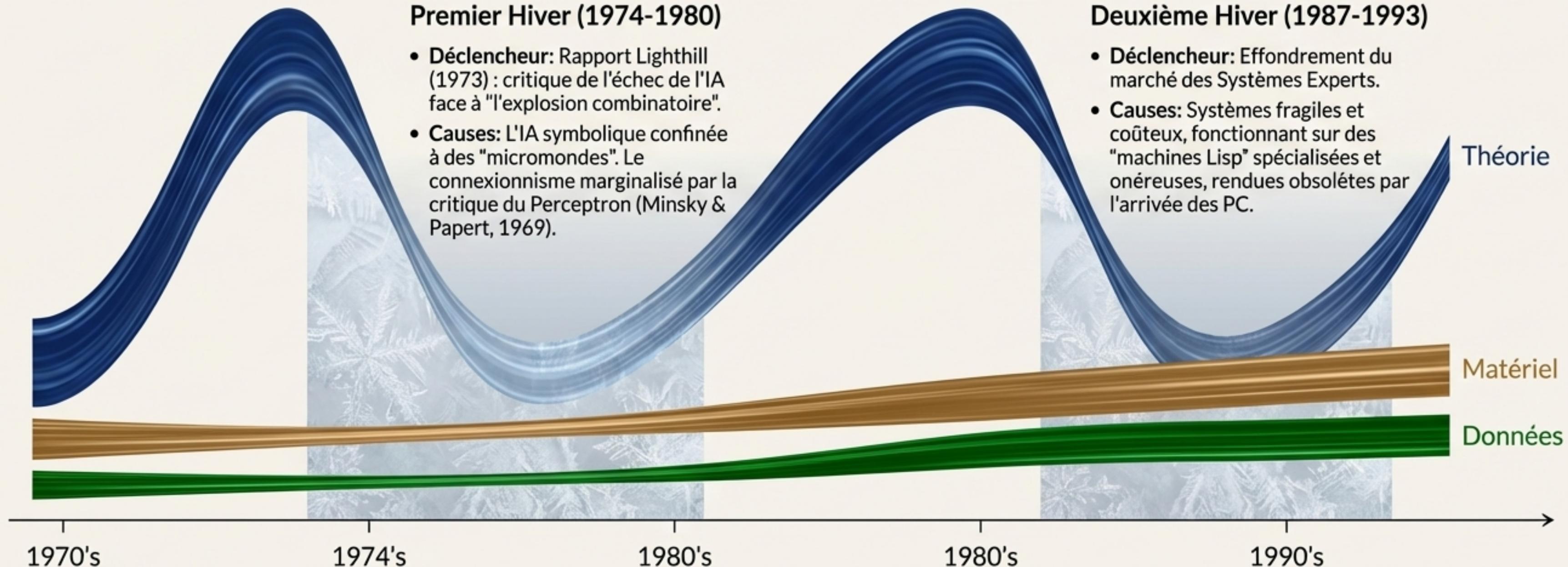
- **Description:** Approche 'bottom-up'. L'intelligence émerge de l'interaction de nombreuses unités simples, inspirée du cerveau.
- **Pionniers:** Warren McCulloch & Walter Pitts (1943), Frank Rosenblatt.
- **Exemple:** Le Perceptron (1957).



