

# Evolutionary Neural Network Tools for Life Emergence and More

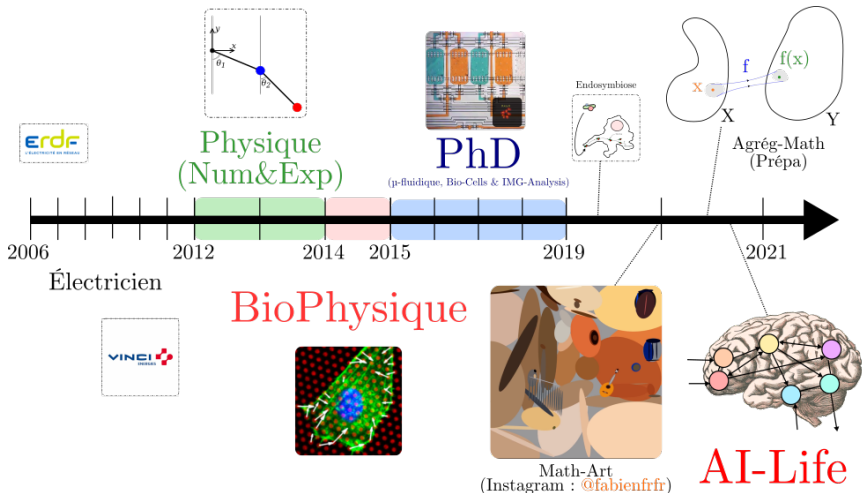
F.Furfaro - 2021

Conference on AI, Artificial Life and Application

August 24, 2021

# De technicien à chercheurs en (Bio)Physique.

Mon parcours, mes compétences et mes centres intérêts de 2006 à aujourd'hui.



1

<sup>1</sup>Buckling along boundaries of elastic contrast as a mechanism for early vertebrate morphogenesis, V.Fleury 2015

# Evolutionary Neural Network Tools for Life Emergence

Démarche scientifique :

- Comment la vie c'est développée ? Comment le cerveau et l'intelligence ont émergé ? (1940 : point de vue "artificiel")
  - ▶ Observation/Hypothèse : Le cerveau est organisé en **modules interconnectés** permettant l'**apprentissage**.
- Peut-on développer une "vie artificielle" permettant l'apparition de structure neuronale fonctionnelle ?

## Modélisation

- Évolutif : Jeu du chat et de la souris pour la prise de décision.
  - Apprentissage : ANN + Graphes + Algo évolutif = ENN
  - Observation : Convergence évolutive vers une stratégie optimale.
- 
- Construction d'ANN fonctionnel minimisant le lot d'entraînement.
  - Créer une IA généraliste doit passer par une expérience de vie ?

# Comment définir le vivant ?

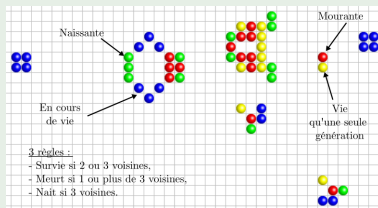
Introduction 1/5.

Tentatives de définitions (la mienne en rouge) :

- 1 **Système** chimique auto-entretenu capable d'**évolution darwinienne**.
- 2 Structure dissipative capable d'auto-catalyse, d'homéostasie et d'**apprentissage**.

Cette définition est-elle suffisante ? Découverte : le principe d'émergence !

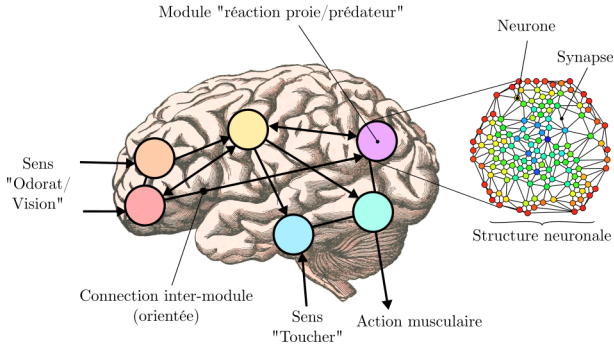
Jeu de la vie de Conway, ici le canon à planeur.



