

INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

UN FOCUS SUR LES RÉSEAUX DE NEURONES

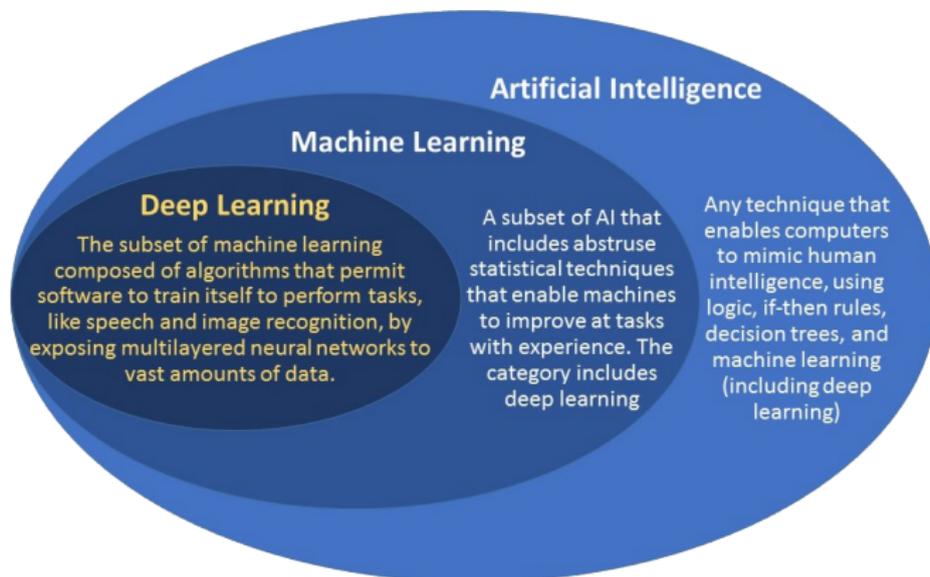
Vincent Barra
LIMOS, UMR 6158 CNRS

PRÉAMBULE

Pourquoi tant de succès ?

- ▶ Big Data
- ▶ Baisse des prix des matériels, CPU et GPU
- ▶ Modèles de plus en plus performants

Choix : Historique des approches connexionnistes



- ▶ IA (1956, John McCarthy) : Programmes informatiques qui résolvent des problèmes qui sont habituellement résolus par des processus mentaux de haut niveau
- ▶ Parler de l'IA, c'est parler de Pascal, Turing, Von Neumann,... et s'inscrire dans l'histoire des sciences.



- ▶ Proposition : s'intéresser à l'histoire d'un aspect de l'IA et du Machine Learning : les réseaux de neurones.

QUELQUES REPÈRES HISTORIQUES

- ▶ 300 avant JC : Aristote : la pensée est une suite d'éléments conceptuels associés.
- ▶ 1873 : Alexander Bain : groupements neuronaux
- ▶ 1943 : Mc Culloch et Pitts : modèle MCP : précurseur des réseaux de neurones
- ▶ 1949 : Donald Hebb : père des réseaux de neurones, règle d'apprentissage de Hebb
- ▶ 1958 : Franck Rosenblatt : perceptron
- ▶ 1974 : Paul Werbos : rétropropagation
- ▶ 1980 : Teuvo Kohonen : SOM
- ▶ 1980 : Kunihiko Fukushima : Neocogitron, l'inspirateur des CNN
- ▶ 1985 : Geoffrey Hinton : Machines de Boltzman
- ▶ 1986 : Michael Jordan : réseaux récurrents
- ▶ 1990 : Yan LeCun : réseaux convolutifs
- ▶ 1997 : Hochreiter et Schmidhuber : LSTM
- ▶ 2006 : Geoffrey Hinton : Deep Belief Network
- ▶ 2012 : ImageNet
- ▶ 2015 : resnet : réseau profond à 152 couches