# Les Hivers de l'IA

## Le cycle de l'enthousiasme à la désillusion.

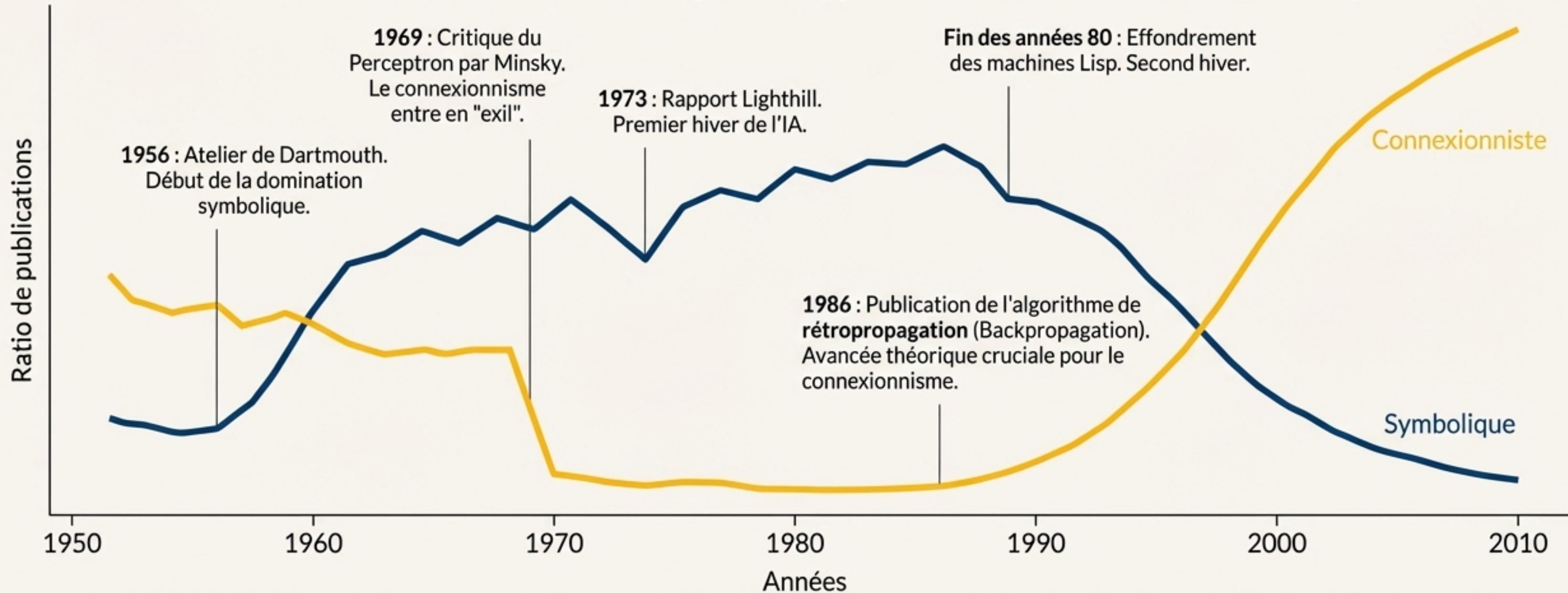
Les 'hivers' sont des périodes où la théorie et les promesses dépassent largement les capacités du matériel et la disponibilité des données.



# La revanche des neurones : une histoire de chute et de renaissance académique

L'analyse des publications scientifiques révèle la dynamique de la controverse. Après une domination de près de 30 ans, **l'approche symbolique** décline, tandis que le connexionnisme, longtemps marginalisé, connaît une résurgence spectaculaire à partir des années 1990 pour devenir le paradigme dominant.