La vie **suit le principe d'émergence**. Quelles règles utiliser ?

# L'apprentissage est une propriété émergente du cerveau.

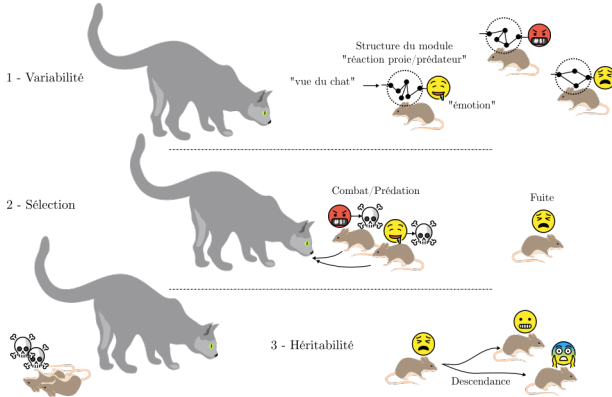
## Introduction 2/5.



- Le cerveau est réparti en module connecté les uns avec les autres.  
L'ensemble des modules fait émerger "apprentissage", "pensée", etc.

# Les modules du cerveau ont été façonnés par l'évolution.

## Introduction 3/5.

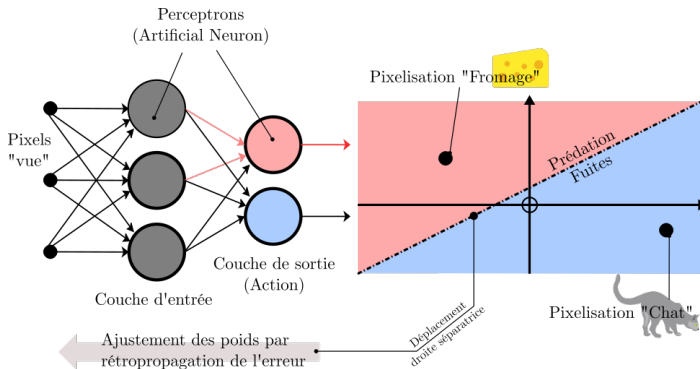


- Adaptation du module “réaction proie/prédateur” pour la prise de décision.

La structure du module est spécifique : permet un apprentissage rapide.

# Les ANNs<sup>2</sup> usuels n'optimisent pas la structure.

## Introduction 4/5.

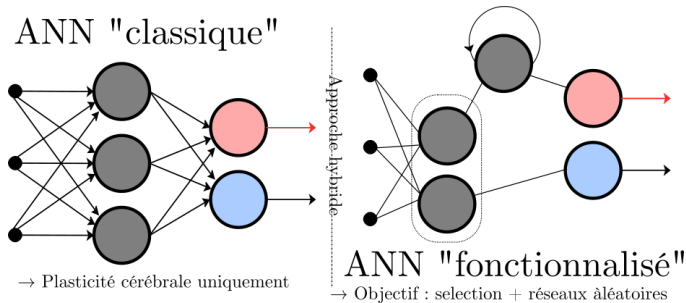


- L'apprentissage peut se réduire à un problème de classification (ordre-0) : prédation / fuite.

! Les structures sont prédéfinies et nécessitent beaucoup d'apprentissage.

# Des structures adaptées pour minimiser l'entrainement.

Introduction 5/5.



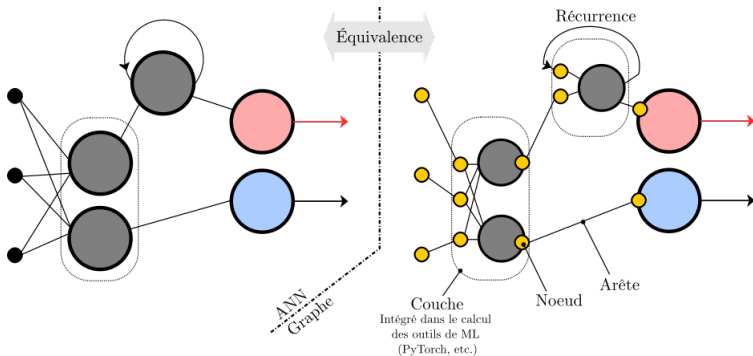
Peut-on développer une *"vie artificielle"* permettant l'apparition de structure neuronale *"fonctionnalisé"* ?