QUELQUES REPÈRES HISTORIQUES

- ▶ 300 avant JC : Aristote : la pensée est une suite d'éléments conceptuels associés.
- ▶ 1873 : Alexander Bain : groupements neuronaux
- ▶ 1943 : Mc Culloch et Pitts : modèle MCP : précurseur des réseaux de neurones
- ▶ 1949 : Donald Hebb : père des réseaux de neurones, règle d'apprentissage de Hebb
- ▶ 1958 : Franck Rosenblatt : perceptron
- ▶ 1974 : Paul Werbos : rétropropagation
- ▶ 1980 : Teuvo Kohonen : SOM
- ▶ 1980 : Kunihiko Fukushima : Neocogitron, l'inspirateur des CNN
- ▶ 1985 : Geoffrey Hinton : Machines de Boltzman
- ▶ 1986 : Michael Jordan : réseaux récurrents
- ▶ 1990 : Yan LeCun : réseaux convolutifs
- ▶ 1997 : Hochreiter et Schmidhuber : LSTM
- ▶ 2006 : Geoffrey Hinton : Deep Belief Network
- ▶ 2012 : ImageNet
- ▶ 2015 : resnet : réseau profond à 152 couches



QUELQUES REPÈRES HISTORIQUES

- ▶ 300 avant JC : Aristote : la pensée est une suite d'éléments conceptuels associés.
- ▶ 1873 : Alexander Bain : groupements neuronaux
- ▶ 1943 : Mc Culloch et Pitts : modèle MCP : précurseur des réseaux de neurones
- ▶ 1949 : Donald Hebb : père des réseaux de neurones, règle d'apprentissage de Hebb
- ▶ 1958 : Franck Rosenblatt : perceptron
- ▶ 1974 : Paul Werbos : rétropropagation
- ▶ 1980 : Teuvo Kohonen : SOM
- ▶ 1980 : Kunihiko Fukushima : Neocogitron, l'inspirateur des CNN
- ▶ 1985 : Geoffrey Hinton : Machines de Boltzman
- ▶ 1986 : Michael Jordan : réseaux récurrents
- ▶ 1990 : Yan LeCun : réseaux convolutifs
- ▶ 1997 : Hochreiter et Schmidhuber : LSTM
- ▶ 2006 : Geoffrey Hinton : Deep Belief Network
- ▶ 2012 : ImageNet
- ▶ 2015 : resnet : réseau profond à 152 couches



QUELQUES REPÈRES HISTORIQUES

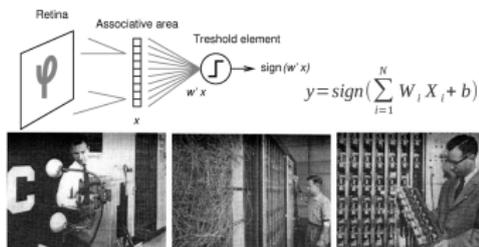
- ▶ 300 avant JC : Aristote : la pensée est une suite d'éléments conceptuels associés.
- ▶ 1873 : Alexander Bain : groupements neuronaux
- ▶ 1943 : Mc Culloch et Pitts : modèle MCP : précurseur des réseaux de neurones
- ▶ 1949 : Donald Hebb : père des réseaux de neurones, règle d'apprentissage de Hebb
- ▶ 1958 : Franck Rosenblatt : perceptron
- ▶ 1974 : Paul Werbos : rétropropagation
- ▶ 1980 : Teuvo Kohonen : SOM
- ▶ 1980 : Kunihiko Fukushima : Neocogitron, l'inspirateur des CNN
- ▶ 1985 : Geoffrey Hinton : Machines de Boltzman
- ▶ 1986 : Michael Jordan : réseaux récurrents
- ▶ 1990 : Yan LeCun : réseaux convolutifs
- ▶ 1997 : Hochreiter et Schmidhuber : LSTM
- ▶ 2006 : Geoffrey Hinton : Deep Belief Network
- ▶ 2012 : ImageNet
- ▶ 2015 : resnet : réseau profond à 152 couches