## Évolution de l'influence académique des approches connexionniste et symbolique

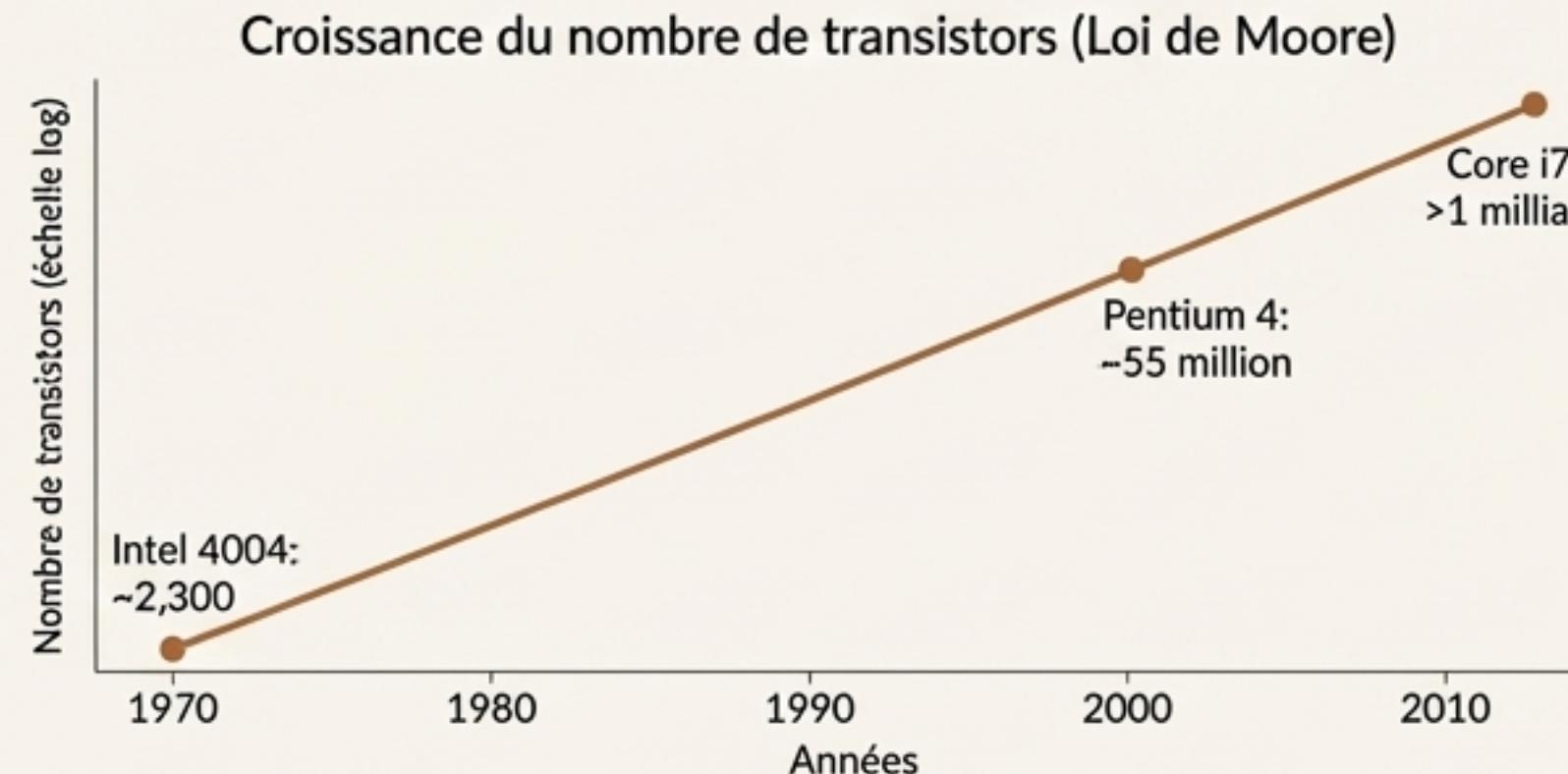


## La Révolution Silencieuse

Pendant que l'IA hibernait, le matériel et les données préparaient le terrain.

### Force 1 : Le Matériel et la Loi de Moore

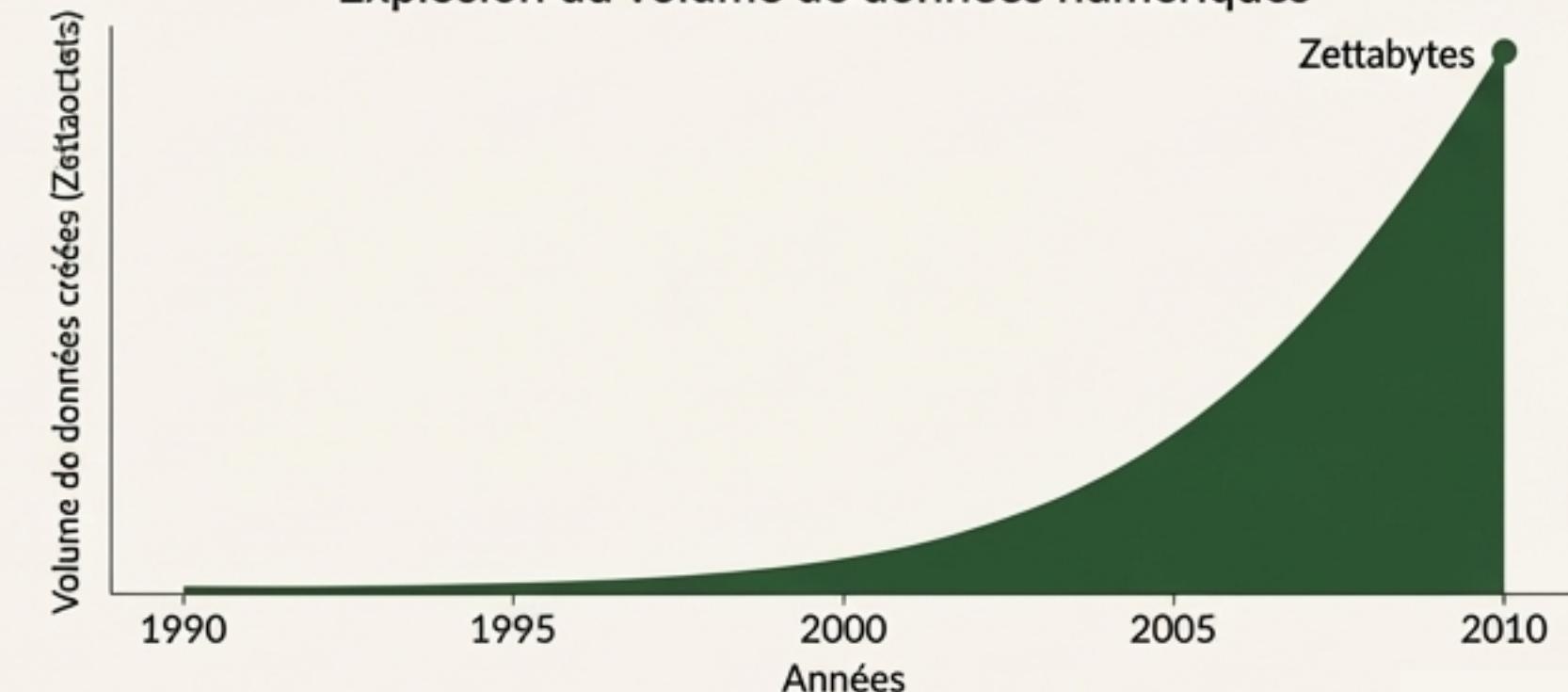
L'invention du transistor a permis une miniaturisation spectaculaire. La **Loi de Moore** a entraîné un doublement de la densité des transistors sur une puce à intervalles réguliers, créant une croissance exponentielle de la puissance de calcul – la condition *sine qua non* pour entraîner des réseaux de neurones à grande échelle.



