Approches d'**intelligence artificielle** appliquées à la lecture des **radiographies thoraciques** pédiatriques

"I think that if you work as a radiologist you are like Wile E. Coyote in the cartoon. You're already over the edge of the cliff, but you haven't yet looked down. There's no ground underneath. It's just completely obvious that in five years deep learning is going to do better than radiologists. It might be ten years."

Prof. Geoffrey Hinton

(Membre de l'équipe Google Brain et Professeur à l'université de Toronto)

Un peu d'histoire

- 1997 : Deep Blue

  Victoire de la machine contre Gary Kasparov alors champion du monde d'Echecs.

Un peu d'histoire

- 1997 : Deep Blue

  Victoire de la machine contre Gary Kasparov alors champion du monde d'Echecs.

- 2015 : AlphaGo

  Victoire la machine contre un des meilleurs joueurs de Go au monde, le coréen Lee Se-dol

Un peu d'histoire

- **1997 : Deep Blue**

  Victoire de la machine contre Gary Kasparov alors champion du monde d'Echecs.

- **2015 : AlphaGo**

  Victoire la machine contre un des meilleurs joueurs de Go au monde, le coréen Lee Se-dol

- **2017 : Libratus et DeepStack**

  Deux intelligences artificielles qui, en février 2017, à quelques jours d'intervalle, ont vaincu les meilleurs joueurs de poker au monde

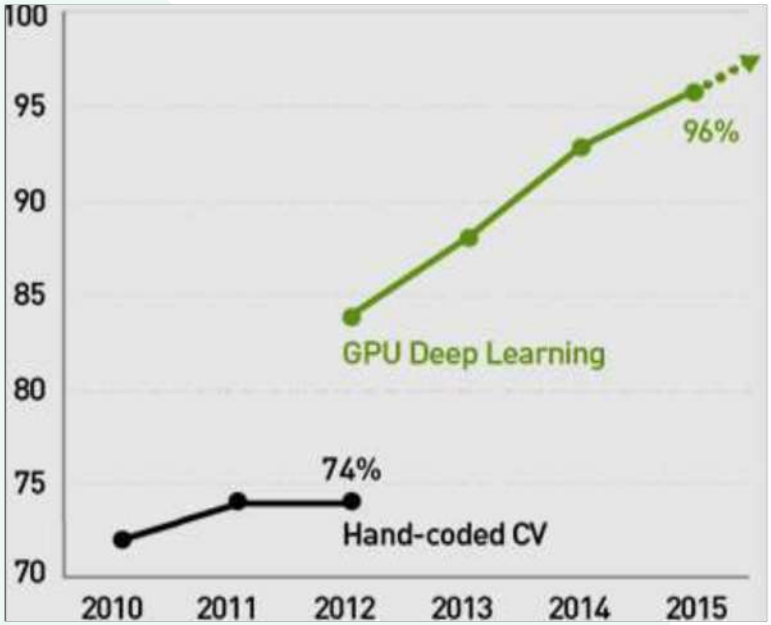


Image Recognition challenges

Stagnation des performances autour de 75%.

Cassure en 2012 avec une approche Deep Learning d'une équipe canadienne : « SuperVision »

Image Recognition challenges

La voiture autonome est devenue possible, capable de reconnaître en temps réel son environnement sur 360°

En médecine

En médecine

Nature

Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks

En médecine

Nature

Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks

Radiology

Deep Learning at Chest Radiography: Automated Classification of Pulmonary Tuberculosis by Using Convolutional Neural Networks.

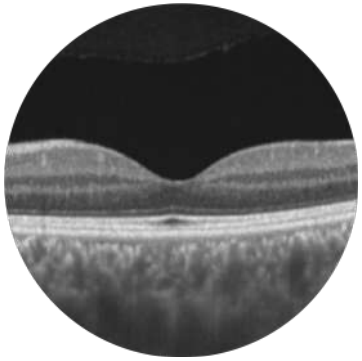
En médecine

Nature

Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks

Radiology

Deep Learning at Chest Radiography: Automated Classification of Pulmonary Tuberculosis by Using Convolutional Neural Networks.



Cell

Identifying Medical Diagnoses and Treatable Diseases by Image-Based Deep Learning

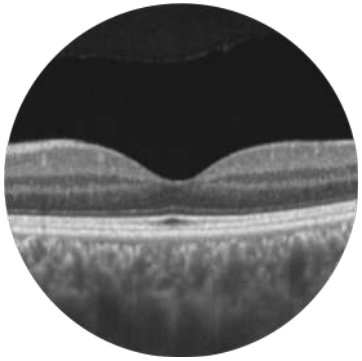
En médecine

Nature

Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks

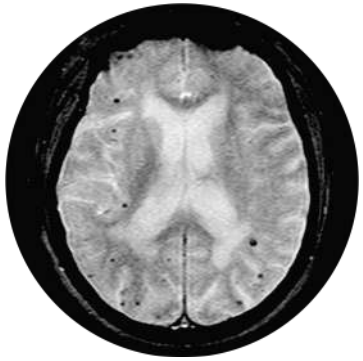
Radiology

Deep Learning at Chest Radiography: Automated Classification of Pulmonary Tuberculosis by Using Convolutional Neural Networks.



Cell

Identifying Medical Diagnoses and Treatable Diseases by Image-Based Deep Learning

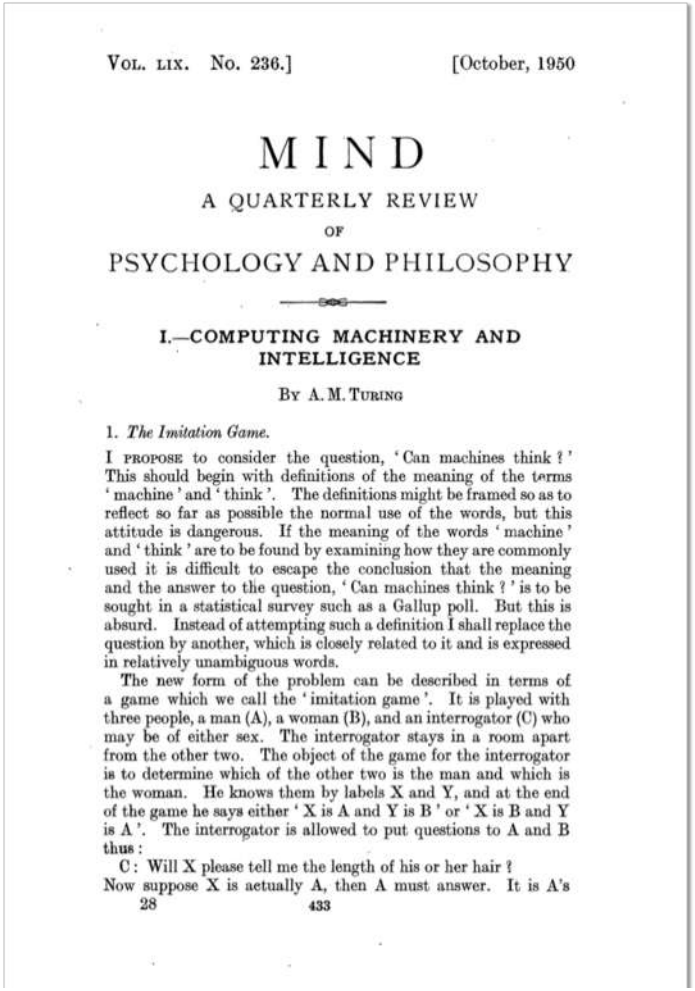


IEEE

Automatic Detection of Cerebral Microbleeds From MR Images via 3D Convolutional Neural Networks

Théorie ancienne ✓

Datant des années 1950
Alan Turing et Marvin Lee Minsky



Vol. lix. No. 236.] [October, 1950

MIND

A QUARTERLY REVIEW

OF

PSYCHOLOGY AND PHILOSOPHY

I.—COMPUTING MACHINERY AND INTELLIGENCE

By A. M. Turing

1. *The Imitation Game.*

I propose to consider the question, 'Can machines think?' This should begin with definitions of the meaning of the terms 'machine' and 'think'. The definitions might be framed so as to reflect so far as possible the normal use of the words, but this attitude is dangerous. If the meaning of the words 'machine' and 'think' are to be found by examining how they are commonly used it is difficult to escape the conclusion that the meaning and the answer to the question, 'Can machines think?' is to be sought in a statistical survey such as a Gallup poll. But this is absurd. Instead of attempting such a definition I shall replace the question by another, which is closely related to it and is expressed in relatively unambiguous words.

The new form of the problem can be described in terms of a game which we call the 'imitation game'. It is played with three people, a man (A), a woman (B), and an interrogator (C) who may be of either sex. The interrogator stays in a room apart from the other two. The object of the game for the interrogator is to determine which of the other two is the man and which is the woman. He knows them by labels X and Y, and at the end of the game he says either 'X is A and Y is B' or 'X is B and Y is A'. The interrogator is allowed to put questions to A and B thus:

C: Will X please tell me the length of his or her hair?