“Quand un axone d'une cellule A est assez proche pour exciter une cellule B de manière répétée et persistante, une croissance ou des changements métaboliques prennent place dans l'une ou les deux cellules ce qui entraîne une augmentation de l'efficacité de A comme cellule stimulant B”

QUELQUES REPÈRES HISTORIQUES

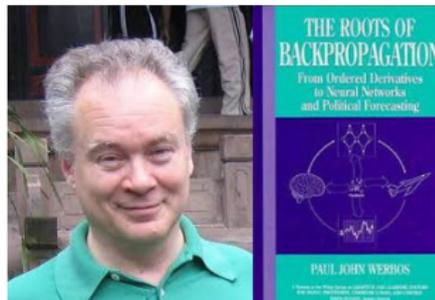
- ▶ 300 avant JC : Aristote : la pensée est une suite d'éléments conceptuels associés.
- ▶ 1873 : Alexander Bain : groupements neuronaux
- ▶ 1943 : Mc Culloch et Pitts : modèle MCP : précurseur des réseaux de neurones
- ▶ 1949 : Donald Hebb : père des réseaux de neurones, règle d'apprentissage de Hebb
- ▶ 1958 : Franck Rosenblatt : perceptron
- ▶ 1974 : Paul Werbos : rétropropagation
- ▶ 1980 : Teuvo Kohonen : SOM
- ▶ 1980 : Kunihiko Fukushima : Neocogitron, l'inspirateur des CNN
- ▶ 1985 : Geoffrey Hinton : Machines de Boltzman
- ▶ 1986 : Michael Jordan : réseaux récurrents
- ▶ 1990 : Yan LeCun : réseaux convolutifs
- ▶ 1997 : Hochreiter et Schmidhuber : LSTM
- ▶ 2006 : Geoffrey Hinton : Deep Belief Network
- ▶ 2012 : ImageNet
- ▶ 2015 : resnet : réseau profond à 152 couches





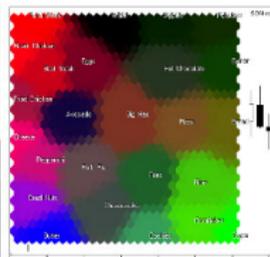
QUELQUES REPÈRES HISTORIQUES

- ▶ 300 avant JC : Aristote : la pensée est une suite d'éléments conceptuels associés.
- ▶ 1873 : Alexander Bain : groupements neuronaux
- ▶ 1943 : Mc Culloch et Pitts : modèle MCP : précurseur des réseaux de neurones
- ▶ 1949 : Donald Hebb : père des réseaux de neurones, règle d'apprentissage de Hebb
- ▶ 1958 : Franck Rosenblatt : perceptron
- ▶ 1974 : Paul Werbos : rétropropagation
- ▶ 1980 : Teuvo Kohonen : SOM
- ▶ 1980 : Kunihiko Fukushima : Neocogitron, l'inspirateur des CNN
- ▶ 1985 : Geoffrey Hinton : Machines de Boltzman
- ▶ 1986 : Michael Jordan : réseaux récurrents
- ▶ 1990 : Yan LeCun : réseaux convolutifs
- ▶ 1997 : Hochreiter et Schmidhuber : LSTM
- ▶ 2006 : Geoffrey Hinton : Deep Belief Network
- ▶ 2012 : ImageNet
- ▶ 2015 : resnet : réseau profond à 152 couches