### Force 2 : Les Données et le World Wide Web

**1989:** Tim Berners-Lee invente le World Wide Web. L'essor du web à la fin du deuxième hiver de l'IA a généré le phénomène du **Big Data**, fournissant le carburant indispensable pour les algorithmes d'apprentissage statistique.

### Explosion du volume de données numériques

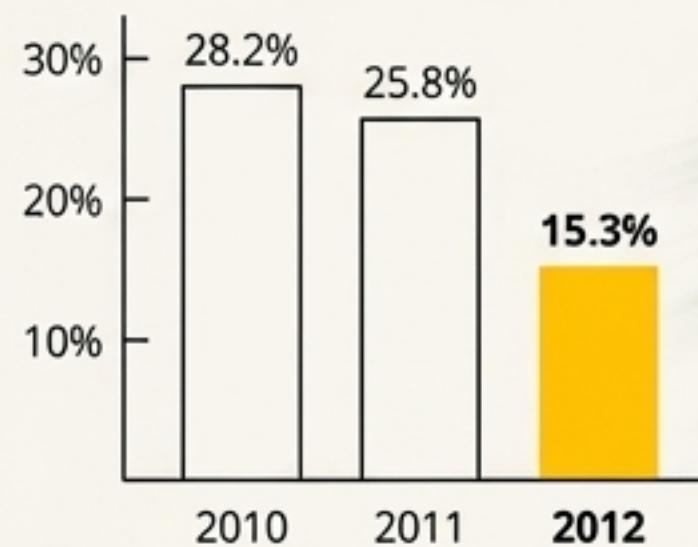


# 2012 : Le ‘Big Bang’ de l’ère moderne de l’IA.

## La victoire d’AlexNet

La victoire écrasante d’**AlexNet** au challenge ImageNet. Le modèle a atteint un taux d’erreur de 15,3%, un séisme pour la communauté.

Taux d’erreur ImageNet



2012

**Théorie** : Architectures de réseaux de neurones convolutifs (CNN) affinées.

**Matériel** : Utilisation massive des **GPU** pour paralléliser les calculs.

**Données** : Le jeu de données massif et étiqueté **ImageNet**.

## Deep Learning

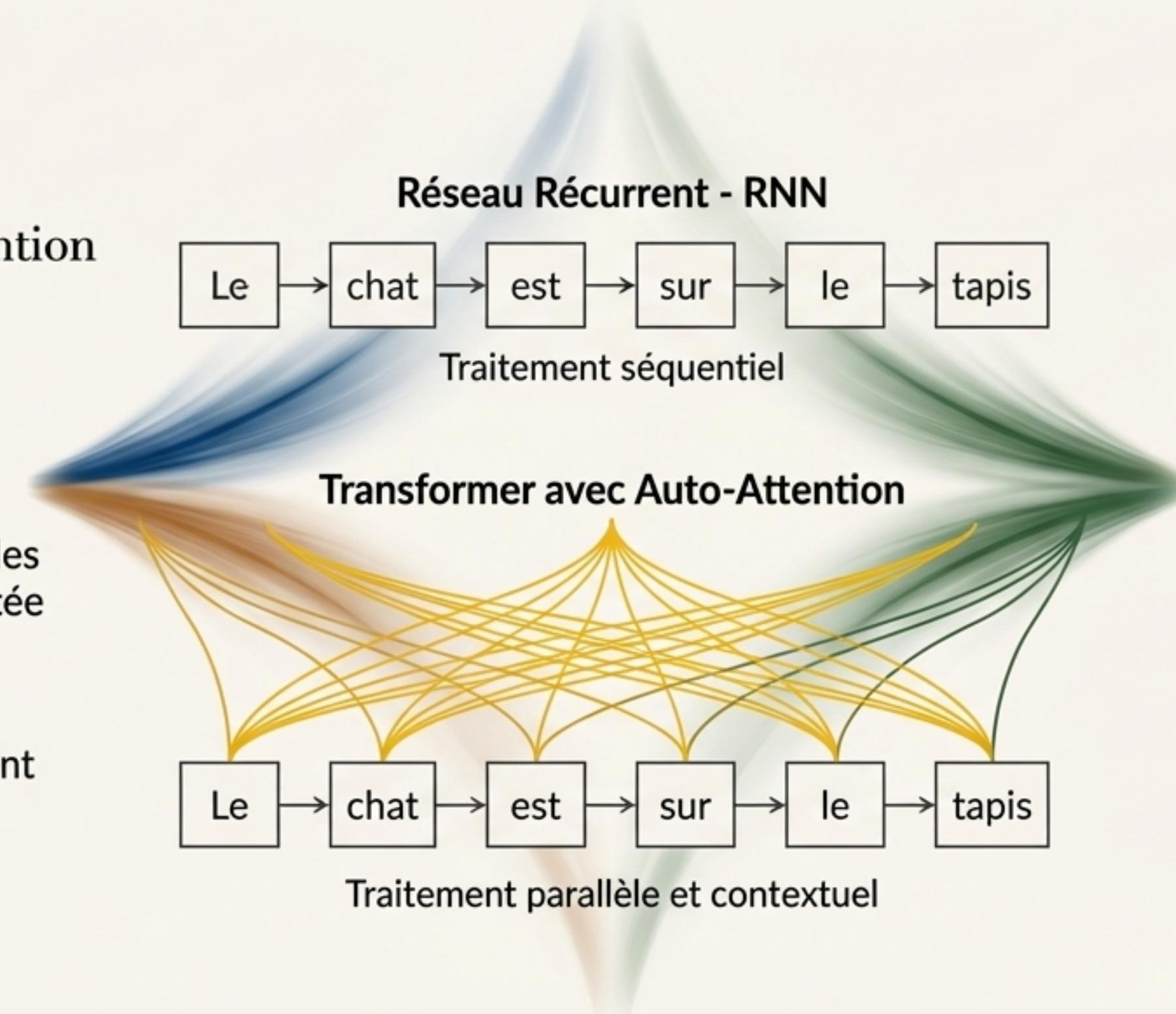
“ *‘Le jeune geek, il arrive, il annonce le résultat, la salle bondée à craquer... Il met 10 points à tout le monde !... Les mecs étaient tous par terre parce que grosso modo cela foutait en l’air 10 ans d’intelligence, de tuning, de sophistication.’* ”