Now suppose X is actually A, then A must answer. It is A's

28 433

Théorie ancienne ✓

Datant des années 1950
Alan Turing et Marvin Lee Minsky

Deep Learning ✓

Sous classe d'algorithmes
d'apprentissage automatique

Théorie ancienne ✓

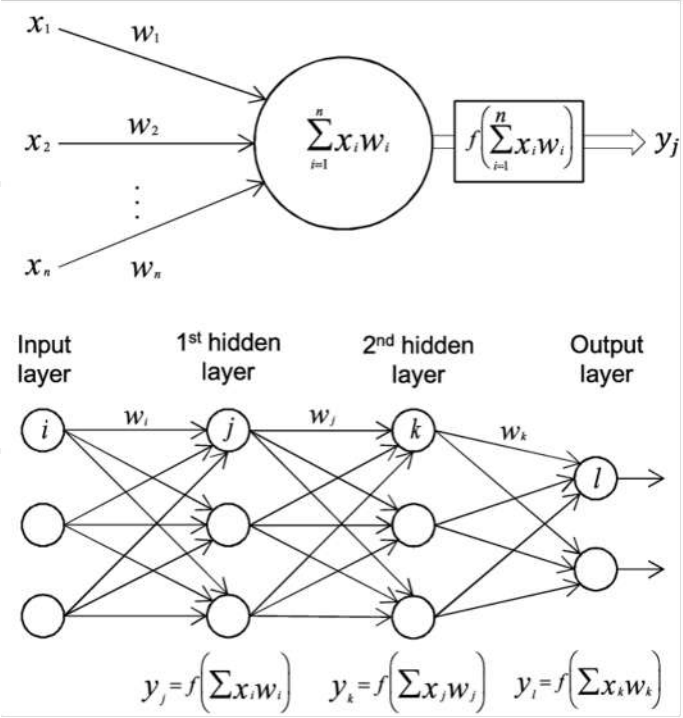
Datant des années 1950
Alan Turing et Marvin Lee Minsky

Deep Learning ✓

Sous classe d'algorithmes d'apprentissage automatique

Neurone numérique ✓

Avec des dendrites en entrée et un (ou des) axone(s) en sortie



Théorie ancienne ✓

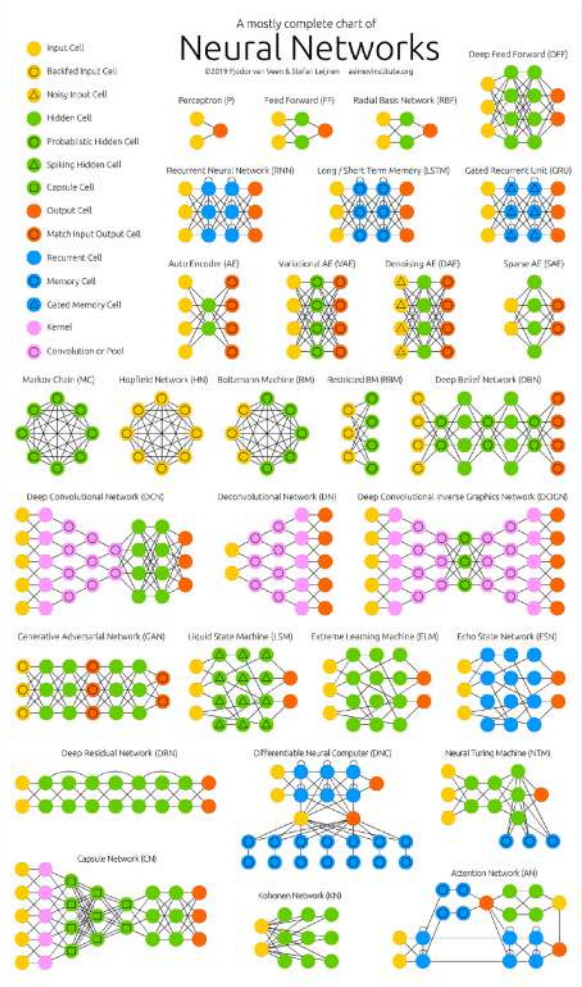
Datant des années 1950
Alan Turing et Marvin Lee Minsky

Deep Learning ✓

Sous classe d'algorithmes d'apprentissage automatique

Neurone numérique ✓

Avec des dendrites en entrée et un (ou des) axone(s) en sortie



Architecture ✓

Neurones organisés et connectés entre eux, en différentes couches

Théorie ancienne

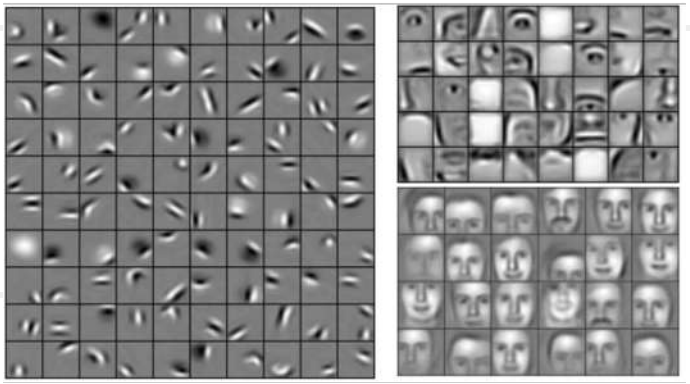
Datant des années 1950
Alan Turing et Marvin Lee Minsky

Deep Learning

Sous classe d'algorithmes d'apprentissage automatique

Neurone numérique

Avec des dendrites en entrée et un (ou des) axone(s) en sortie



Architecture

Neurones organisés et connectés entre eux, en différentes couches

Réseau convolutionnel

Adapté à l'analyse d'images

Théorie ancienne

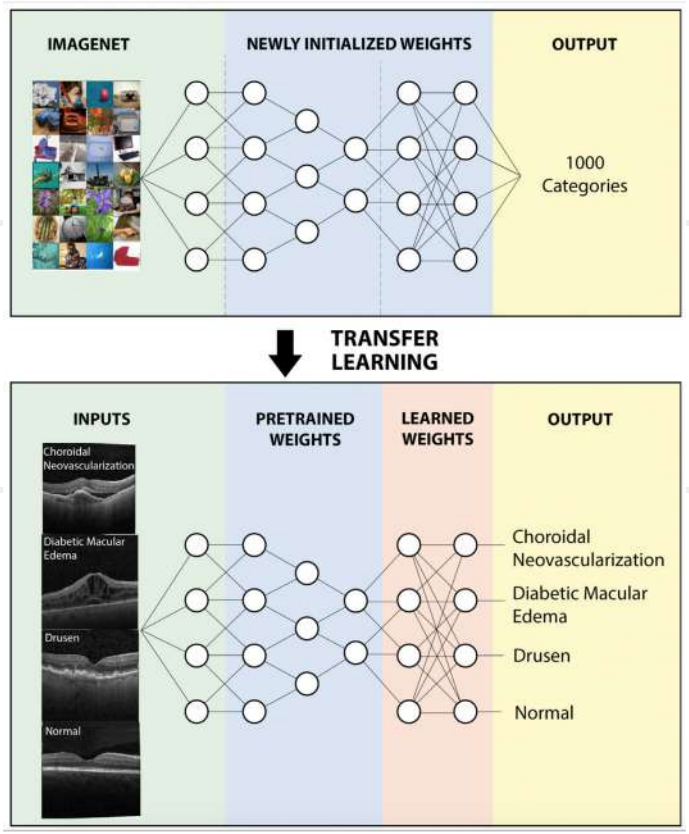
Datant des années 1950
Alan Turing et Marvin Lee Minsky