Comment s'en inspirer pour construire des ANN fonctionnalisé **et** les utiliser pour des applications plus générales en IA ?



# Les critères de modélisations.

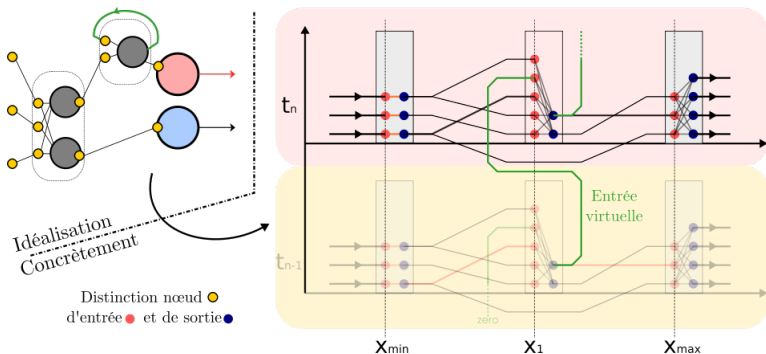
## Méthodes 1/5.



- Doit permettre la rétropropagation : entrée virtuelle si récurrence.
  - ▶ Récurrence = connection vers l'arrière = mémoire
- Les entrées correspondent à la "vue" : couche de convolution.
- Les sorties doivent correspondre à l'action de l'agent.
- Le jeu de vie doit combiner des stratégies de proies/prédateurs.

# Une première approche d'ANN fonctionnalisé.

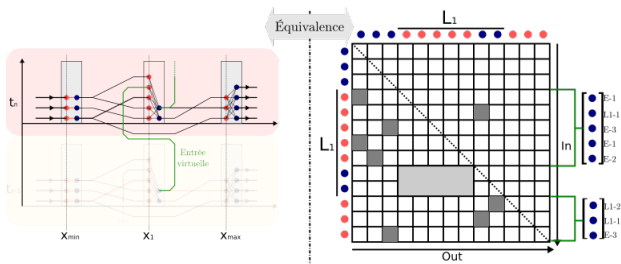
Méthodes 2/5.



- Chaque couche peut-être associé à une position dans  $[0, 32]$ .  
Comment stocker l'information des connections entre couches ?

# Les outils pour construire l'ANN : Les graphes.

## Méthodes 3/5.

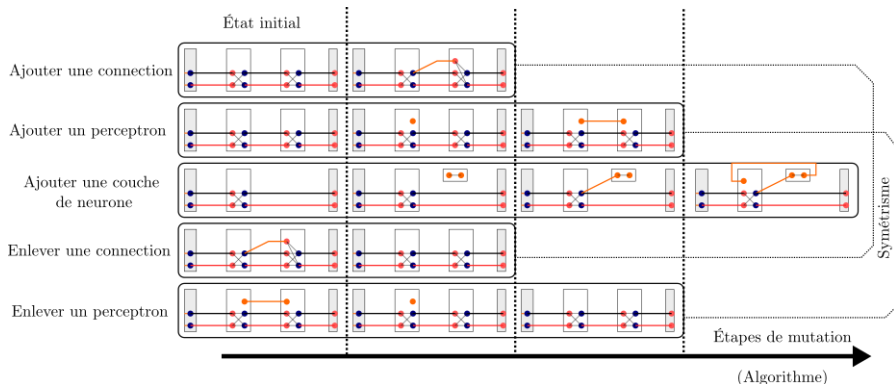


- Seule la partie entrée des couches est nécessaire pour la construction du réseau :
  - ▶ Liste d'adjacence pour chaque couche (stockage de l'information).