# L'architecture Transformer : un nouveau paradigme pour le langage.

La Rupture de 2017 : Publication de l'article 'Attention Is All You Need' qui introduit l'architecture **Transformer**.

## Innovation Clé : Le Mécanisme d'Auto-Attention (Self-Attention)

- Remplace les approches séquentielles (RNN) par un traitement parallèle.
- Permet de mieux capturer les dépendances à longue portée dans le texte.
- Facilite une parallélisation massive sur les GPU, rendant l'entraînement de modèles gigantesques possible.



## Impact

- Fondement de tous les **Grands Modèles de Langage (LLM)** modernes (ex: GPT).
- Fonctionnent en prédisant le 'jeton' suivant.
- Entraînés par apprentissage auto-supervisé sur d'immenses corpus de texte.

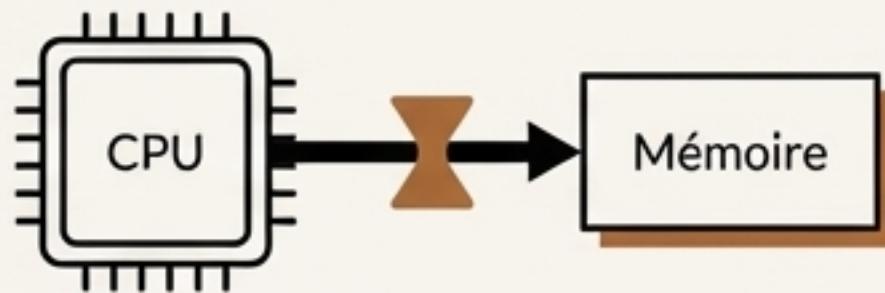
## Nouveaux Horizons

# La fin de la Loi de Moore et la quête de nouvelles architectures.

## Le Défi Actuel

La croissance exponentielle de la taille des modèles se heurte aux limites physiques de la Loi de Moore et exacerbé le **goulot d'étranglement** de Von Neumann. La progression de l'IA redevient un problème d'architecture matérielle.

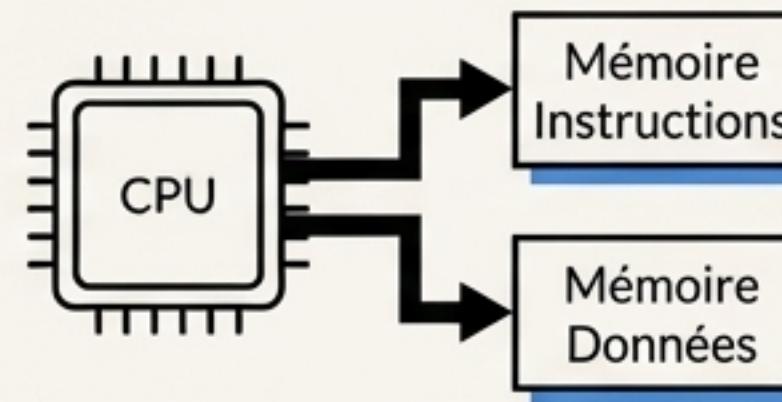
### Von Neumann



### Von Neumann

Bus commun pour les instructions et les données, créant un **goulot d'étranglement**.