Deep Learning

Sous classe d'algorithmes d'apprentissage automatique

Neurone numérique

Avec des dendrites en entrée et un (ou des) axone(s) en sortie



Architecture

Neurones organisés et connectés entre eux, en différentes couches

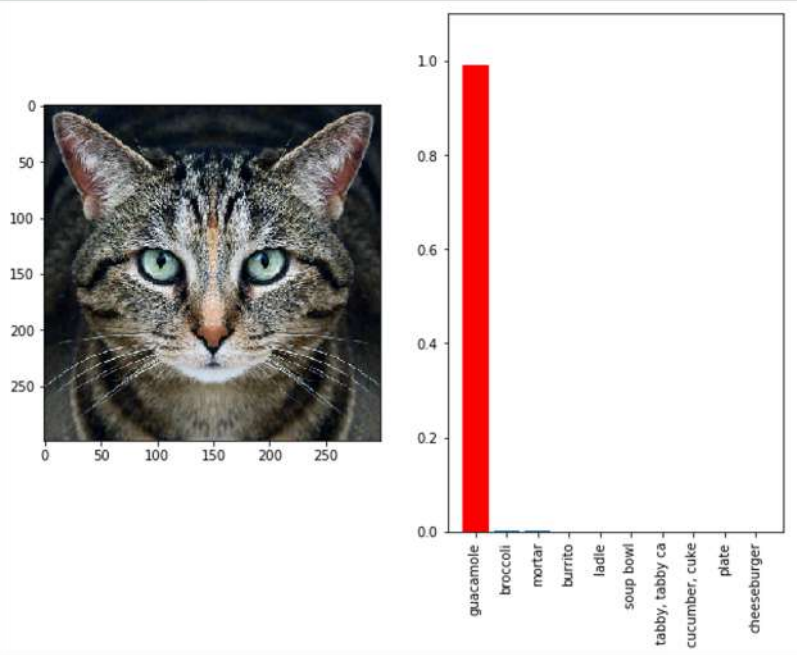
Réseau convolutionnel

Adapté à l'analyse d'images

Transfer Learning

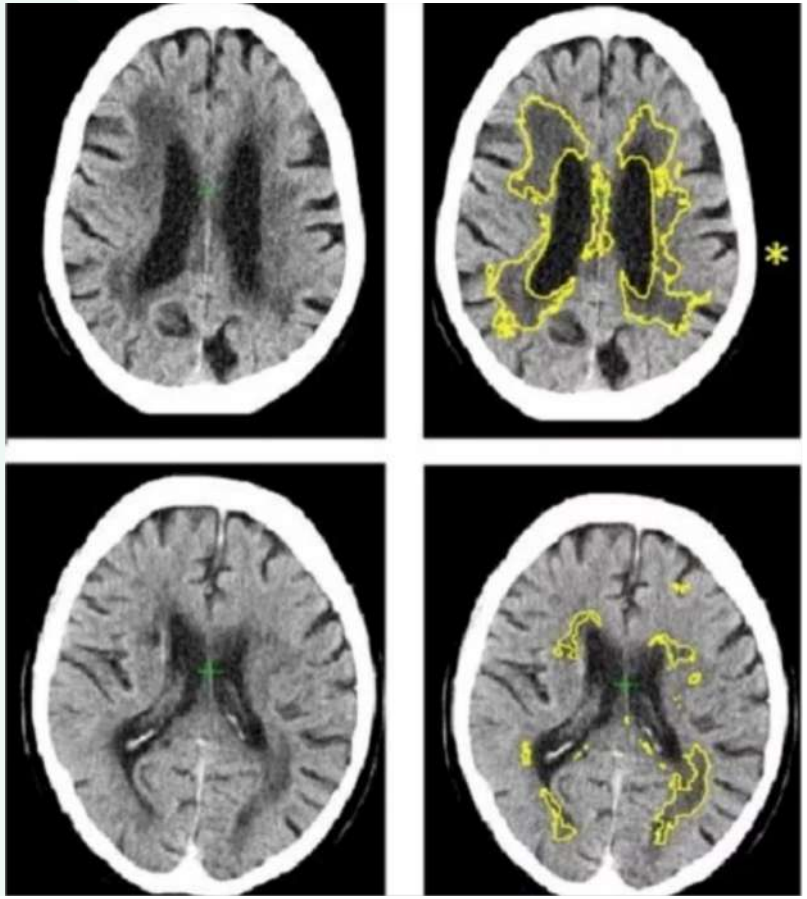
Afin de limiter les ressources nécessaires

Limitations de l'IA



- ✓ L'effet boîte noire

  Une fois entrainés, le fonctionnement interne des algorithmes nous reste inaccessible



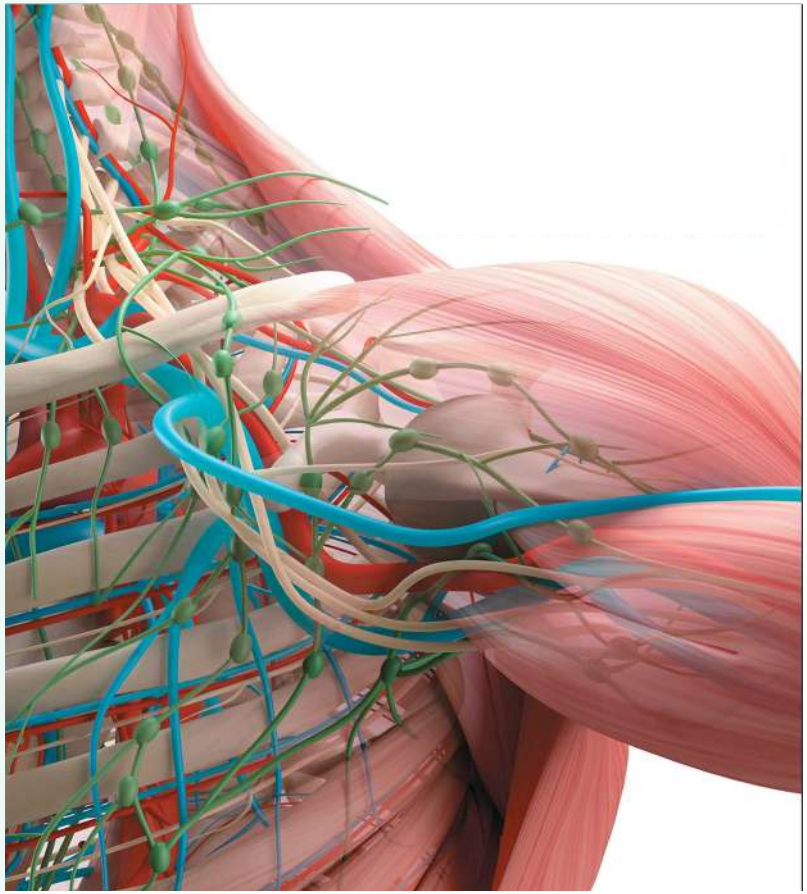
Limitations de l'IA

- ✓ L'effet boîte noire

  Une fois entrainés, le fonctionnement interne des algorithmes nous reste inaccessible

- ✓ Les données

  Une importante quantité de données annotées est nécessaire pour entrainer les algorithmes



Limitations de l'IA

- ✓ L'effet boîte noire

  Une fois entrainés, le fonctionnement interne des algorithmes nous reste inaccessible

- ✓ Les données

  Une importante quantité de données annotées est nécessaire pour entrainer les algorithmes

- ✓ La physiologie humaine

  La complexité de la physiologie humaine reste un challenge technique pour l'IA

Limitations de l'IA

- ✓ L'effet boîte noire

  Une fois entrainés, le fonctionnement interne des algorithmes nous reste inaccessible

- ✓ Les données

  Une importante quantité de données annotées est nécessaire pour entrainer les algorithmes

- ✓ La physiologie humaine

  La complexité de la physiologie humaine reste un challenge technique pour l'IA

- ✓ Cadre légal et éthique

  A qui revient la responsabilité d'interprétation des images analysées par les algorithmes d'IA ?

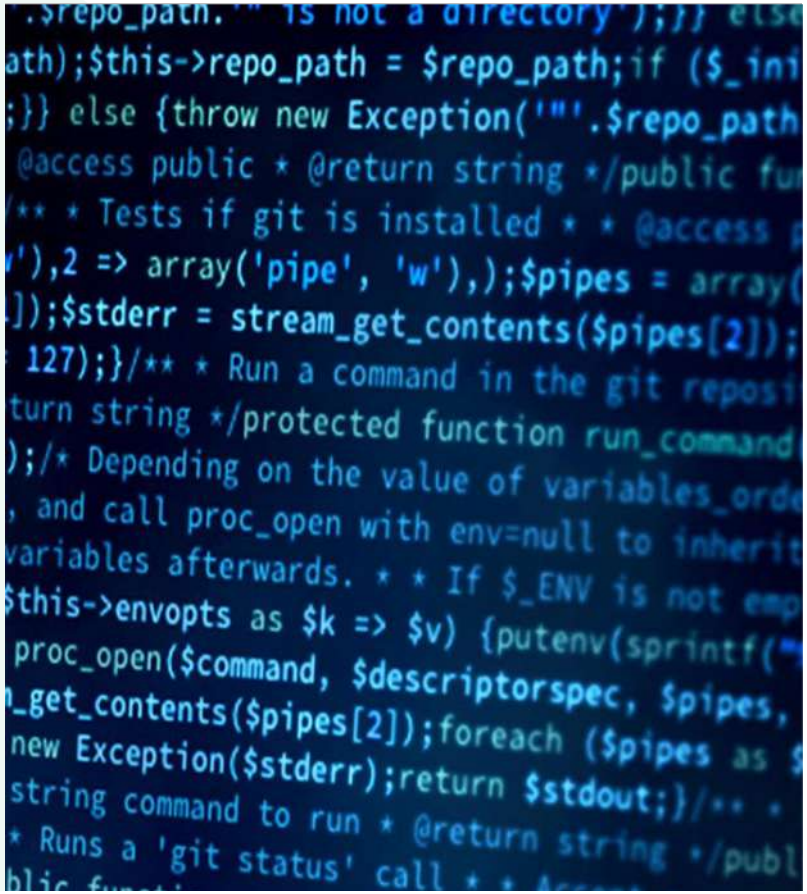
Notre projet

Objectif principal

Produire un algorithme capable d'analyser automatiquement une radiographie thoracique afin de déterminer s'il existait ou non une pneumopathie sur l'imagerie

