

Chapitre 6

Réseaux de Neurones et Deep Learning

De l'équation simple à l'inspection automatisée des ouvrages.

LENGTH: 550.00m

HEIGHT: 75.50m

SCALE: 1:1.0m

SCALE: 1:100

HEIGHT: 75.50m

A

C

R

K

STRUCTURE
INTEGRITY DATA

DEEP
LEARNING
LAYER

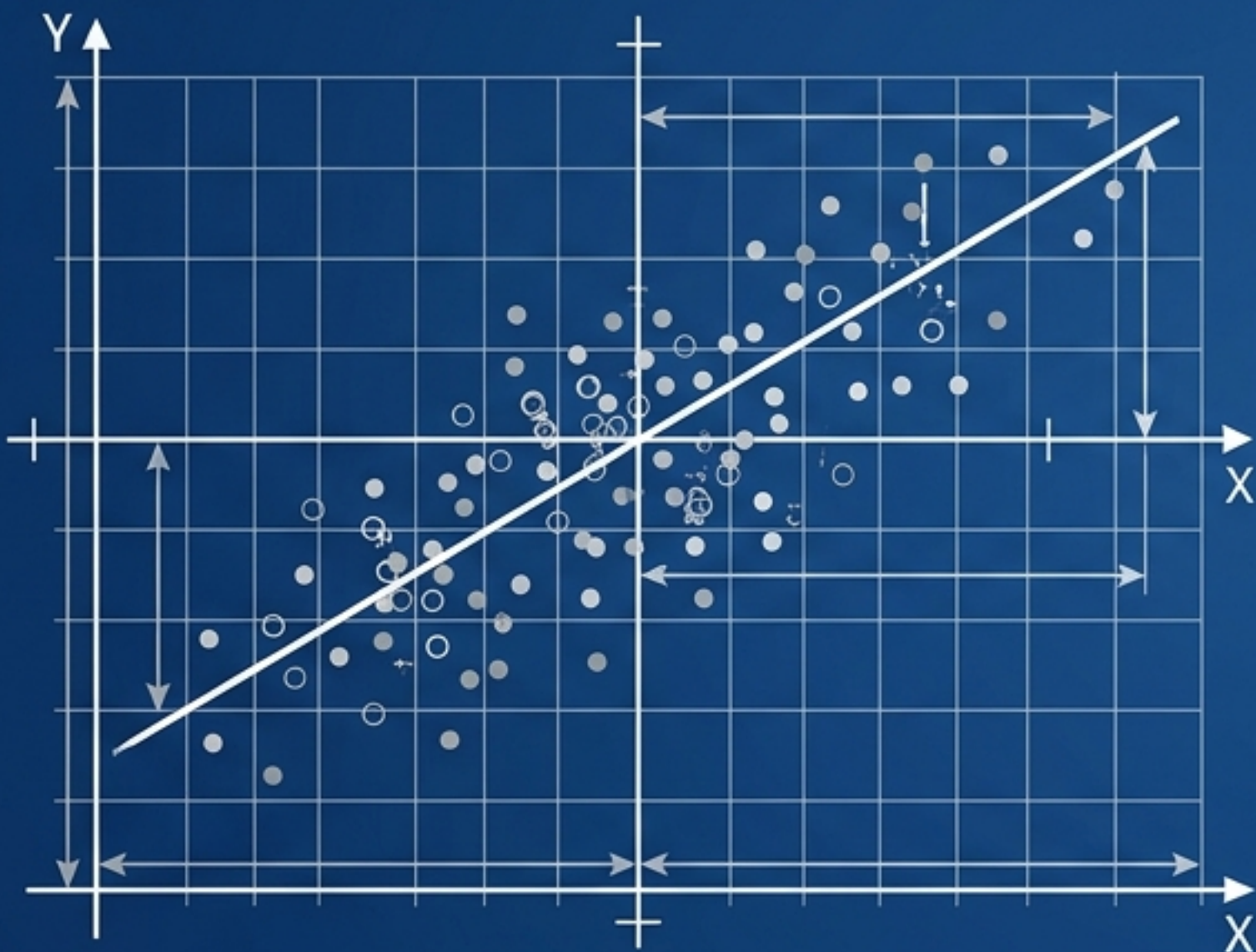
ANOMALY
DETECTION
NODE

WEIGHT
ANALYSIS

ACTIVE
DATA
FLOW

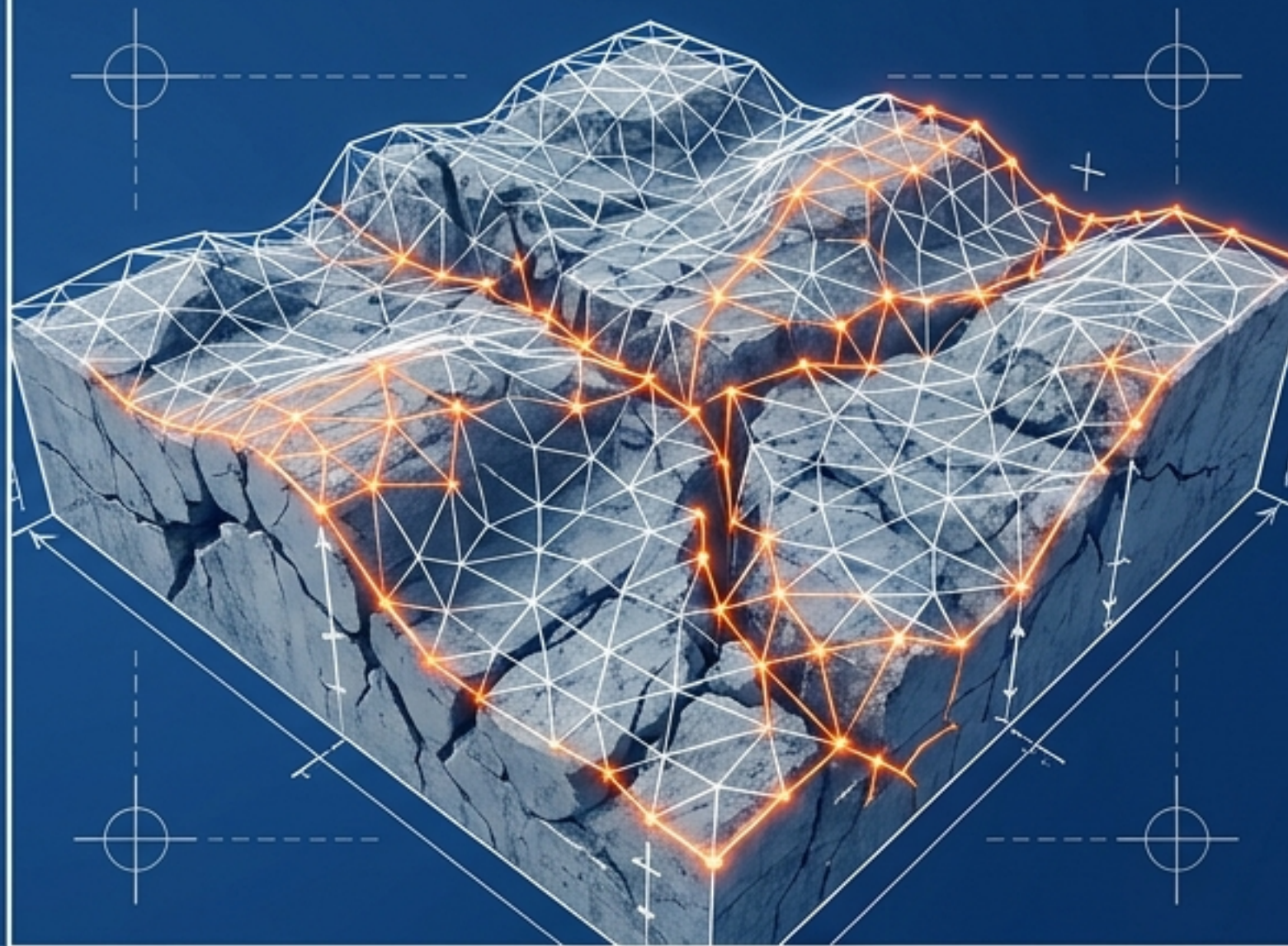
Le Grand Saut : Modéliser l'Invisible

Approche Classique



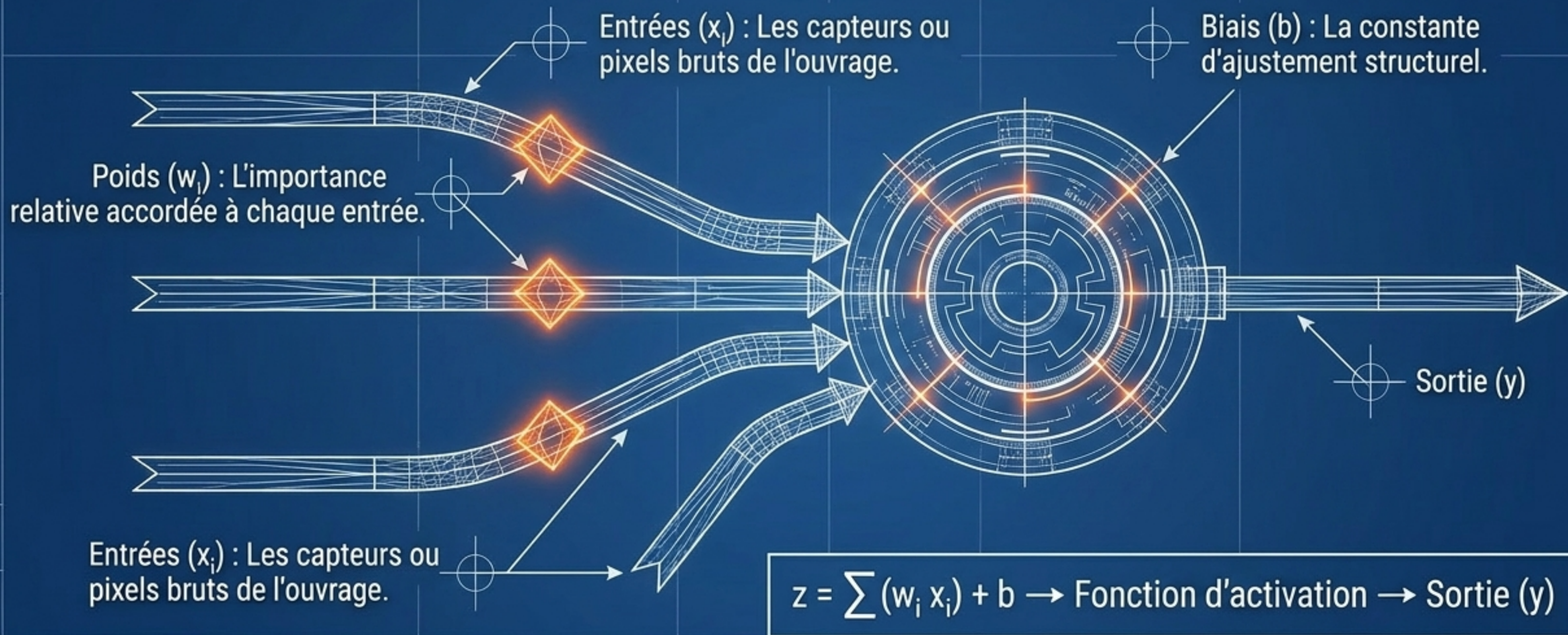
Les algorithmes classiques atteignent leurs limites face aux données non structurées (images complexes, vibrations brutes).

Approche Neuronale



Le réseau de neurones agit comme un approximateur universel. Il cartographie de manière autonome les relations entre causes et conséquences sans nécessiter d'équations mécaniques explicites.

L'Unité Fondamentale : Le Neurone Artificiel



C'est l'unité de calcul élémentaire : elle pondère, additionne, et transmet.

La Limite du Neurone Isolé



1 Capteur = Information locale basique.

Un neurone seul se comporte comme un simple filtre linéaire. À l'image d'un unique capteur sur un pont, il ne peut pas modéliser un comportement global.