Quelles règles pour changer le réseau au cours des générations ?  
(**mutation**)

# Les modifs du réseau comme processus de mutation.

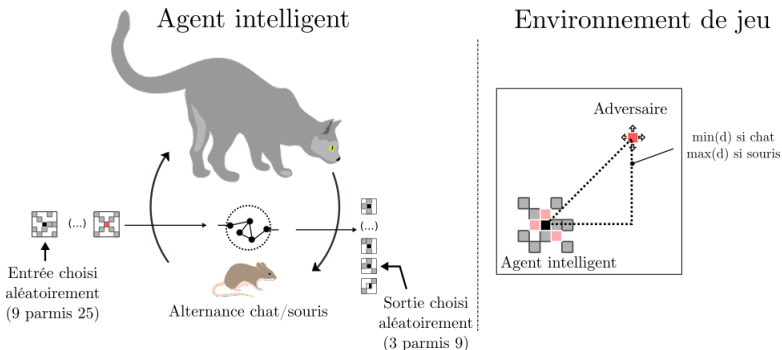
Méthodes 4/5.



Contrainte : Doit conserver la topologie initiale + Graphe complet.  
Quels jeux pourraient être le plus adaptés pour que le processus de mutation soit cohérent avec les règles évolutives ?

# Le jeu du chat et de la souris comme modèle de vie.

Méthodes 5/5.



- Les coordonnées relatives d'entrées (pixel) et de sorties (mouvement) sont définies aléatoirement.
- L'environnement de jeu contient les informations d'entrées/sorties pour chaque agent.

Le jeu du chat et la souris est-il un problème "fonctionnalisable", c'est-à-dire qu'il existe une stratégie optimale pour le résoudre ?

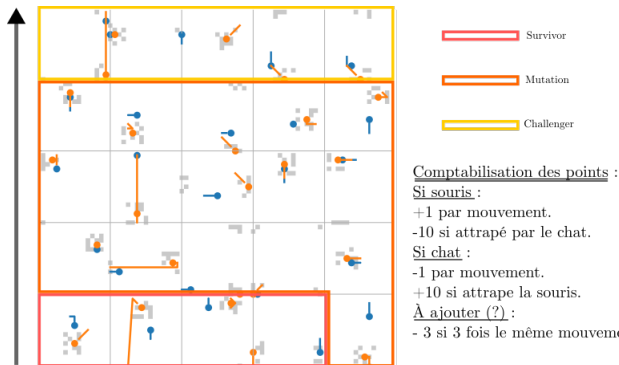
# Les paramètres à mesurer.

Résultats préliminaires 1/5.

- Combien d'expériences pour que cela soit statistiquement significatif ?
- Quelle stratégie de “vue” (**I**nput) et d'action (**O**utput) est la plus optimale ?
- Y-a t-il une structure du graphe neuronale “type” ?
- Comment évolue un agent “vainqueur” au cours des générations ?

# Nombre d'agent en parallèle minimal et scoring.

Résultats préliminaires 2/5.

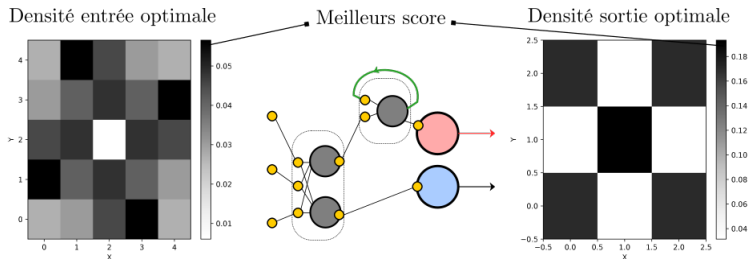


- Loi des grands nombres pour estimer parallélisation : minimum 10 agents.

Les challengers n'héritent pas de la structure neuronale mais des paramètres d'entrées/sorties : n'a un sens que si la convergence est significative (suit une densité de probabilité).