Objectif secondaire

Distinguer les pneumopathies bactériennes des pneumopathies virales



Approche SVM

- ✓ Méthode connue et éprouvée

  Librairies disponibles dans plusieurs environnements de développement

- ✓ Nécessite moins de données

  Approche nécessitant moins de données et de ressource processeur qu'une approche Deep Learning

200 Radiographies thoraciques issues du set PACS

SVM sous Matlab

Analyse statistique

Hôpital des enfants CHU Purpan

268 radiographies thoraciques pédiatriques du CHU Toulouse

200 radiographies réparties en deux groupes :

- 100 radiographies thoraciques sans pneumopathie
- 100 radiographies avec pneumopathie

200 Radiographies thoraciques issues du set PACS

SVM sous Matlab

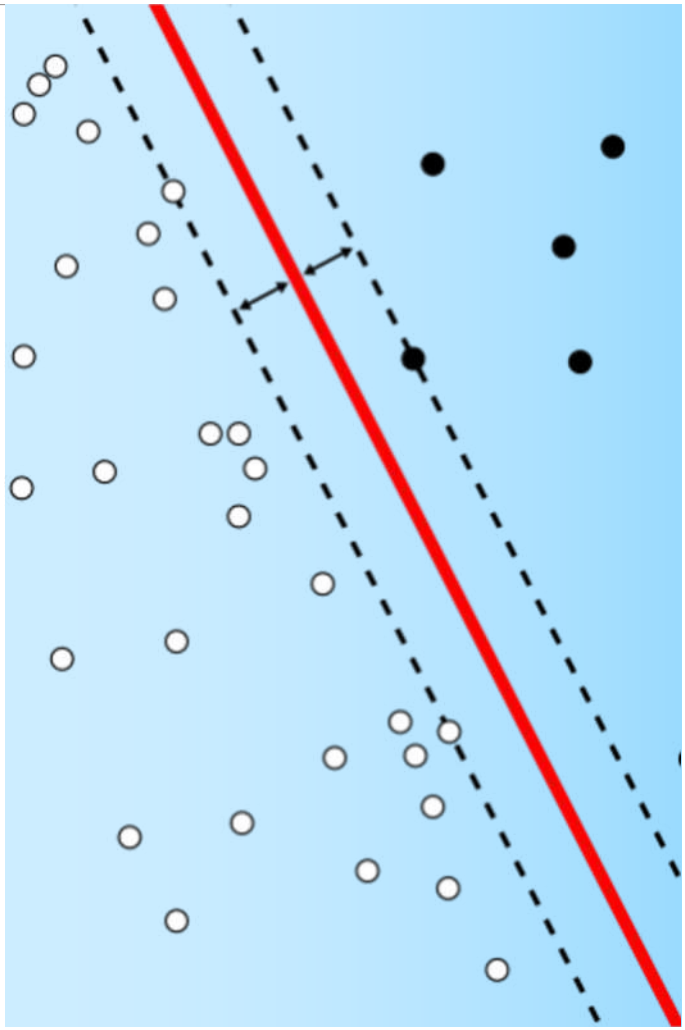
Analyse statistique

Matlab™ R2017b

« Computer Vision Toolbox ™ » (R2017b)

Classification de catégories d'images à partir de « bags of words »

Histogramme d'occurrences de mots visuels qui représentent une image



200 Radiographies thoraciques issues du set PACS

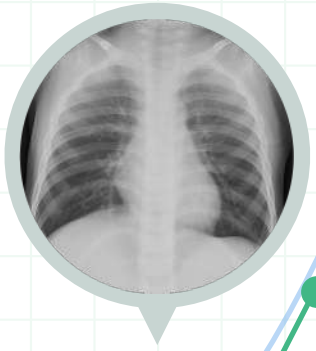
SVM sous Matlab

Analyse statistique

MedCalc 16.8

Calcul de l'accuracy
Calcul de la Sensibilité
Calcul de la Spécificité

Si l'accuracy nous semblait suffisante (> 70%) : Réalisation d'une courbe ROC



Approche Deep Learning

- **Performances**

  Les meilleures performances aujourd'hui sont obtenues avec des algorithmes de Deep Learning

- **Données**

  Nécessite plus de données, de plusieurs dizaines de milliers à plusieurs centaines de milliers

- **Ressources**

  Nécessite plus de ressources processeur

Banque de données en ligne ✓

Distribuée par l'université de Californie de San Diego

Banque de données en ligne ✓

Distribuée par l'université de Californie de San Diego

Transfer Learning ✓

Core ML 2.0, dans l'environnement Xcode 10.1 10B61 en Swift 4.2

Banque de données en ligne ✓

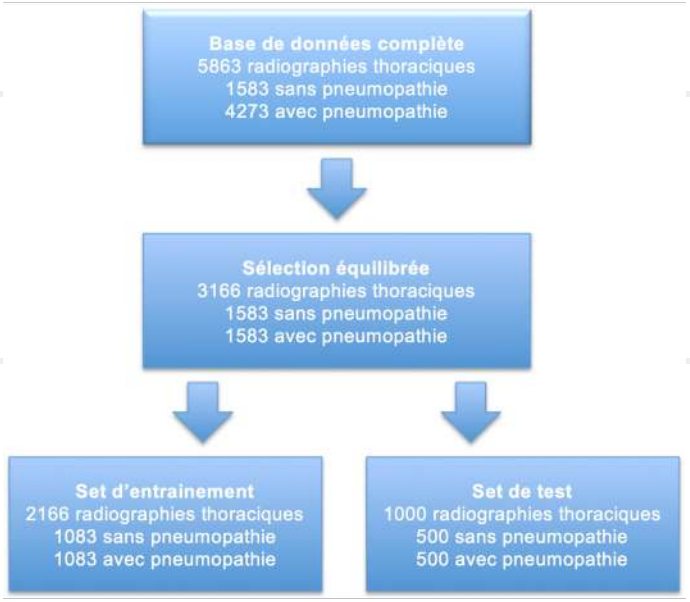
Distribuée par l'université de Californie de San Diego

Transfer Learning ✓

Core ML 2.0, dans l'environnement Xcode 10.1 10B61 en Swift 4.2

Objectif principal ✓

3166 radiographies thoraciques, 1583 radiographies thoraciques sans pneumopathie et 1583 radiographies thoraciques avec pneumopathie indifféremment bactérienne ou virale



Banque de données en ligne ✓

Distribuée par l'université de Californie de San Diego

Transfer Learning ✓

Core ML 2.0, dans l'environnement Xcode 10.1 10B61 en Swift 4.2

Objectif principal ✓

3166 radiographies thoraciques, 1583 radiographies thoraciques sans pneumopathie et 1583 radiographies thoraciques avec pneumopathie indifféremment bactérienne ou virale

CHU de Toulouse

✓ Validité extrinsèque

268 radiographies thoraciques pédiatriques issues du set PACS

Banque de données en ligne ✓

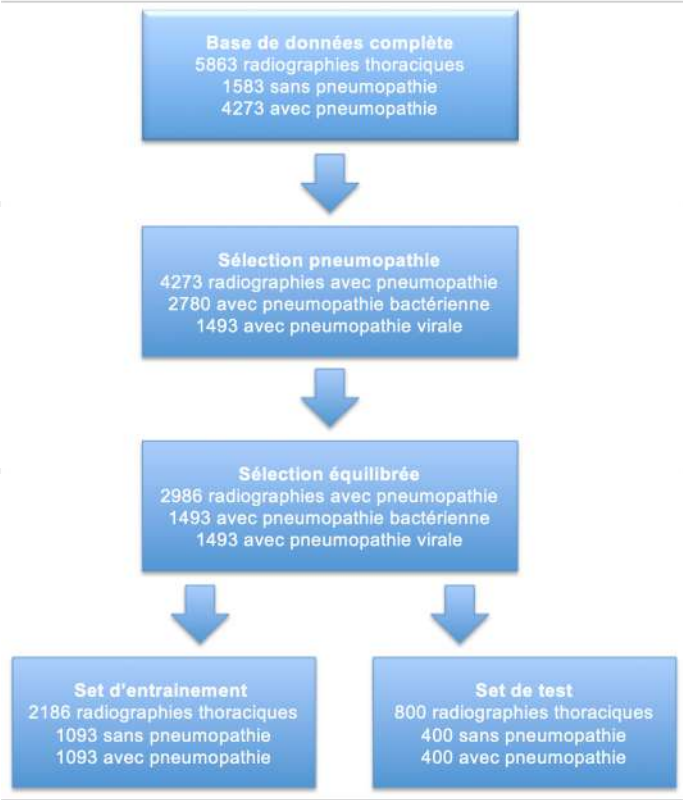
Distribuée par l'université de Californie de San Diego

Transfer Learning ✓

Core ML 2.0, dans l'environnement Xcode 10.1 10B61 en Swift 4.2

Objectif principal ✓

3166 radiographies thoraciques, 1583 radiographies thoraciques sans pneumopathie et 1583 radiographies thoraciques avec pneumopathie indifféremment bactérienne ou virale