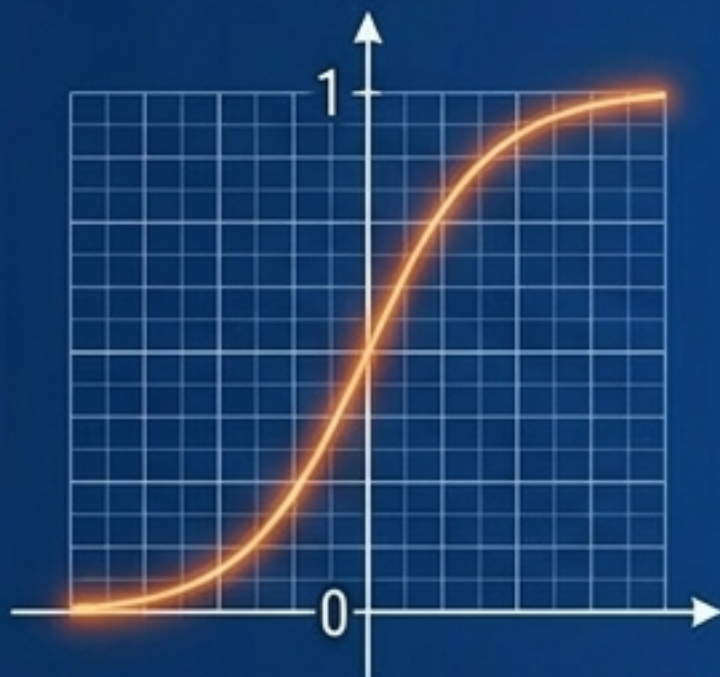
Réseau de Capteurs = Diagnostic physique précis.

L'intelligence émerge de l'accumulation. Des centaines de neurones organisés en couches cartographient des comportements complexes (dégradation d'un matériau, propagation de fissures) impossibles à formuler à la main.

Donner de la Souplesse : Les Fonctions d'Activation

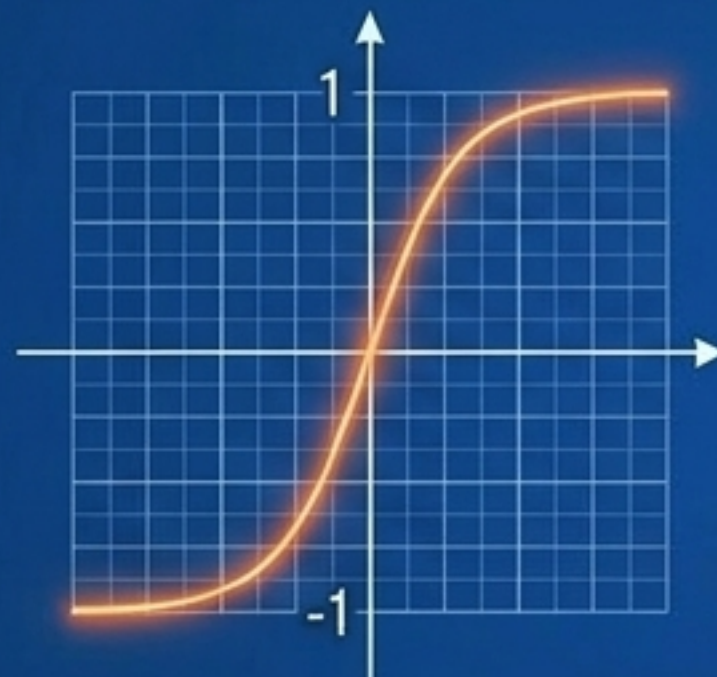
Sans activation, un réseau de 1000 couches n'est qu'une ligne droite mathématique.
Ces fonctions introduisent la non-linéarité vitale pour modéliser le monde réel.

Sigmoïde



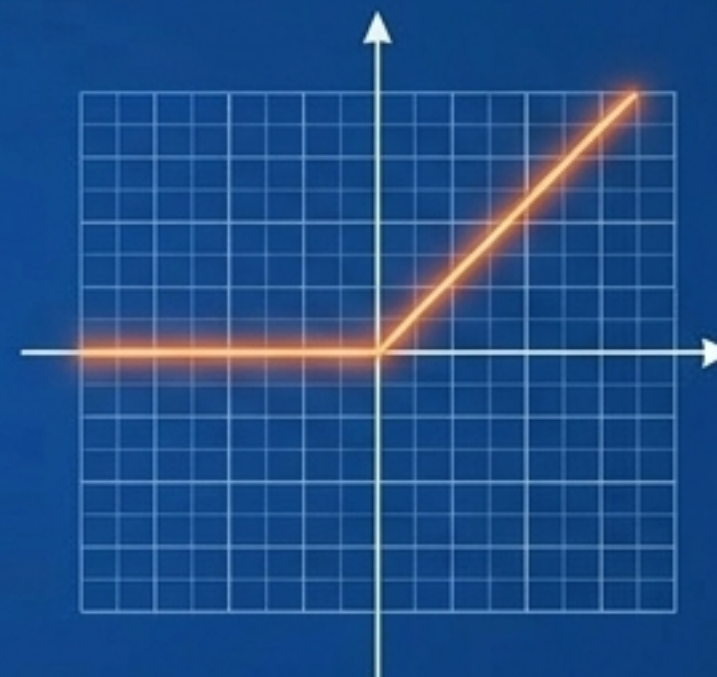
0 à 1. Fournit une probabilité simple. Saturation sur les réseaux profonds.

Tanh



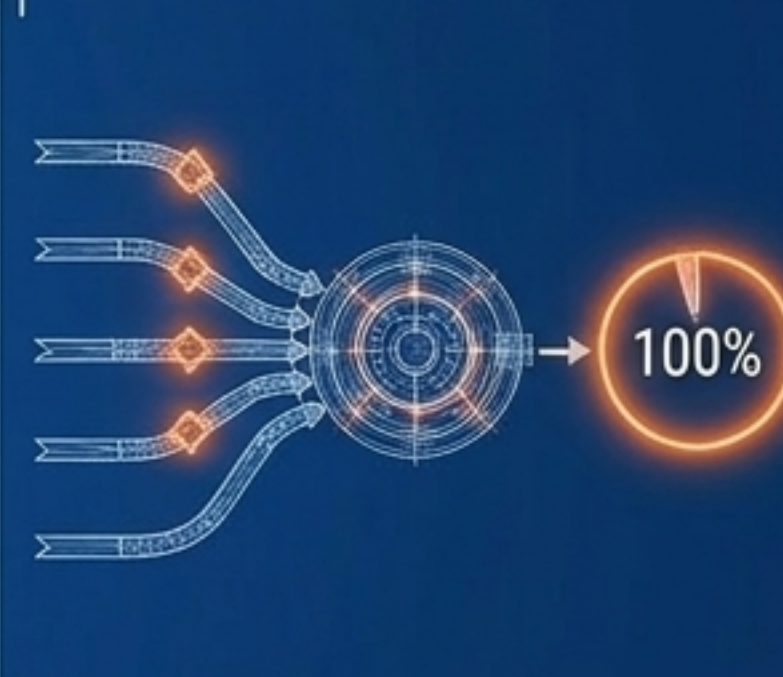
-1 à 1. Centrée sur zéro. Facilite la convergence, mais sature aux extrêmes.