# Caractérisation de la convergence des I/O.

Résultats préliminaires 3/5.



- 4 points stratégiques, corrélation avec les actions de sortie.
- Les paramètres d'entrées/sorties convergent au bout de 10 générations (convergence non montrée ici)

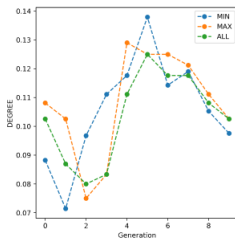
Comment la structure intermédiaire (les neurones) converge ?



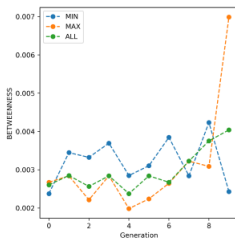
# Caractérisation de la connectivité du réseau.

Résultats préliminaires 4/5.

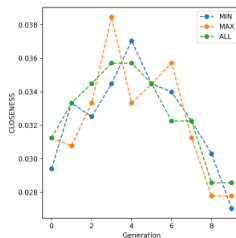
Structure possible :



Valence



Intermédierité



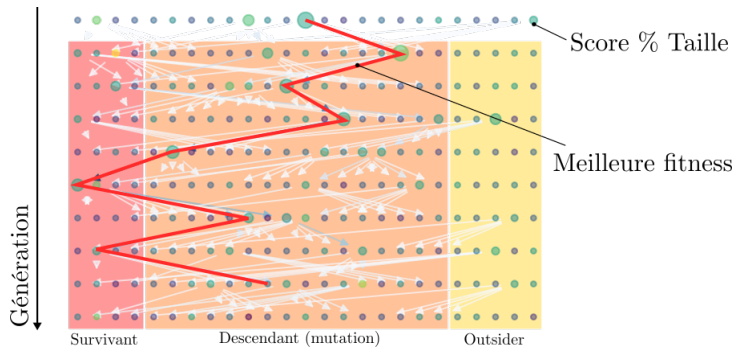
Proximité

- La centralité du réseau ne semble pas significative (pas de convergence) : nécessite plus d'expériences en parallèle ?

La structure implique t-elle une stratégie évolutive ?

# Caractérisation de la convergence évolutive.

Résultats préliminaires 5/5.



- Convergence évolutive de la stratégie “combat/fuite” même si les challengers ont les paramètres d’entrées/sorties optimaux.

Problème : L’agent intelligent a détecté la faille du problème et l’exploite.

# Notre modèle est adapté pour le prototypage de vie-IA.

## Conclusion.

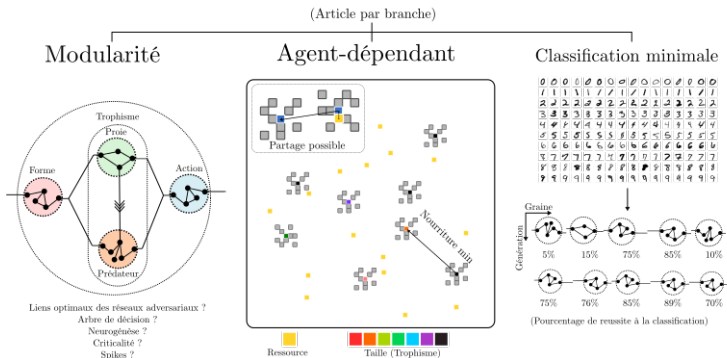
### ● Observations :

- ▶ Convergence évolutive des comportements indépendant du réseau.
- ▶ Le jeu du chat et de la souris est fonctionnalisable : stratégie optimale.
- ▶ Pas de structure artificielle nécessaire pour l'optimisation des poids du réseau.