✓ Validité extrinsèque

268 radiographies thoraciques pédiatriques issues du set PACS

✓ Objectif secondaire

2986 radiographies thoraciques de pneumopathies, 1493 virales et 1493 bactériennes

Banque de données en ligne

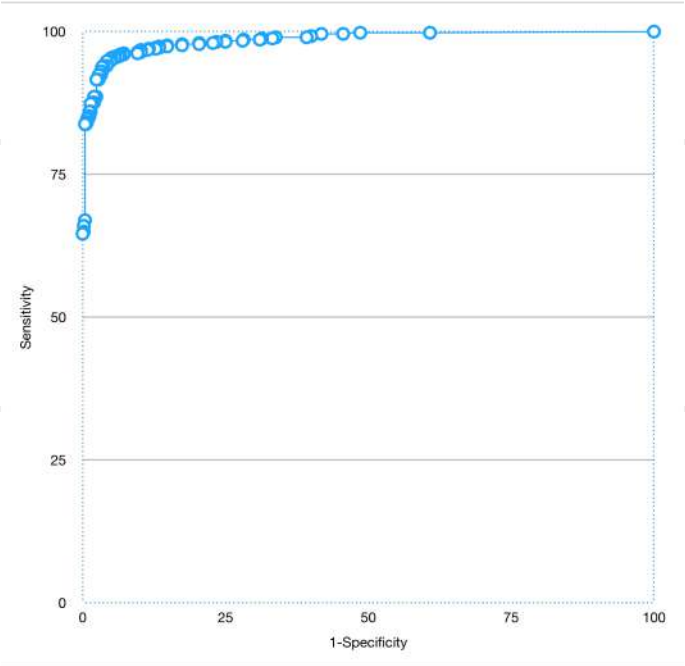
Distribuée par l'université de Californie de San Diego

Transfer Learning

Core ML 2.0, dans l'environnement Xcode 10.1 10B61 en Swift 4.2

Objectif principal

3166 radiographies thoraciques, 1583 radiographies thoraciques sans pneumopathie et 1583 radiographies thoraciques avec pneumopathie indifféremment bactérienne ou virale



Validité extrinsèque

268 radiographies thoraciques pédiatriques issues du set PACS

Objectif secondaire

2986 radiographies thoraciques de pneumopathies, 1493 virales et 1493 bactériennes

Analyse statistique

Avec MedCalc 16.8
Evaluation de l'accuracy complétée par le calcul de la Sensibilité, de la Spécificité, la réalisation d'une courbe ROC

```
* Using K-Means clustering to create a 500 word visual vocabulary.
* Number of features          : 20651322
* Number of clusters (K)      : 500

* Initializing cluster centers...100.00%.
* Clustering...completed 17/100 iterations (~416.36 seconds/iteration)...converged
in 17 iterations.

* Finished creating Bag-Of-Features

>> classifier = trainImageCategoryClassifier(trainingSet,bag)

Training an image category classifier for 2 categories.
--------------------------------------------------------
* Category 1: Normal
* Category 2: Pneumopathie

* Encoding features for 80 images...done.

* Finished training the category classifier. Use evaluate to test the classifier
on test set.


classifier =

  imageCategoryClassifier with properties:

          Labels: ('Normal'  'Pneumopathie')
    NumCategories: 2

>> classifier.evaluate(testSet);

Evaluating image category classifier for 2 categories.
--------------------------------------------------------

* Category 1: Normal
* Category 2: Pneumopathie

* Evaluating 40 images...done.

* Finished evaluating all the test sets.

* The confusion matrix for this test set is:


                          PREDICTED
KNOWN            | Normal   Pneumopathie
-----------------------------------------
Normal           | 0.45     0.55
Pneumopathie     | 0.25     0.75

* Average Accuracy is 0.60.
```

Résultats SVM

Le modèle SVM, entraîné sur un ensemble de données réduits a fourni des résultats encourageant

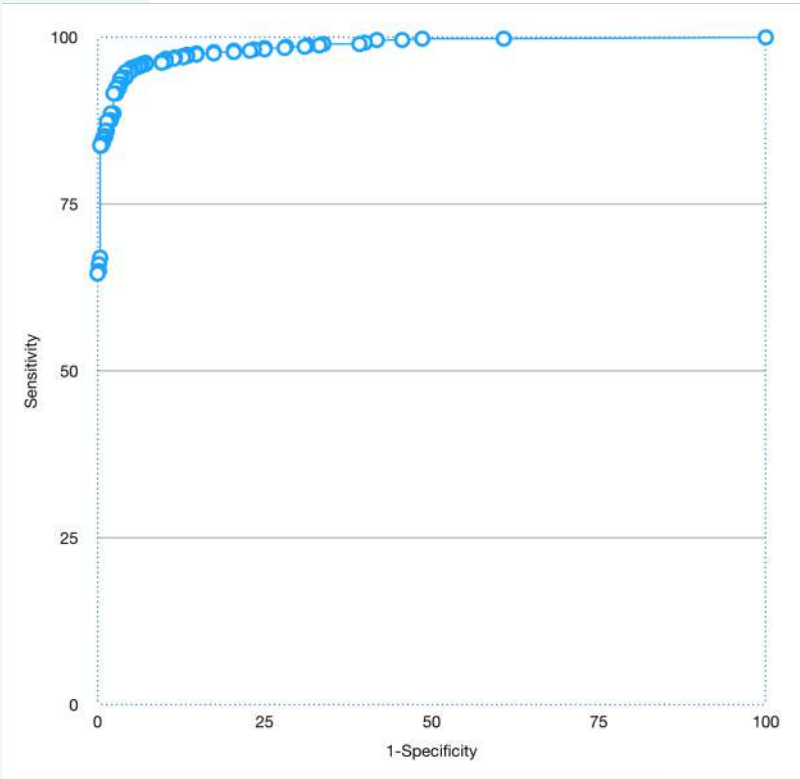
- **Accuracy de 60%**.
- Sensibilité de 75%
- Spécificité de 45%

```
  imageCategoryClassifier with properties:

            Labels: {'Normal'  'Pneumopathie'}
    NumCategories: 2

>> classifier.evaluate(testSet);

Evaluating image category classifier for 2 cat
----------------------------------------------

* Category 1: Normal
* Category 2: Pneumopathie

* Evaluating 40 images...done.

* Finished evaluating all the test sets.

* The confusion matrix for this test set is:


                          PREDICTED
KNOWN            | Normal    Pneumopathie
-----------------------------------------
Normal           | 0.45      0.55
Pneumopathie     | 0.25      0.75

* Average Accuracy is 0.60.
```

Résultats SVM

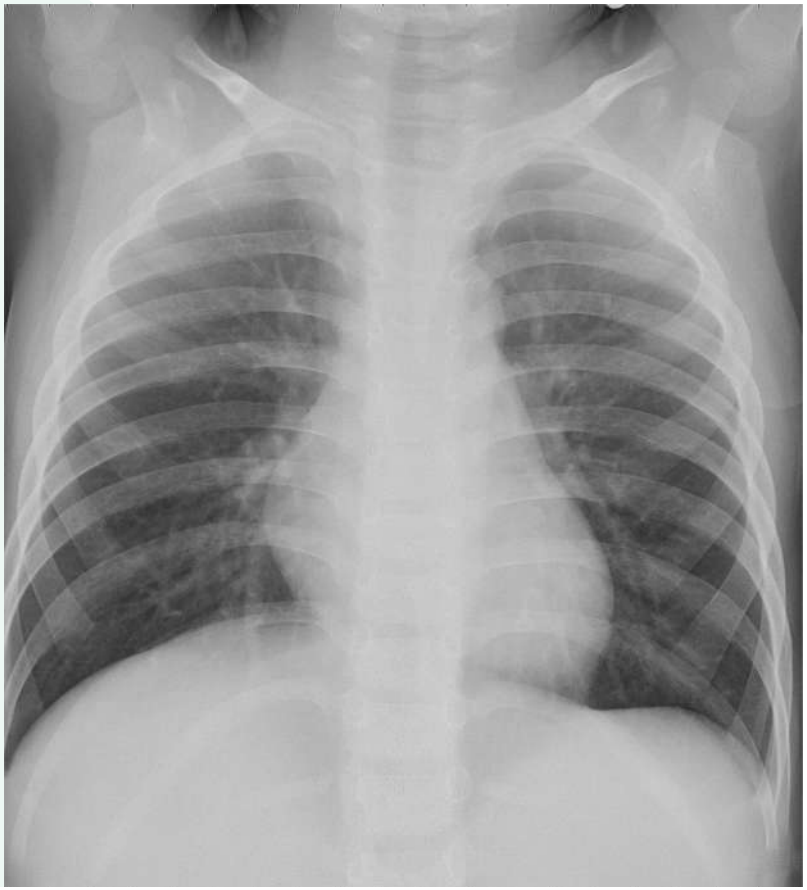
Le modèle SVM, entraîné sur un ensemble de données réduits a fourni des résultats encourageant