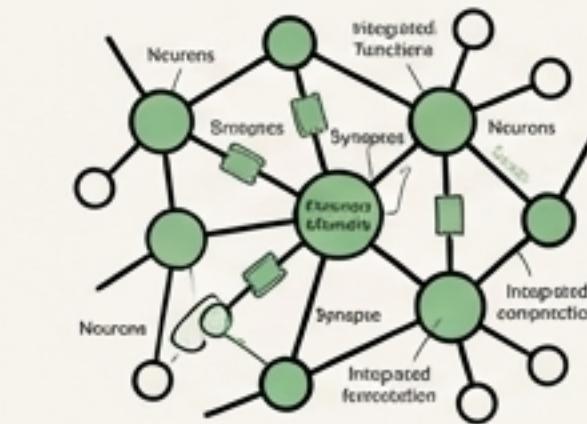
### Harvard



### Harvard

Sépare la mémoire des instructions et des données pour réduire le **goulot d'étranglement**.

### Neuromorphique



### Neuromorphique

S'inspire du cerveau. Traitement **massivement parallèle** et grande efficacité énergétique en intégrant calcul et mémoire.

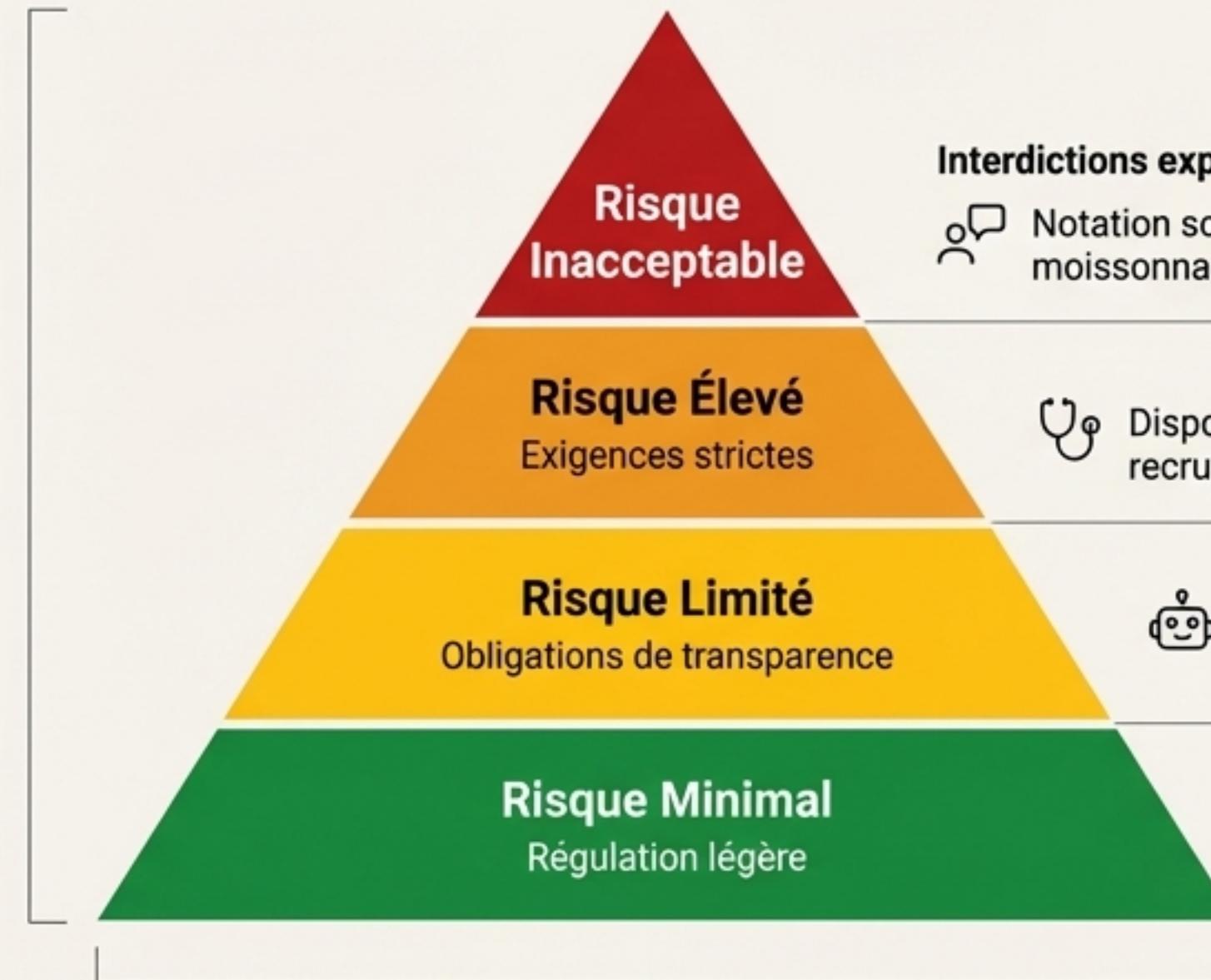
## La Nouvelle Dépendance

L'avenir de l'IA dépend de la science des matériaux. Des composants comme les **Memristors** (pour mimer les synapses) et les **isolants de Mott** (pour les neurones) sont au cœur de la recherche.

# La gouvernance de l'IA : l'impératif de la confiance

## La Réponse Législative

L'AI Act Européen (2024) : Le premier cadre juridique complet pour l'IA, avec une approche basée sur le niveau de risque.