### ● Limitations :

- ▶ La géométrie du problème est asymétrique.
- ▶ Structure vestigiale non optimale possible.
- ▶ Modélisation du problème peut favoriser la triche (*à revoir*)

## Vers la modularité et des applications.

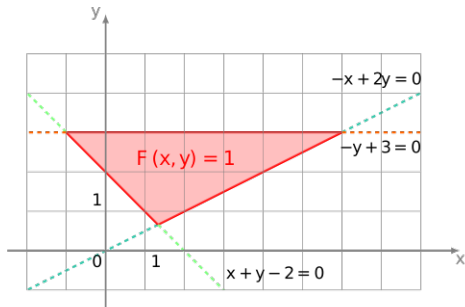
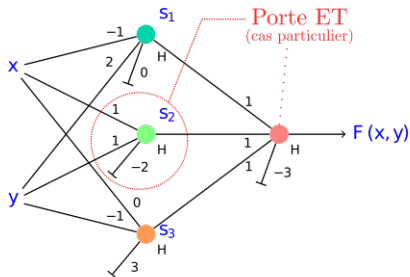


## Faut-il avoir une expérience de vie pour obtenir une IA généraliste ?

## Comment optimiser notre modèle pour des problèmes de classification ?

# Pourquoi ça marche ?

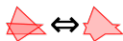
Applications possibles 1/5.



Pour l'union de deux ensembles réalisables "triangles" :



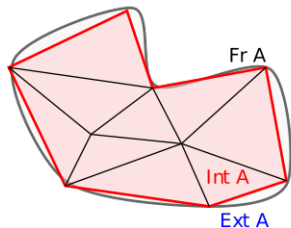
Peut donner deux triangles disjoints, mais aussi, un Dodécagone (12).



Théorème d'approximation universelle : un réseau de neurones "bien construit" peut approcher n'importe quelle fonction.

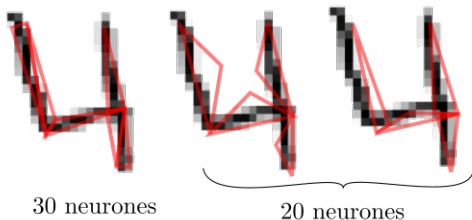
# Un exemple : la base MNIST.

Applications possibles 2/5.



Union de 9 triangles  
 $9 \times 4 + 9$  neurones

Estimation d'un réseau aléatoire



Exemple de résultat d'un réseau  $16+16+10$



La reconnaissance de l'écriture (**image**) est un problème difficile.

Base MNIST (standard) pour trouver la configuration optimal d'un réseau.

# Du NLP<sup>3</sup> au Test de Turing.

Applications possibles 3/5.

Critique de film

**IMDb**

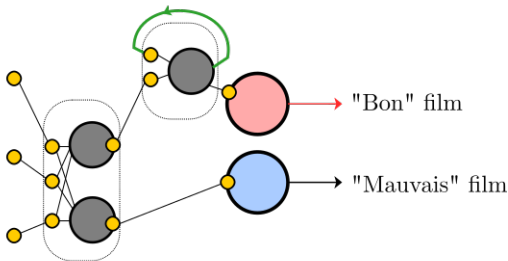
Vectorisation

Why do I want to write the 234th comment on The Shawshank Redemption? I am not sure almost everything that could be possibly said about it has been said. But like so many other people who wrote comments, I was and am profoundly moved by this simple and eloquent depiction of hope and friendship and redemption.

Bande de lecture

0	1	3	...	0
1	3	5	...	1
3	5	1	...	0
...				
0	...	3	2	5
0	...	2	5	1
0	...	5	1	1

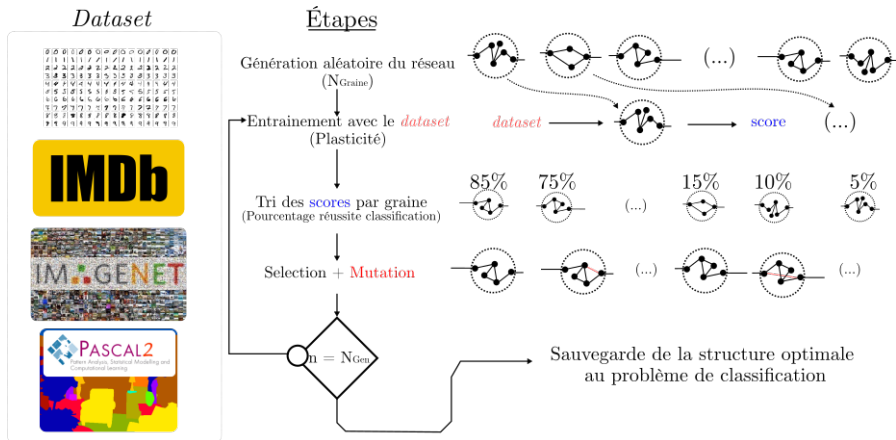
Sélection de la récurrence  
(mémoire des mots)