QUELQUES REPÈRES HISTORIQUES

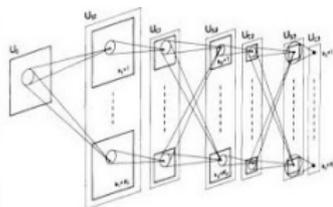
- ▶ 300 avant JC : Aristote : la pensée est une suite d'éléments conceptuels associés.
- ▶ 1873 : Alexander Bain : groupements neuronaux
- ▶ 1943 : Mc Culloch et Pitts : modèle MCP : précurseur des réseaux de neurones
- ▶ 1949 : Donald Hebb : père des réseaux de neurones, règle d'apprentissage de Hebb
- ▶ 1958 : Franck Rosenblatt : perceptron
- ▶ 1974 : Paul Werbos : rétropropagation
- ▶ 1980 : Teuvo Kohonen : SOM
- ▶ 1980 : Kunihiko Fukushima : Neocogitron, l'inspirateur des CNN
- ▶ 1985 : Geoffrey Hinton : Machines de Boltzman
- ▶ 1986 : Michael Jordan : réseaux récurrents
- ▶ 1990 : Yan LeCun : réseaux convolutifs
- ▶ 1997 : Hochreiter et Schmidhuber : LSTM
- ▶ 2006 : Geoffrey Hinton : Deep Belief Network
- ▶ 2012 : ImageNet
- ▶ 2015 : resnet : réseau profond à 152 couches





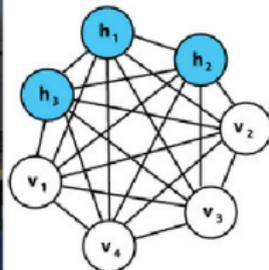
QUELQUES REPÈRES HISTORIQUES

- ▶ 300 avant JC : Aristote : la pensée est une suite d'éléments conceptuels associés.
- ▶ 1873 : Alexander Bain : groupements neuronaux
- ▶ 1943 : Mc Culloch et Pitts : modèle MCP : précurseur des réseaux de neurones
- ▶ 1949 : Donald Hebb : père des réseaux de neurones, règle d'apprentissage de Hebb
- ▶ 1958 : Franck Rosenblatt : perceptron
- ▶ 1974 : Paul Werbos : rétropropagation
- ▶ 1980 : Teuvo Kohonen : SOM
- ▶ 1980 : **Kunihiko Fukushima : Neocogitron, l'inspirateur des CNN**
- ▶ 1985 : Geoffrey Hinton : Machines de Boltzman
- ▶ 1986 : Michael Jordan : réseaux récurrents
- ▶ 1990 : Yan LeCun : réseaux convolutifs
- ▶ 1997 : Hochreiter et Schmidhuber : LSTM
- ▶ 2006 : Geoffrey Hinton : Deep Belief Network
- ▶ 2012 : ImageNet
- ▶ 2015 : resnet : réseau profond à 152 couches



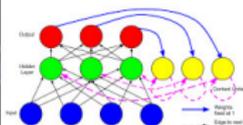
QUELQUES REPÈRES HISTORIQUES

- ▶ 300 avant JC : Aristote : la pensée est une suite d'éléments conceptuels associés.
- ▶ 1873 : Alexander Bain : groupements neuronaux
- ▶ 1943 : Mc Culloch et Pitts : modèle MCP : précurseur des réseaux de neurones
- ▶ 1949 : Donald Hebb : père des réseaux de neurones, règle d'apprentissage de Hebb
- ▶ 1958 : Franck Rosenblatt : perceptron
- ▶ 1974 : Paul Werbos : rétropropagation
- ▶ 1980 : Teuvo Kohonen : SOM
- ▶ 1980 : Kunihiko Fukushima : Neocogitron, l'inspirateur des CNN
- ▶ 1985 : **Geoffrey Hinton : Machines de Boltzman**
- ▶ 1986 : Michael Jordan : réseaux récurrents
- ▶ 1990 : Yan LeCun : réseaux convolutifs
- ▶ 1997 : Hochreiter et Schmidhuber : LSTM
- ▶ 2006 : Geoffrey Hinton : Deep Belief Network
- ▶ 2012 : ImageNet
- ▶ 2015 : resnet : réseau profond à 152 couches