- **Accuracy de 60%**.
- Sensibilité de 75%
- Spécificité de 45%



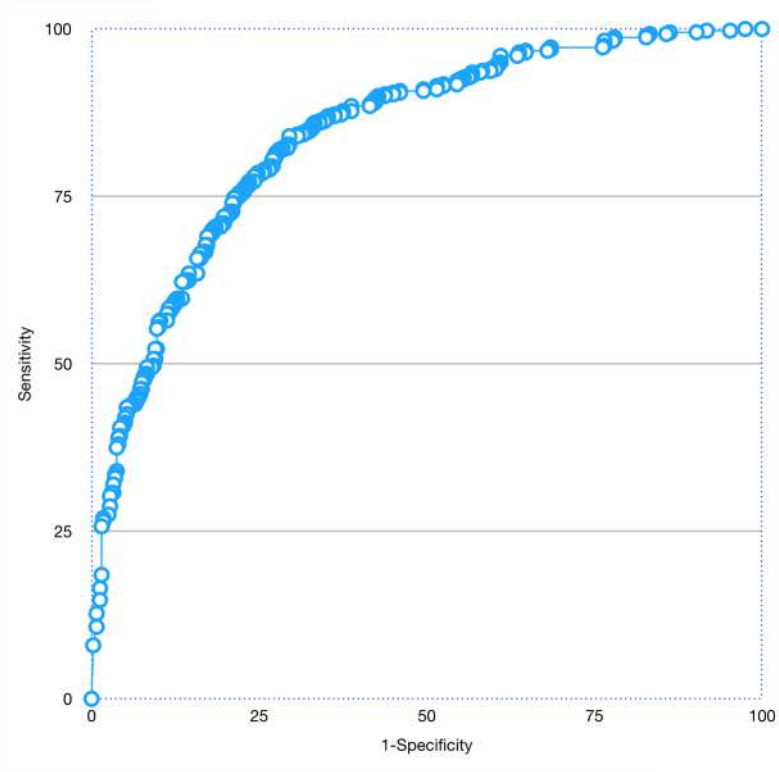
Résultats Deep Learning : Objectif Principal

- Accuracy à 96%
- Aire sous la courbe ROC évaluée à 0,986
- Index de Youden à 0,9060
- Sensibilité de 94,8%
- Spécificité à 95,8%.



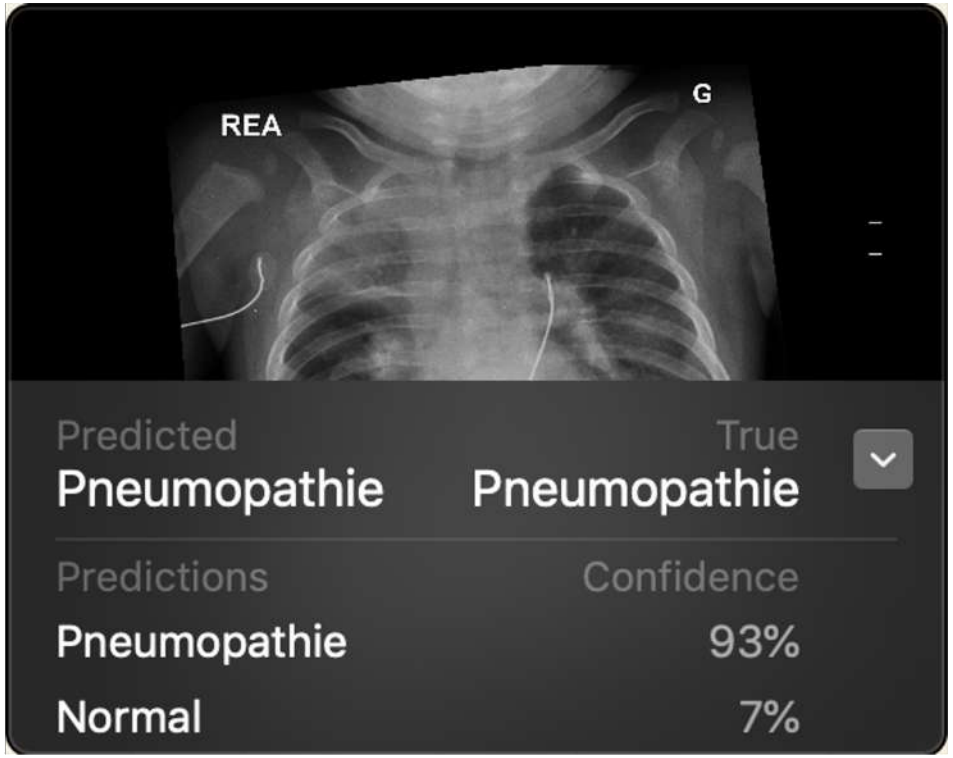
Résultats Deep Learning : Validation extrinsèque

- Accuracy de 52,49%
- Sensibilité de 86,57%
- Spécificité de 21,64%



Résultats Deep Learning : Objectif Secondaire

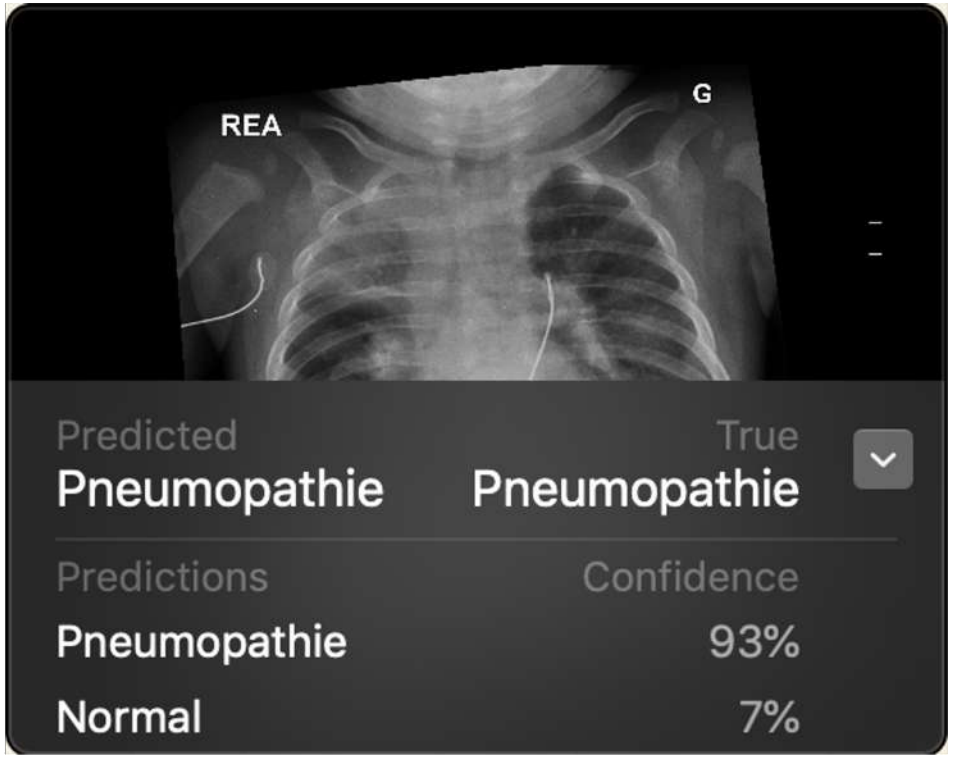
- Accuracy à 78%
- Aire sous la courbe ROC évaluée à 0,841
- Index de Youden à 0,5450
- Sensibilité de 84%
- Spécificité à 70%



Discussion

✓ Détection de pneumopathie

Résultats satisfaisants utilisables en pratique courante



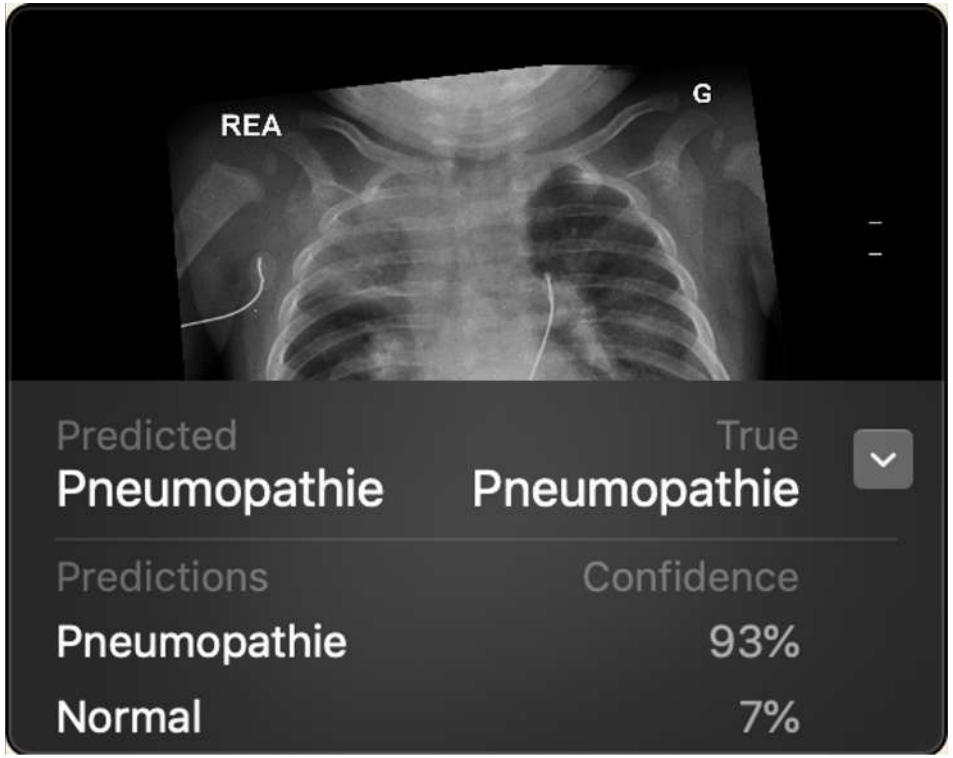
Discussion

- ✓ Détection de pneumopathie

  Résultats satisfaisants utilisables en pratique courante

- ✓ Bactérie vs Virus

  Données à classifier plus proches
  Augmentation du nombre de données d'entrainement pour envisager une application clinique