## Objectif stratégique

Aligner le développement technologique avec les droits fondamentaux pour assurer la confiance et la pérennité du domaine.

## Le Contexte

La puissance des nouveaux modèles soulève des défis éthiques majeurs (biais, transparence, "boîte noire"). Une perte de confiance massive pourrait geler les financements et la recherche.

### Interdictions explicites

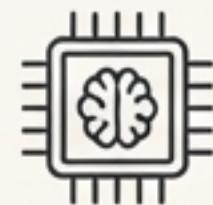
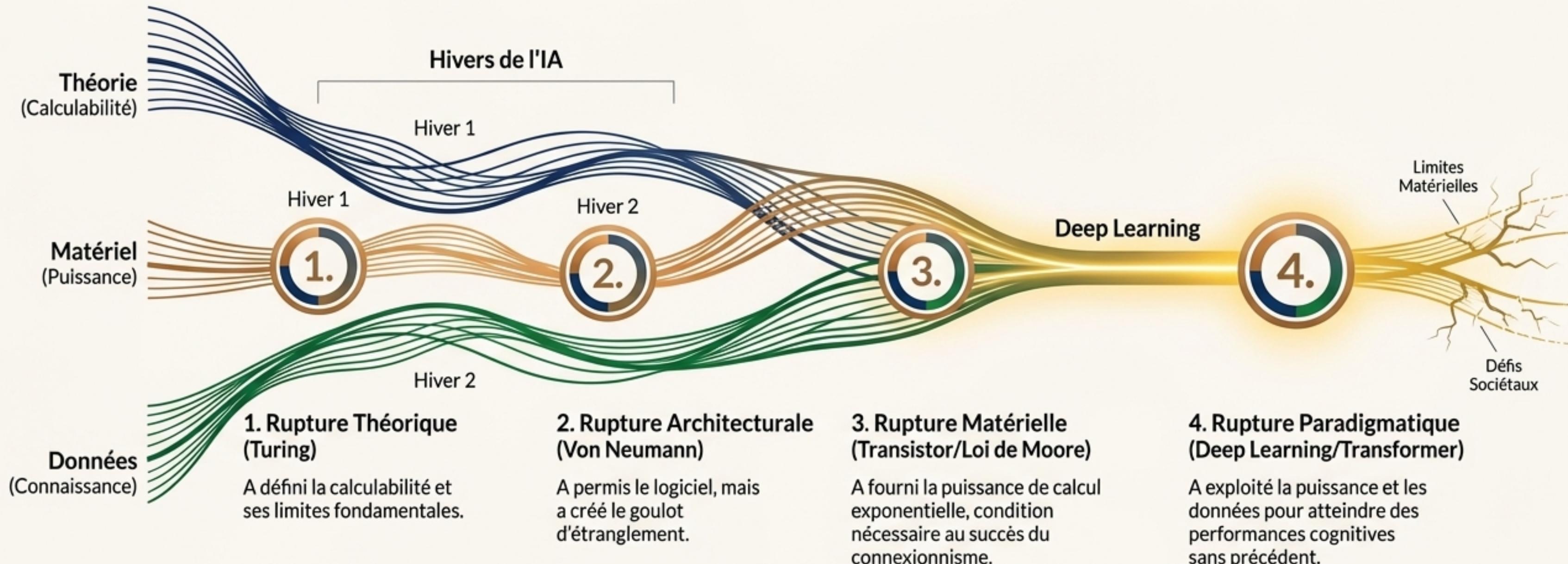
- 🚫 Notation sociale, reconnaissance des émotions au travail, moissonnage non ciblé d'images faciales.

- ✋ Dispositifs médicaux, infrastructures critiques, recrutement.

- 🤖 Chatbots, deepfakes.

- 🎮 Filtres anti-spam, jeux vidéo.