Comprendre la sémantique du langage est une première étape pour valider le Test de Turing.

# Retour sur l'algorithme.

Applications possibles 4/5.



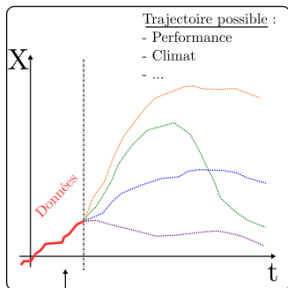
L'algorithme va chercher la structure minimal pour un problème donné.



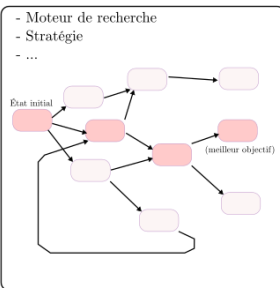
# Des applications concrètes ?

Applications possibles 5/5.

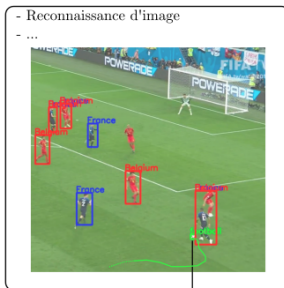
## Prédiction-modèle



## Décision-recherche

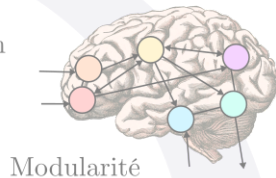
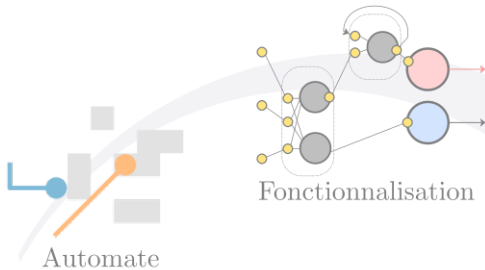


## Segmentation-détection



ex : Tracking

Un modèle généraliste "pourrait" résoudre l'ensemble à la fois.



Merci pour votre attention



Généralisation

# Pourquoi se limiter à la vie 2D ?

Remarques bonus 1/N!

- Paramètre plus facile à contrôler.
- Mesure des effets plus facile à interpréter.
- (...)

Contre-exemple :

- OpenWorm
- Sandbox game
- Darwin Pond

# Pourquoi ne pas copier un vrai neurone ?

Remarques bonus 2/N!

- Limite du biomimétisme : Les avions ne battent pas des ailes.

Contre-exemple :

- Human Brain Project (Spikes)

# Pourquoi ne pas réutiliser NEAT ?

Remarques bonus 3/N!

- NEAT ne permet pas un calcul tensoriel efficace :
  - ▶ Les GPUs sont construits pour ça aujourd'hui !

Contre-exemple :

- MuJoCo and Robotics evolution

# Pourquoi ne pas structurer le réseau à la main ?

Remarques bonus 4/N!

- L'exploration des structures longues et trop de possibilité d'ensemble réalisable au delà de 2 couches de neurones.

## Contre-exemple :

- Optimisation mathématique permet de trouver la plus petite structure
  - ▶ (pas de structure vestigiale)

# Pourquoi ne pas ajouter de structure artificiel ?

Remarques bonus 5/N!

- LSTM n'existe pas dans le vivant.

Contre-exemple :

- Mécanisme d'attention (artificiel) ont permit de faire un bon dans la recherche.