Discussion

- ✓ Détection de pneumopathie

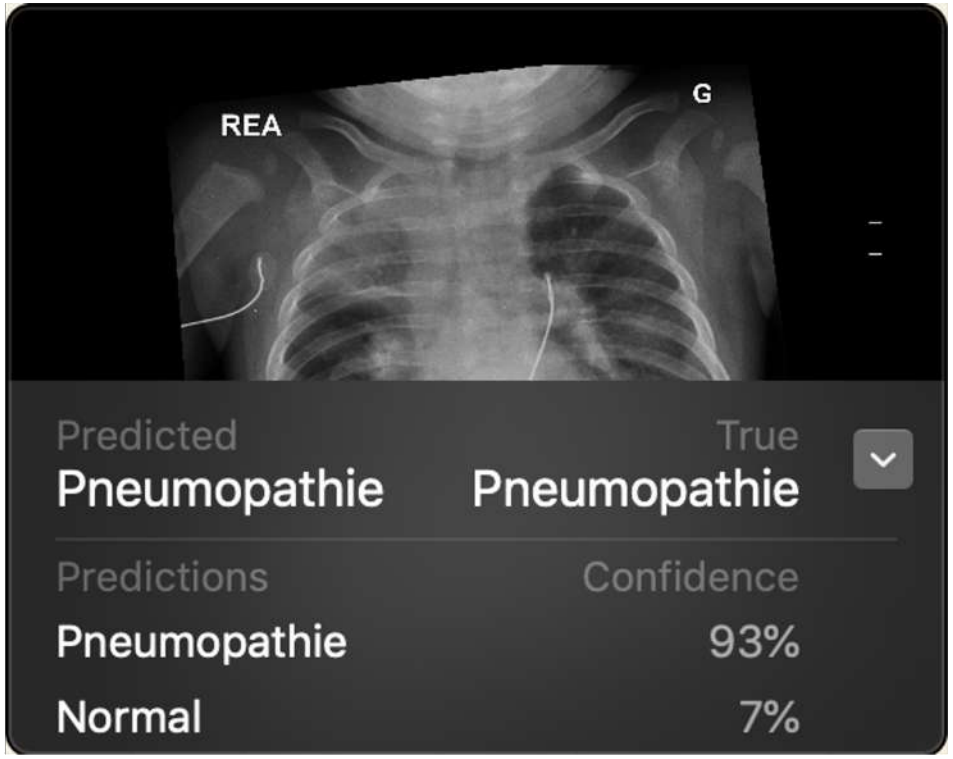
  Résultats satisfaisants utilisables en pratique courante

- ✓ Bactérie vs Virus

  Données à classifier plus proches
  Augmentation du nombre de données d'entrainement pour envisager une application clinique

- ✓ Validité extrinsèque

  Plusieurs pistes pourraient permettre d'améliorer les problèmes de validité extrinsèque



Discussion

- **Détection de pneumopathie**

  Résultats satisfaisants utilisables en pratique courante

- **Bactérie vs Virus**

  Données à classifier plus proches
  Augmentation du nombre de données d'entrainement pour envisager une application clinique

- **Validité extrinsèque**

  Plusieurs pistes pourraient permettre d'améliorer les problèmes de validité extrinsèque

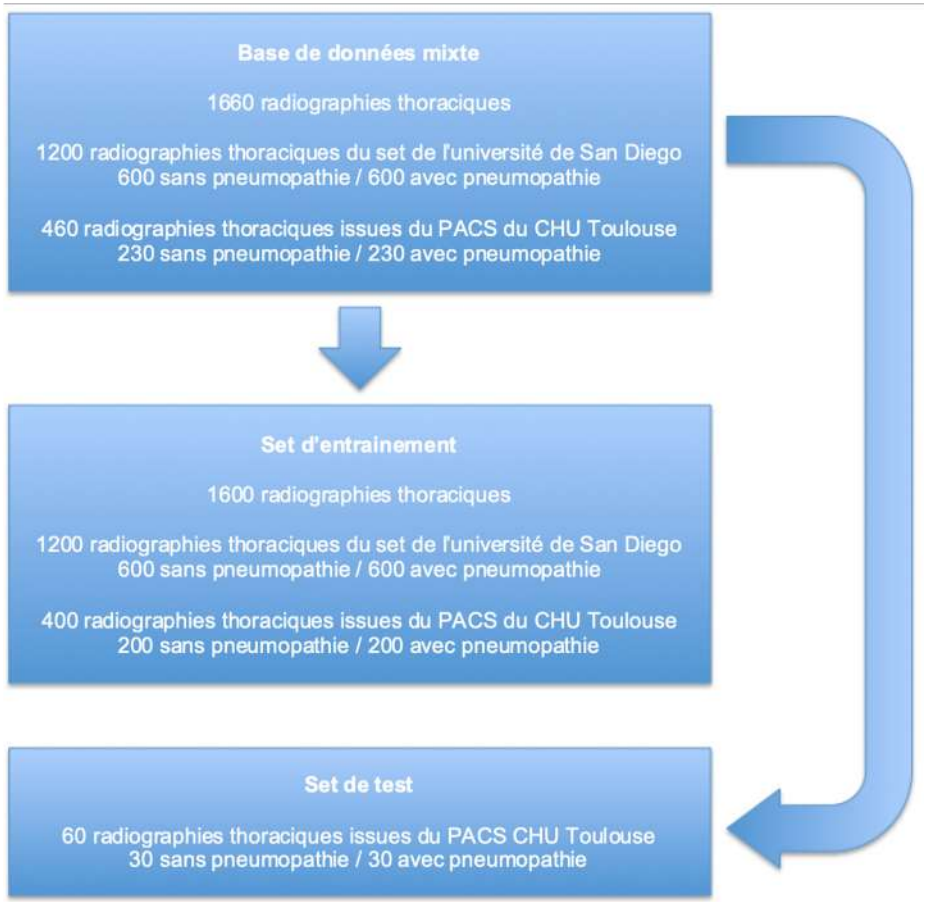
- **Gold Standard**

  Un ensemble de radiographies thoraciques avec une documentation clinico-biologique précise serait plus juste

Validation extrinsèque

- ✓ Inclusion de radiographies du PACS

  460 radiographies thoraciques pédiatriques recadrées



Validation extrinsèque

- ✓ Inclusion de radiographies du PACS

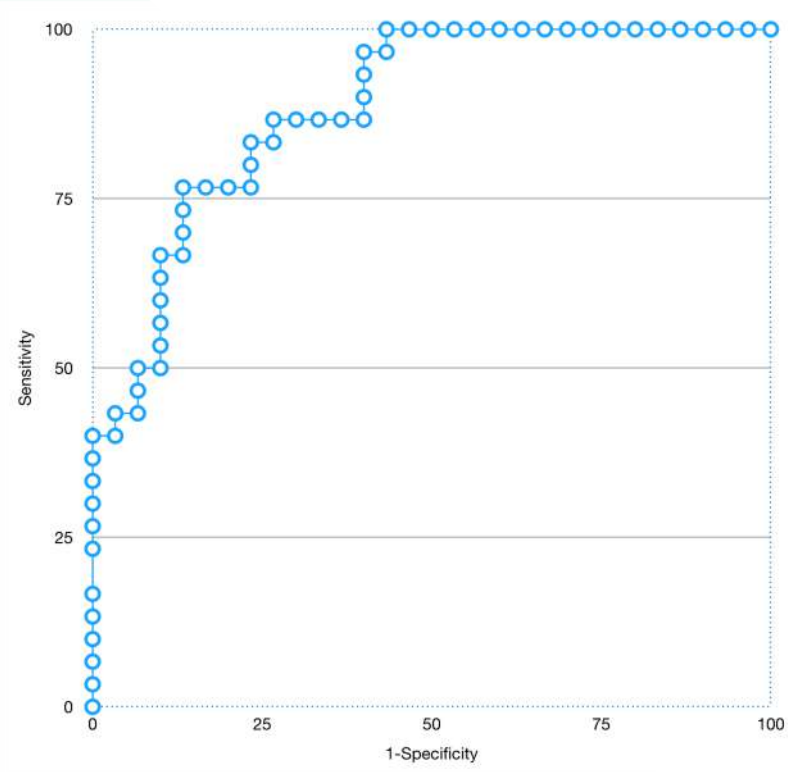
  460 radiographies thoraciques pédiatriques recadrées

- ✓ Nouvel ensemble d'entrainement mixte

  75% issue du set distribué par l'université de San Diego et 25% issue du PACS toulousain

- ✓ Nouvel ensemble de test exclusivement PACS

  Ensemble de test PACS de 60 radiographies



Résultats Deep Learning : Validation extrinsèque

- Accuracy à 82%
- Aire sous la courbe ROC évaluée à 0,886
- Index de Youden à 0,6333
- Sensibilité de 76,67 %
- Spécificité à 86,67 %.