QUELQUES REPÈRES HISTORIQUES

- ▶ 300 avant JC : Aristote : la pensée est une suite d'éléments conceptuels associés.
- ▶ 1873 : Alexander Bain : groupements neuronaux
- ▶ 1943 : Mc Culloch et Pitts : modèle MCP : précurseur des réseaux de neurones
- ▶ 1949 : Donald Hebb : père des réseaux de neurones, règle d'apprentissage de Hebb
- ▶ 1958 : Franck Rosenblatt : perceptron
- ▶ 1974 : Paul Werbos : rétropropagation
- ▶ 1980 : Teuvo Kohonen : SOM
- ▶ 1980 : Kunihiko Fukushima : Neocogitron, l'inspirateur des CNN
- ▶ 1985 : Geoffrey Hinton : Machines de Boltzman
- ▶ 1986 : Michael Jordan : réseaux récurrents
- ▶ 1990 : Yan LeCun : réseaux convolutifs
- ▶ 1997 : Hochreiter et Schmidhuber : LSTM
- ▶ 2006 : Geoffrey Hinton : Deep Belief Network
- ▶ 2012 : ImageNet
- ▶ 2015 : resnet : réseau profond à 152 couches



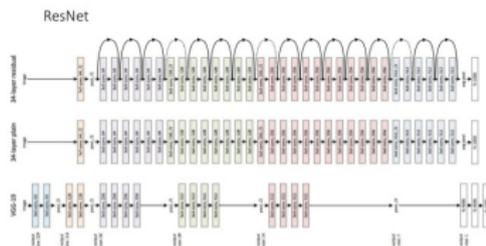
QUELQUES REPÈRES HISTORIQUES

- ▶ 300 avant JC : Aristote : la pensée est une suite d'éléments conceptuels associés.
- ▶ 1873 : Alexander Bain : groupements neuronaux
- ▶ 1943 : Mc Culloch et Pitts : modèle MCP : précurseur des réseaux de neurones
- ▶ 1949 : Donald Hebb : père des réseaux de neurones, règle d'apprentissage de Hebb
- ▶ 1958 : Franck Rosenblatt : perceptron
- ▶ 1974 : Paul Werbos : rétropropagation
- ▶ 1980 : Teuvo Kohonen : SOM
- ▶ 1980 : Kunihiko Fukushima : Neocogitron, l'inspirateur des CNN
- ▶ 1985 : Geoffrey Hinton : Machines de Boltzman
- ▶ 1986 : Michael Jordan : réseaux récurrents
- ▶ 1990 : Yan LeCun : réseaux convolutifs
- ▶ 1997 : Hochreiter et Schmidhuber : LSTM
- ▶ 2006 : Geoffrey Hinton : Deep Belief Network
- ▶ 2012 : ImageNet
- ▶ 2015 : resnet : réseau profond à 152 couches



QUELQUES REPÈRES HISTORIQUES

- ▶ 300 avant JC : Aristote : la pensée est une suite d'éléments conceptuels associés.
- ▶ 1873 : Alexander Bain : groupements neuronaux
- ▶ 1943 : Mc Culloch et Pitts : modèle MCP : précurseur des réseaux de neurones
- ▶ 1949 : Donald Hebb : père des réseaux de neurones, règle d'apprentissage de Hebb
- ▶ 1958 : Franck Rosenblatt : perceptron
- ▶ 1974 : Paul Werbos : rétropropagation
- ▶ 1980 : Teuvo Kohonen : SOM
- ▶ 1980 : Kunihiko Fukushima : Neocogitron, l'inspirateur des CNN
- ▶ 1985 : Geoffrey Hinton : Machines de Boltzman
- ▶ 1986 : Michael Jordan : réseaux récurrents
- ▶ 1990 : Yan LeCun : réseaux convolutifs
- ▶ 1997 : Hochreiter et Schmidhuber : LSTM
- ▶ 2006 : Geoffrey Hinton : Deep Belief Network
- ▶ 2012 : ImageNet
- ▶ 2015 : resnet : réseau profond à 152 couches



PEUT ON CONSTRUIRE DES MACHINES INTELLIGENTES ?