ReLU



Le filtre standard. Simple, rapide et très efficace pour les couches cachées.

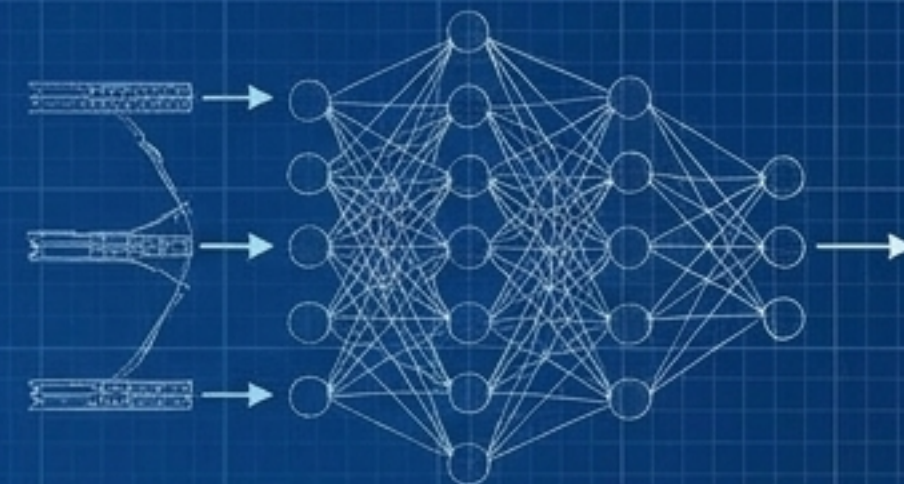
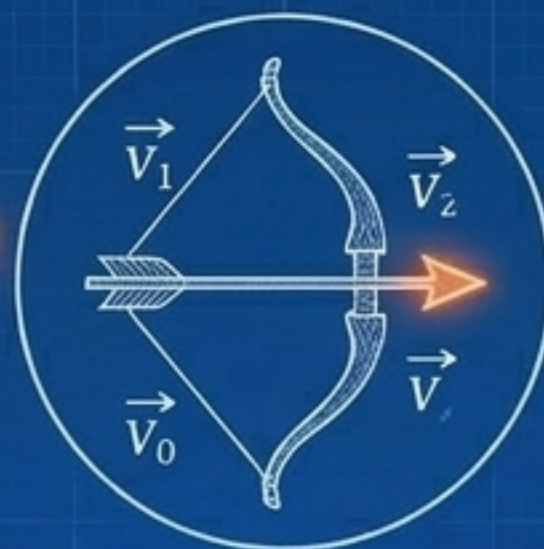
Softmax



Somme = 100%. Le décideur multiclasse final (Couche de sortie).

L'Apprentissage : La Boucle Itérative

1. Propagation avant (Tirer la flèche) :
Calcul de la prédiction couche
par couche.



2. Fonction de coût
(Mesurer l'écart) :
Calcul de l'erreur entre
la prédiction et la réalité.



3. Rétropropagation (Analyser le
mouvement) : Calcul du gradient.
L'algorithme remonte le réseau
pour évaluer la responsabilité
de chaque paramètre.