Chest X-Ray iOS

Chest X-Ray iOS

Application

Une application iOS qui permet d'interpréter en temps réel des radiographies thoraciques pédiatriques

Chest X-Ray iOS

Application

Une application iOS qui permet d'interpréter en temps réel des radiographies thoraciques pédiatriques

Radiographies issues du PACS

Interprétation automatisée des radiographies exportées au format JPEG depuis le PACS

Chest X-Ray iOS

Application

Une application iOS qui permet d'interpréter en temps réel des radiographies thoraciques pédiatriques

Radiographies issues du PACS

Interprétation automatisée des radiographies exportées au format JPEG depuis le PACS

Chest X-Ray iOS

Application

Une application iOS qui permet d'interpréter en temps réel des radiographies thoraciques pédiatriques

Radiographies issues du PACS

Interprétation automatisée des radiographies exportées au format JPEG depuis le PACS

Chest X-Ray iOS

Application

Une application iOS qui permet d'interpréter en temps réel des radiographies thoraciques pédiatriques

Radiographies issues du PACS

Interprétation automatisée des radiographies exportées au format JPEG depuis le PACS

Chest X-Ray iOS

Application

Une application iOS qui permet d'interpréter en temps réel des radiographies thoraciques pédiatriques

Radiographies issues du PACS

Interprétation automatisée des radiographies exportées au format JPEG depuis le PACS

Chest X-Ray iOS

Application

Une application iOS qui permet d'interpréter en temps réel des radiographies thoraciques pédiatriques

Radiographies issues du PACS

Interprétation automatisée des radiographies exportées au format JPEG depuis le PACS

Chest X-Ray iOS

Application

Une application iOS qui permet d'interpréter en temps réel des radiographies thoraciques pédiatriques

Radiographies issues du PACS

Interprétation automatisée des radiographies exportées au format JPEG depuis le PACS

Chest X-Ray iOS

Application

Une application iOS qui permet d'interpréter en temps réel des radiographies thoraciques pédiatriques

Radiographies issues du PACS

Interprétation automatisée des radiographies exportées au format JPEG depuis le PACS

Chest X-Ray iOS

Application

Une application iOS qui permet d'interpréter en temps réel des radiographies thoraciques pédiatriques

Radiographies issues du PACS

Interprétation automatisée des radiographies exportées au format JPEG depuis le PACS

Radiographies directement prises en photo

Interprétation automatisée des radiographies directement prises en photos avec le téléphone depuis l'écran de la console de visualisation

Chest X-Ray iOS

Application

Une application iOS qui permet d'interpréter en temps réel des radiographies thoraciques pédiatriques

Radiographies issues du PACS

Interprétation automatisée des radiographies exportées au format JPEG depuis le PACS

Radiographies directement prises en photo

Interprétation automatisée des radiographies directement prises en photos avec le téléphone depuis l'écran de la console de visualisation

Chest X-Ray iOS

Application

Une application iOS qui permet d'interpréter en temps réel des radiographies thoraciques pédiatriques

Radiographies issues du PACS

Interprétation automatisée des radiographies exportées au format JPEG depuis le PACS

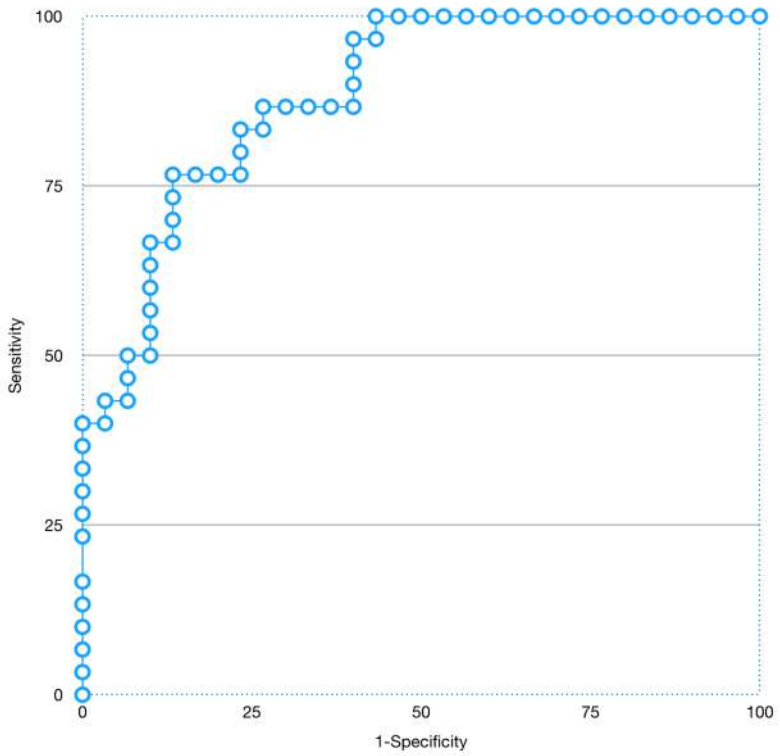
Radiographies directement prises en photo

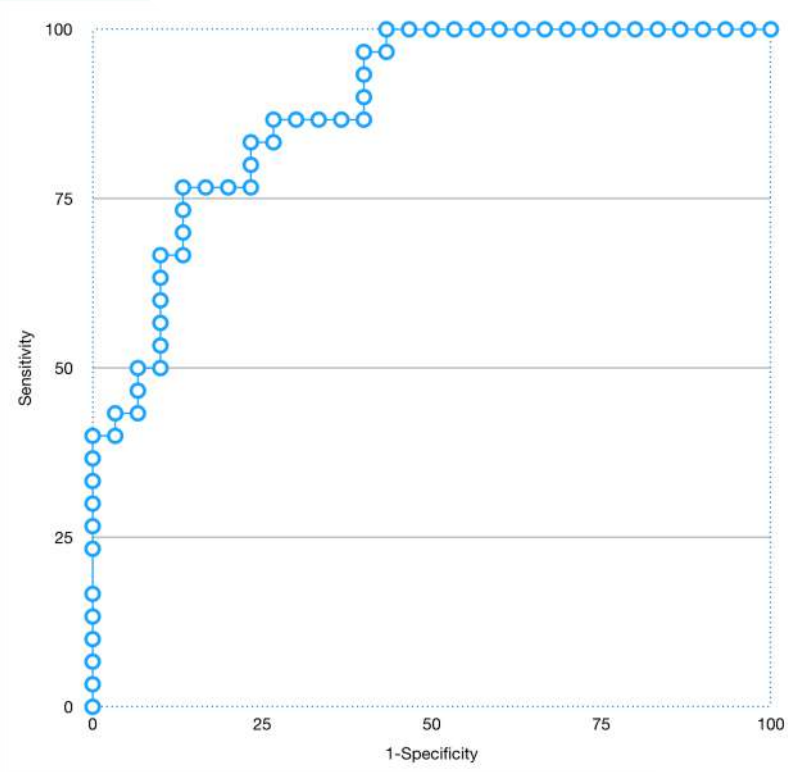
Interprétation automatisée des radiographies directement prises en photos avec le téléphone depuis l'écran de la console de visualisation

Chest X-Ray iOS

✔ Résultats Application Chest X-Ray iOS

- Accuracy à 95%
- Aire sous la courbe ROC évaluée à 0,945
- Index de Youden à 0,900
- Sensibilité de 90 %
- Spécificité à 100 %.





Résultats Deep Learning : Application iOS

- Accuracy à 95%
- Aire sous la courbe ROC évaluée à 0,945
- Index de Youden à 0,900
- Sensibilité de 90 %
- Spécificité à 100 %.

One more thing…

Chest X-Ray iOS

Chest X-Ray iOS

Application

Une application iOS qui permet d'interpréter en temps réel des radiographies thoraciques pédiatriques

Radiographies issues du PACS

Interprétation automatisée des radiographies exportées au format JPEG depuis le PACS

Radiographies directement prises en photo

Interprétation automatisée des radiographies directement prises en photos avec le téléphone depuis l'écran de la console de visualisation