# Les quatre ruptures qui ont façonné l'IA et les défis de demain.



## Défi Matériel

Migrer vers des architectures post-Moore (neuromorphiques), un problème de science des matériaux.



## Défi Sociétal

Assurer la gouvernance et la confiance pour éviter un hiver de l'IA d'origine non plus technique, mais sociale.

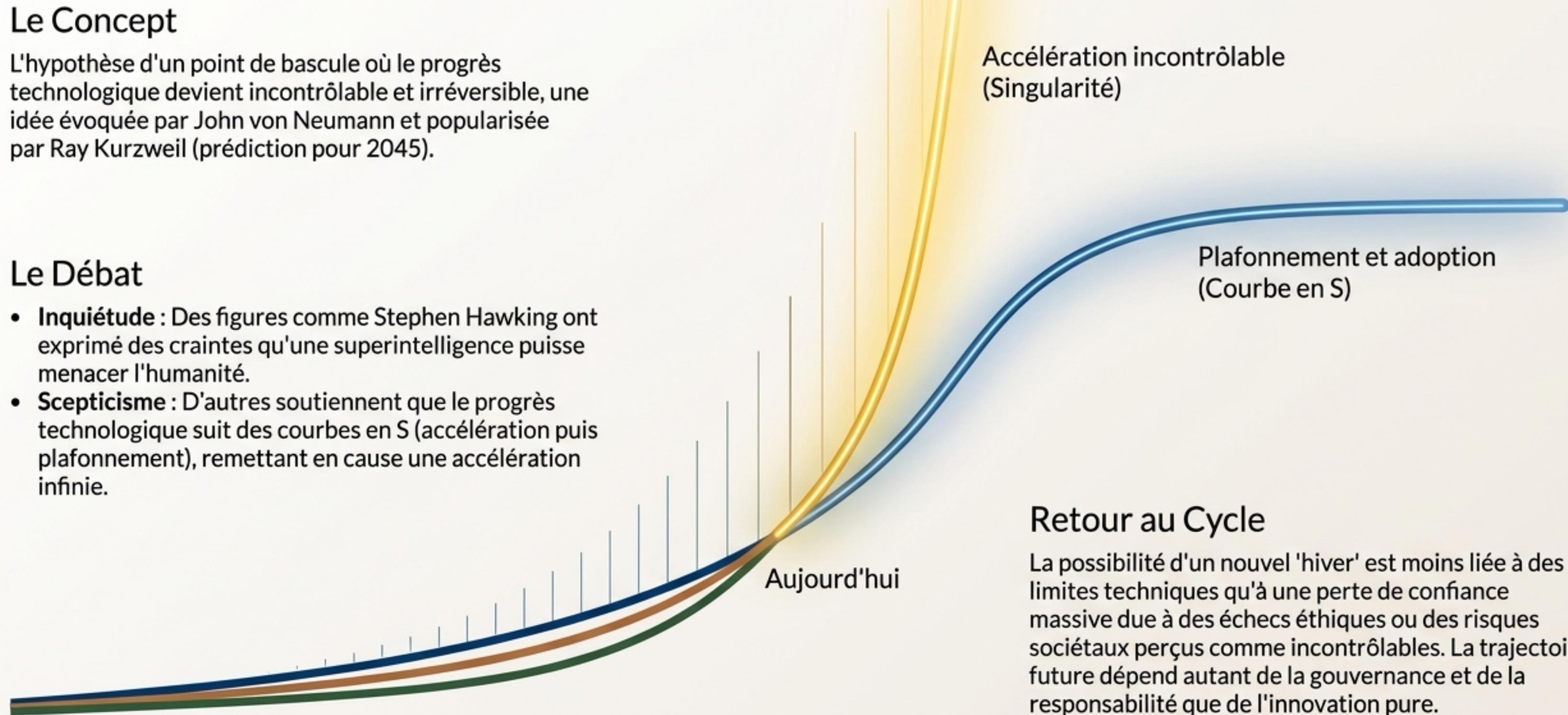
# La Singularité : horizon théorique ou prochaine désillusion ?

## Le Concept

L'hypothèse d'un point de bascule où le progrès technologique devient incontrôlable et irréversible, une idée évoquée par John von Neumann et popularisée par Ray Kurzweil (prédiction pour 2045).

## Le Débat

- Inquiétude** : Des figures comme Stephen Hawking ont exprimé des craintes qu'une superintelligence puisse menacer l'humanité.
- Scepticisme** : D'autres soutiennent que le progrès technologique suit des courbes en S (accélération puis plafonnement), remettant en cause une accélération infinie.



## Retour au Cycle

La possibilité d'un nouvel 'hiver' est moins liée à des limites techniques qu'à une perte de confiance massive due à des échecs éthiques ou des risques sociaux perçus comme incontrôlables. La trajectoire future dépend autant de la gouvernance et de la responsabilité que de l'innovation pure.