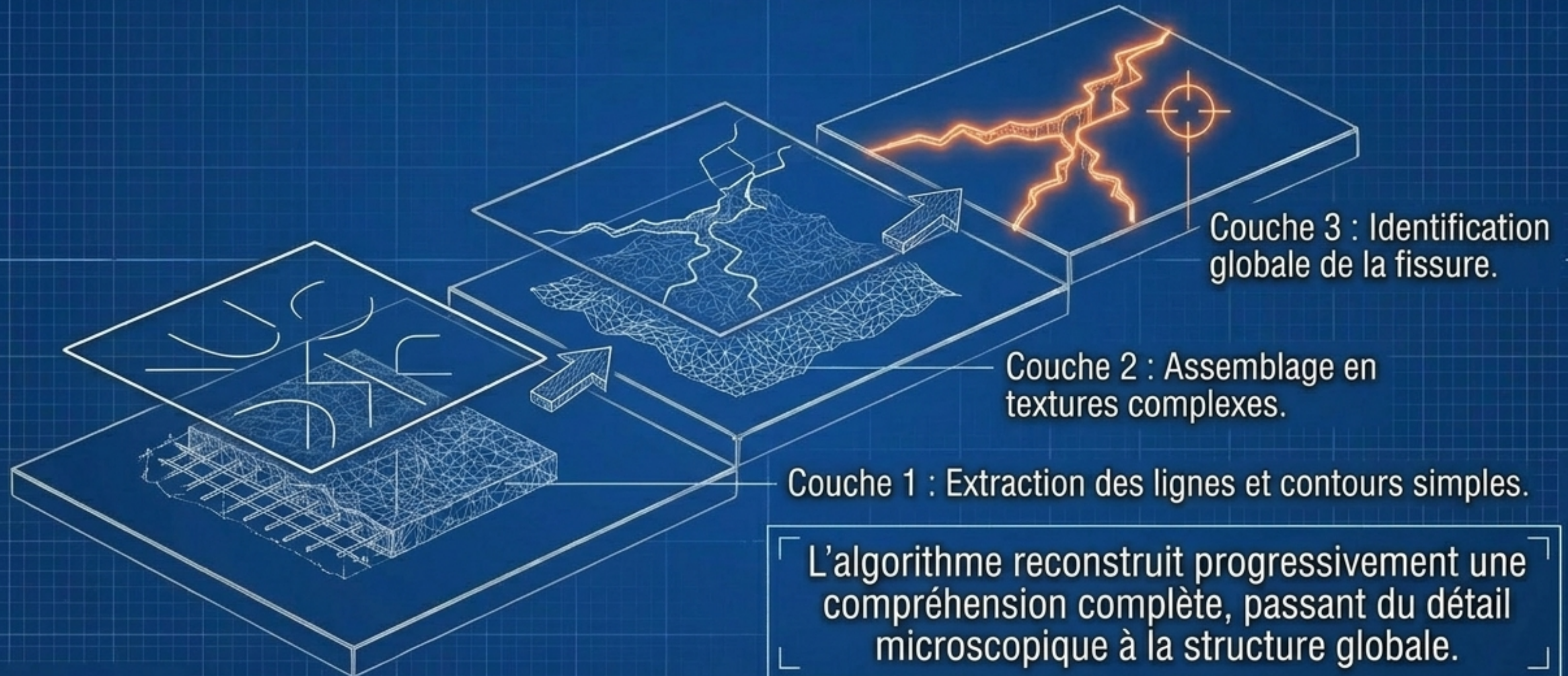


4. Mise à jour
(Corriger la posture) :
Ajustement des poids
selon le taux d'appren-
tissage (learning rate).



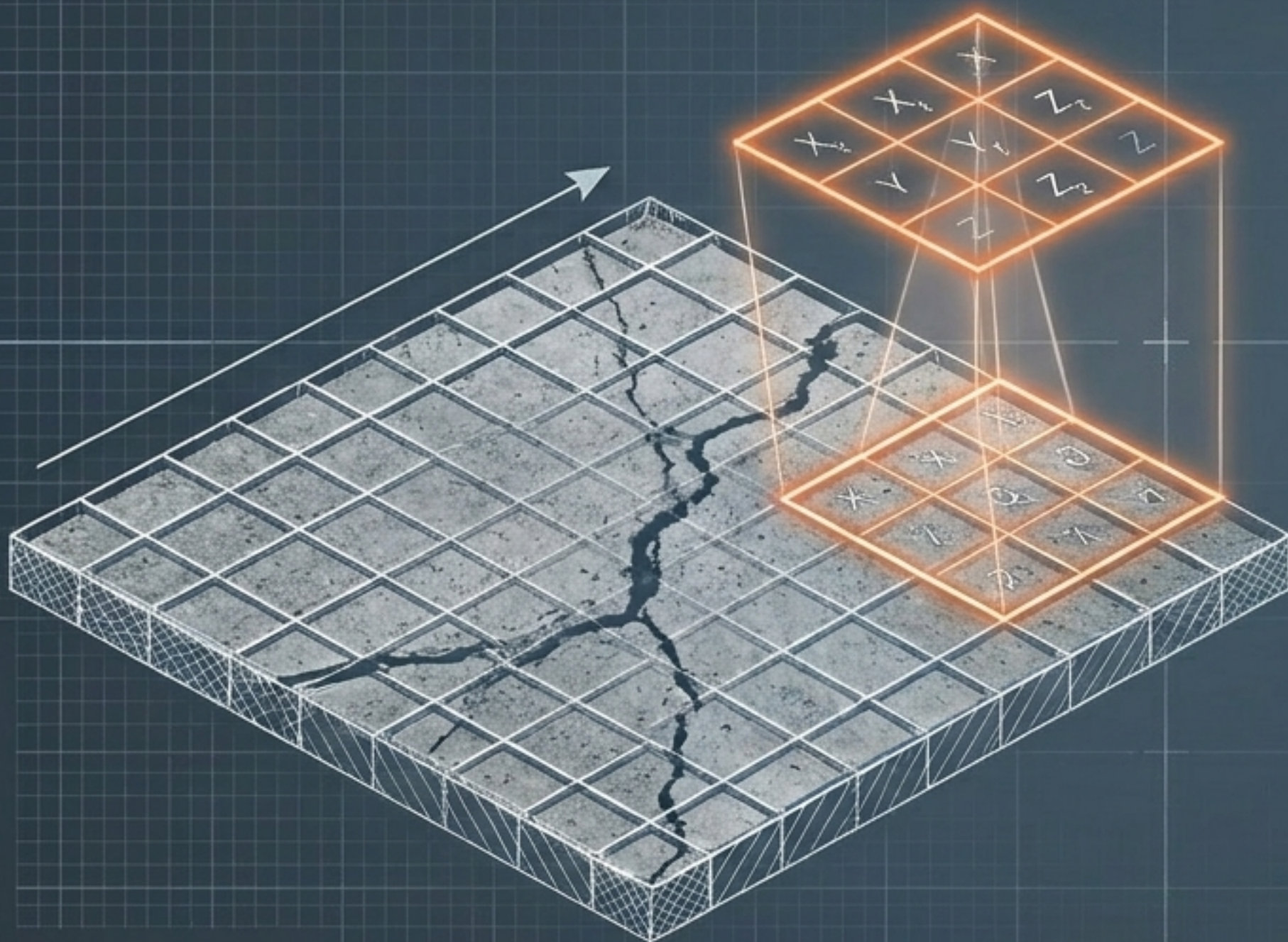
Deep Learning : La Représentation Hiérarchique

Pourquoi Profond ? Le réseau apprend par étapes, éliminant le besoin d'extraire manuellement les caractéristiques mathématiques avant l'analyse.