- Construction de machines intelligentes
- Le cerveau : "machine" la plus complexe

PEUT ON CONSTRUIRE DES MACHINES INTELLIGENTES ?

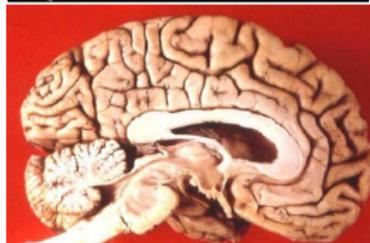
- Construction de machines intelligentes
- Le cerveau : "machine" la plus complexe

Idée

- ▶ Peut on copier le cerveau de manière artificielle ?
- ▶ Non, mais il est possible de s'en inspirer.
- ▶ Problèmes théoriques, algorithmiques et technologiques

LE CERVEAU/ PROCESSEURS

- ▶ Environ 10 milliards de neurones **5760 coeurs**
- ▶ Environ 10^{15} synapses
- ▶ 1,4 kg
- ▶ 25 watts - **500 Watts**
- ▶ Plastique
- ▶ cortex : 2500 cm^2 , 2mm d'épaisseur,
- ▶ 180 000 km de connexions, 250 millions de neurones / mm^3
- ▶ 10^{16} "opérations" par secondes - **8.10^{12}**



LE CERVEAU/ PROCESSEURS

- ▶ Environ 10 milliards de neurones **5760 coeurs**
- ▶ Environ 10^{15} synapses
- ▶ 1,4 kg
- ▶ 25 watts - **500 Watts**
- ▶ Plastique
- ▶ cortex : 2500 cm^2 , 2mm d'épaisseur,
- ▶ 180 000 km de connexions, 250 millions de neurones / mm^3
- ▶ 10^{16} "opérations" par secondes - **$8 \cdot 10^{12}$**

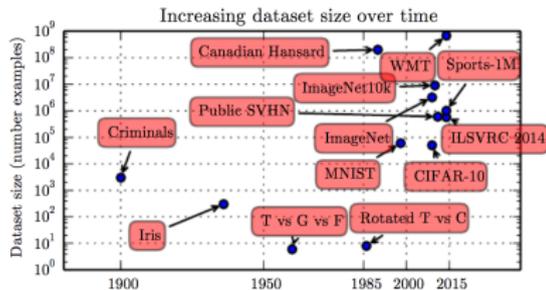


- Nous sommes à un facteur 10000 de la puissance du cerveau
- 30 ans selon la loi de Moore
- Ces chiffres disent ils tout ?

→ La taille des réseaux augmente

→ la taille des données aussi

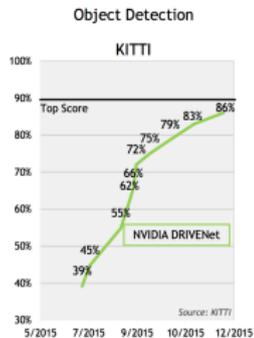
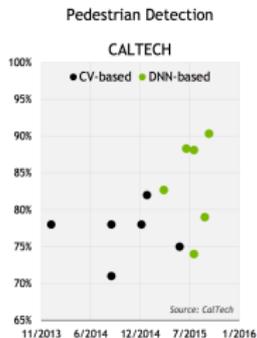
Les réseaux les plus profonds sont aussi denses que les systèmes nerveux des insectes



⇒ Infrastructure matérielle et logicielle haute performance

IMPLÉMENTATION

- ▶ CPU : devenu insuffisant
- ▶ Fast CPU : programmation fine (arithmétique en point fixe...)
- ▶ GPU : accès rapide mémoire, rendu
- ▶ GP- GPU : accès rapide mémoire, rendu, calcul scientifique + CUDA