L'Architecture CNN (Réseaux Convolutifs)

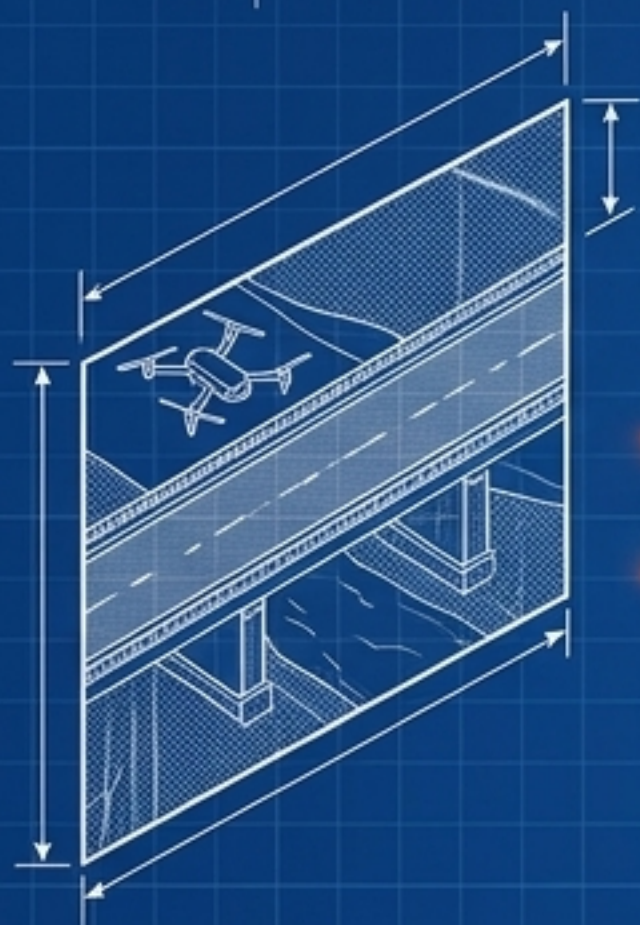
Les réseaux denses classiques lisent les images comme de simples listes de nombres isolés. Les CNN exploitent la structure spatiale.



Avantages Clés :

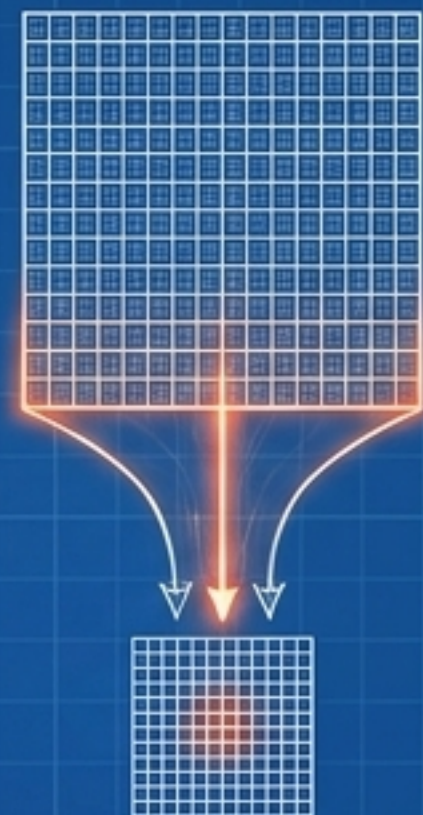
- Repère automatiquement les motifs (contours, textures) depuis les pixels bruts.
- Réduit les paramètres grâce au partage des poids.
- Robuste aux variations : reconnaît une fissure même si elle se décale de quelques pixels.

La Mécanique du CNN : Les 3 Étapes



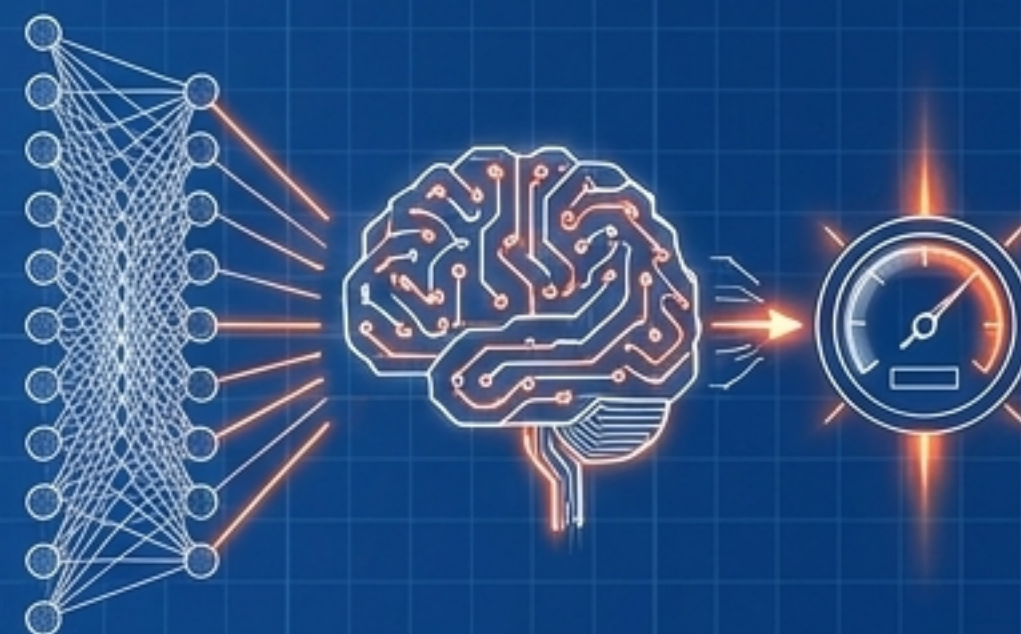
1. Convolution [La Loupe]

Scanne l'image zone par zone pour extraire les indices visuels utiles (lignes, ruptures de texture).



2. Pooling [Le Résumé]

Simplifie l'information, allège les calculs et conserve uniquement l'essentiel du signal.

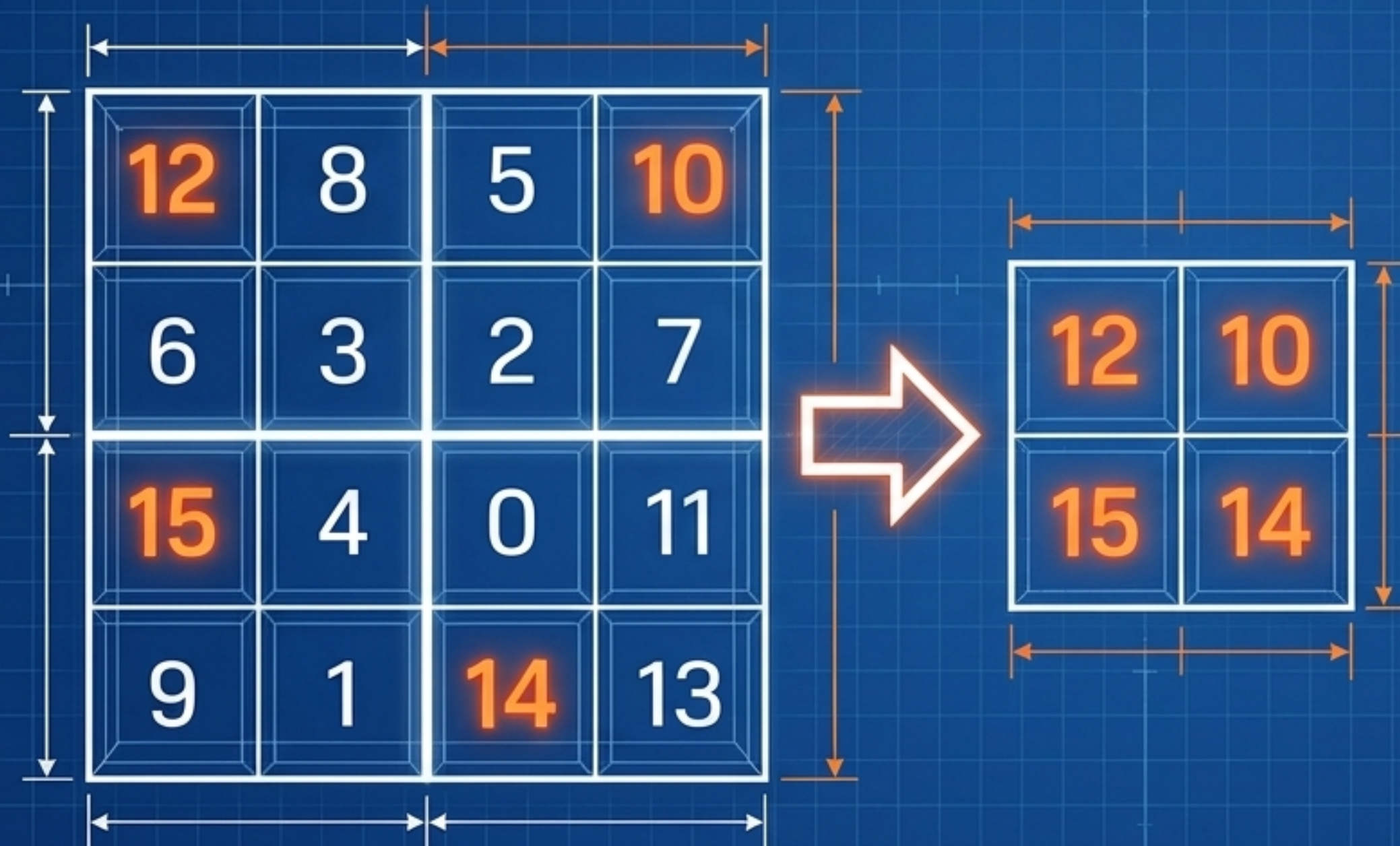


3. Couches Finales [Le Cerveau]

Aplatissement (Flattening) des données. Des couches denses connectées utilisent Softmax pour annoncer le diagnostic final.

L'Extraction de l'Essentiel : Le Max Pooling

Conserver le signal le plus fort pour résumer visuellement l'image.



- **1. Réduction des calculs** : Diminue drastiquement la taille spatiale (jusqu'à 75%), accélérant l'entraînement.
- **2. Invariance spatiale** : Crée de la robustesse. Le réseau retient l'existence d'une anomalie sans exiger une position au pixel près.
- **3. Prévention du surapprentissage** : Supprime le bruit de fond, obligeant le modèle à se concentrer sur l'essentiel.

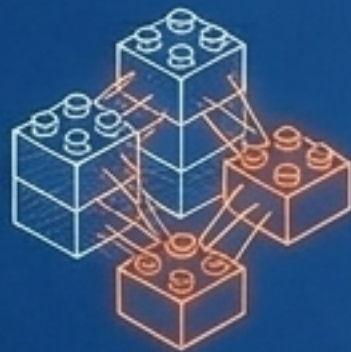
La Boîte à Outils de l'Ingénieur IA

L'industrie s'appuie sur des bibliothèques Python open-source. On n'écrit plus les équations à la main.



Keras

Le Prototypage.

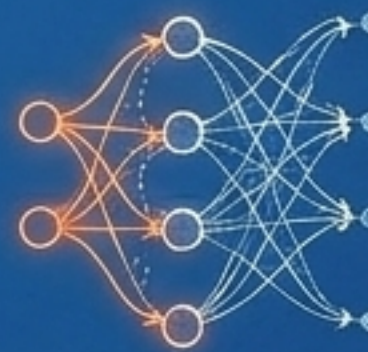


Interface claire et intuitive. Construit des CNN comme des briques Lego. Parfait pour les preuves de concept.



PyTorch

La Recherche.
(Meta).



Flexible, dynamique. Massivement adopté par la recherche scientifique pour créer de nouvelles architectures.