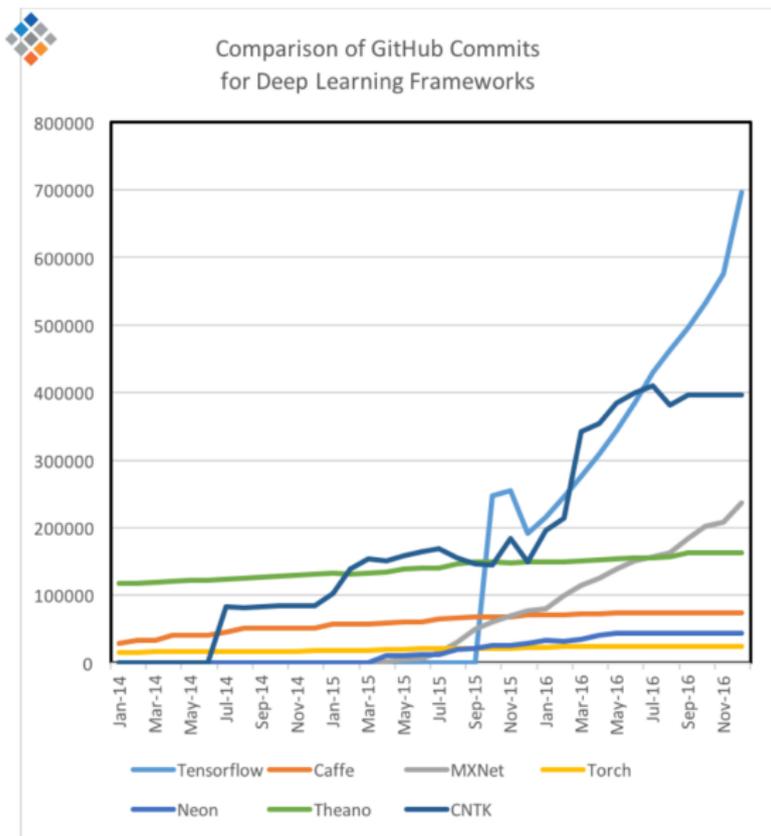
CALCUL DISTRIBUÉ

Le plus souvent, les ressources d'une seule machine sont insuffisantes pour l'entraînement.

- ▶ parallélisme des données (inférence OK, entraînement difficile)
- ▶ parallélisme des modèles (entraînement et inférence)
- ▶ parallélisme possible sur GPUs

EN PRATIQUE

	Languages	Tutorials and training materials	CNN modeling capability	RNN modeling capability	Architecture: easy-to-use and modular front end	Speed	Multiple GPU support	Keras compatible
Theano	Python, C++	++	++	++	+	++	+	+
TensorFlow	Python	+++	+++	++	+++	++	++	+
Torch	Lua, Python (new)	+	+++	++	++	+++	++	
Caffe	C++	+	++		+	+	+	
MXNet	R, Python, Julia, Scala	++	++	+	++	++	+++	
Neon	Python	+	++	+	+	++	+	
CNTK	C++	+	+	+++	+	++	+	



TOUT PRÈS DE CHEZ VOUS...

Développement d'un axe de recherche interlabos (LIMOS/IP/LPC.LMBP), notamment sur le Deep Learning.

- ▶ Analyse de documents dématérialisés : classification, annotation sémantique
- ▶ Analyse de flux vidéos (détection d'anomalies)
- ▶ Gestion de notes de frais
- ▶ Analyse de grandes masses de données (CERN, biologie,...)
- ▶ Surveillance de personnes âgées et détection de comportements anormaux
- ▶ ...

Développement de la pédagogie :

- ▶ Cours dans les écoles d'ingénieurs (ISIMA/Sigma/Polytech)
- ▶ M2
- ▶ Master CGE (Sigma/ISIMA)
- ▶ Formation Data Scientist FI et FC