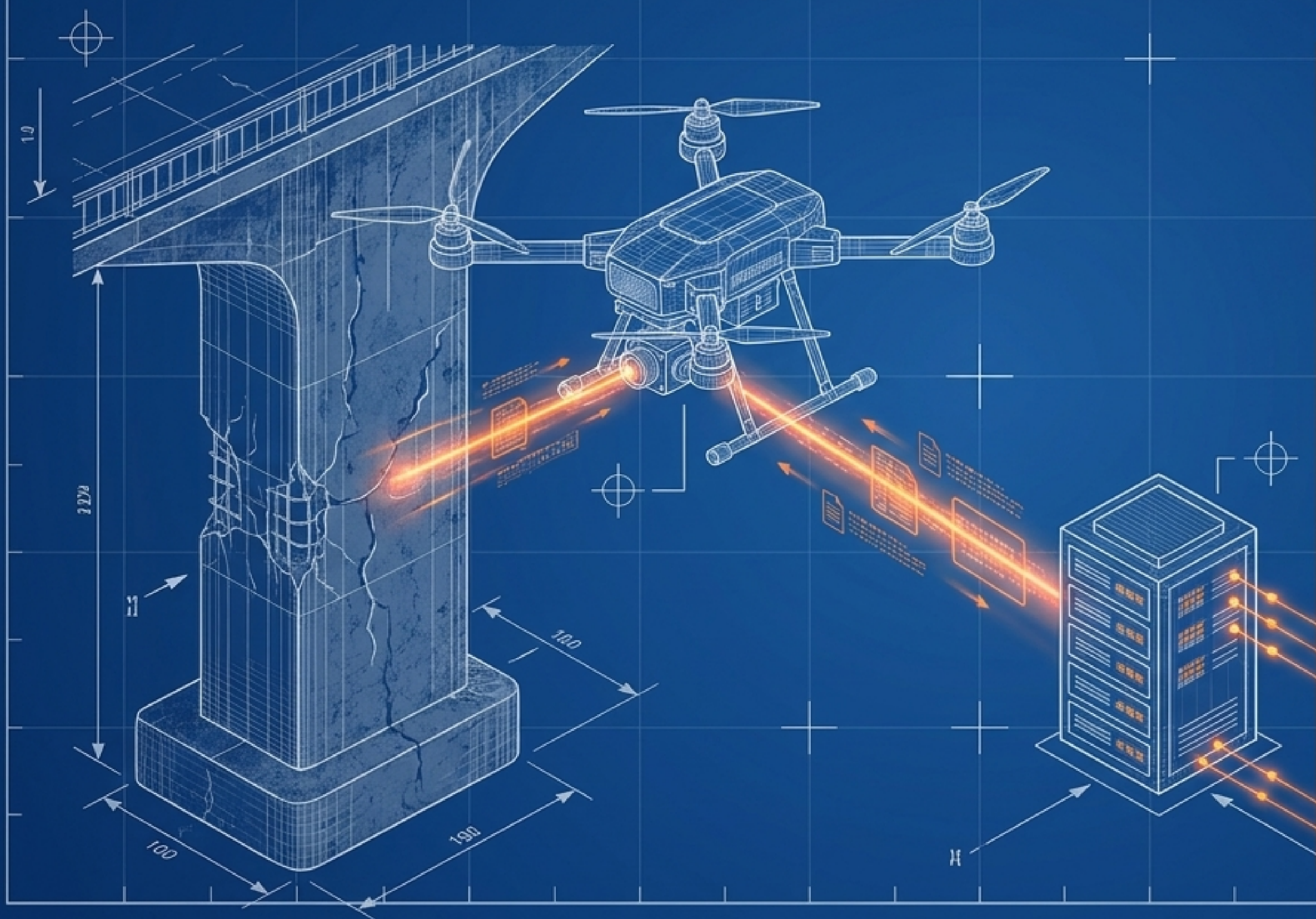
TensorFlow

L'Industriel.
(Google).



Écosystème robuste, optimisé pour les calculs GPU massifs et le déploiement à grande échelle (serveurs, drones).

Étude de Cas : Inspection Visuelle des Ouvrages



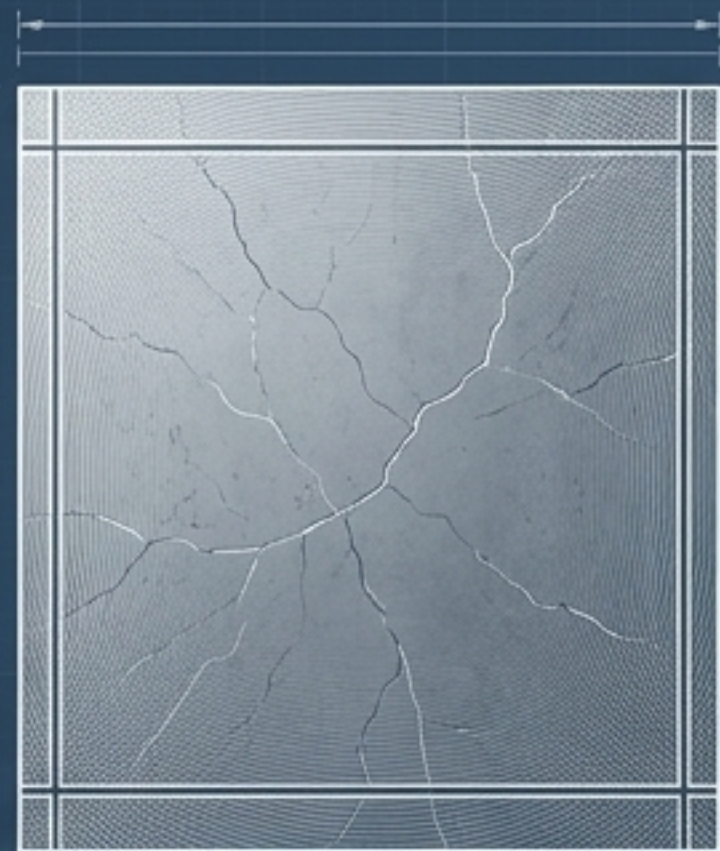
Mission Briefing

- **Le Contexte :** L'inspection manuelle des ponts et barrages est coûteuse, chronophage et subjective. L'acquisition d'images par drones est désormais standardisée, mais l'analyse reste le goulot d'étranglement.
- **L'Objectif :** Déployer un CNN multiclasse capable d'analyser instantanément les pixels photographiques pour catégoriser automatiquement l'état de dégradation du béton et des chaussées.

Les 4 Classes de Diagnostic



1. Surface Saine :
Aucun défaut
visible. Béton ou
asphalte intègre.



2. Fissure Légère :
Micro-fissures de
retrait, usure
superficielle.



3. Fissure Marquée :
Fissure structurelle,
ouverture
significative
dans le matériau.



4. Dégradation
Sévère : Épaufrure,
acier apparent,
nid-de-poule posant
un risque
immédiat.

Le Pipeline de Déploiement d'un Projet Deep Learning



Synthèse : Le Changement de Paradigme

Le passage des fichiers tabulaires (Excel) au traitement direct de données visuelles non structurées.



Le CNN agit comme un pré-filtre infatigable, traitant instantanément 10 000 images pour isoler les anomalies. Cependant, le modèle suggère la probabilité, mais la décision structurelle et la validation physique restent toujours la responsabilité absolue de l'ingénieur.