

Evolutionary Neural Network Tools for Life Emergence and More

F.Furfaro - 2021

Conference on Fabulous Presentations, 2021

De technicien à chercheurs en (Bio)Physique.

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

- 2006-2012 : Métiers de l'électricité avec alternance.
- 2012-2014 : L3-M1 en Physique appliquée ¹. (*Num & Exp*)
- 2014-2015 : M2 Spécialisation en BioPhysique.
- 2015-2019 : Doctorat : Caractérisation temporelle de la voie de signalisation $\text{TGF-}\beta$. (*μ -fluidique, Bio-Cells & IMG-Analysis*)
- 2019-2020 : Projet sur l'endosymbiose synthétique et Math appliquée à l'Art visuel. (OpenSource, Instagram : @fabienfrfr)
- 2020-2021 : Préparation Agrégation Mathématique et Projet AI-Life.

¹Buckling 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 ?

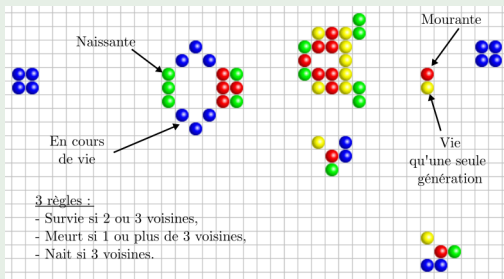
Comment définir le vivant ?

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**.

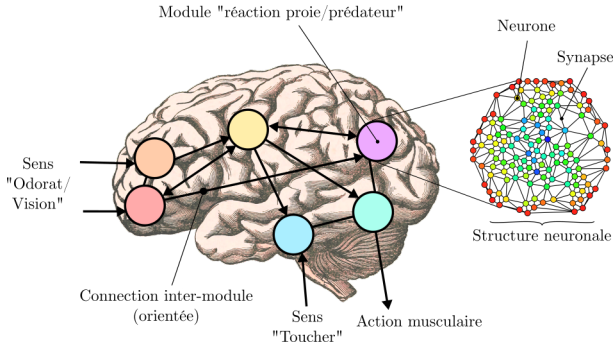
Jeu de la vie de Conway, ici le canon à planeur.



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

L'apprentissage est une propriété émergente du cerveau.

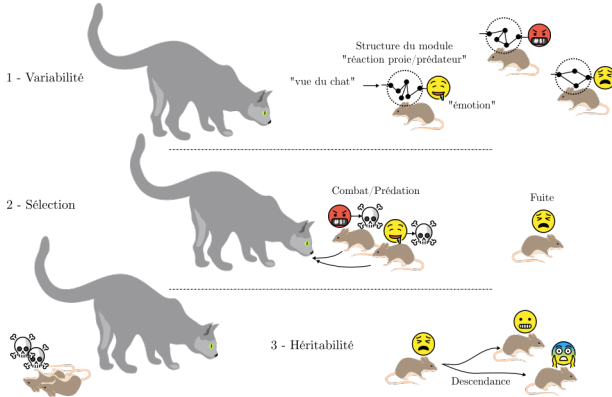
Introduction 2/5.



- 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.

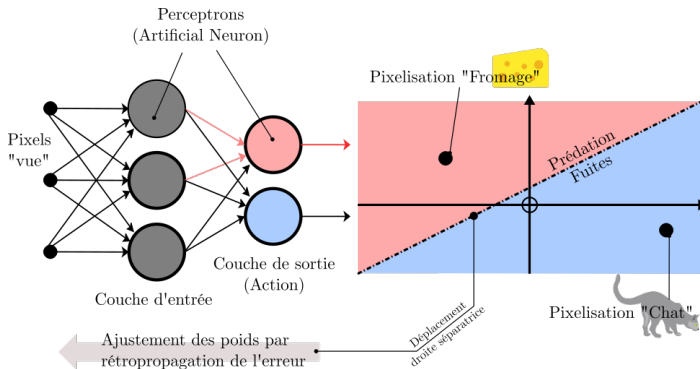


- Adaptation du module “réaction proie/prédateur” pour la prise de décision.

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

Les ANNs² usuels n'optimisent pas la structure.

Introduction 4/5.

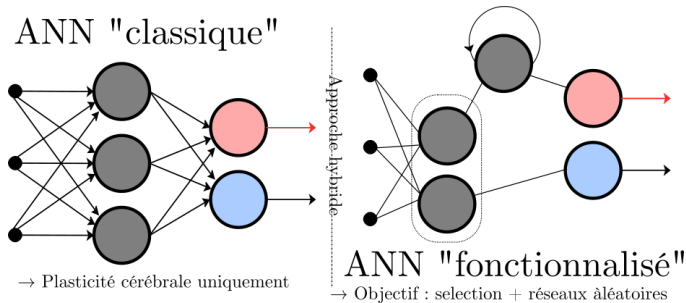


- L'apprentissage peut se réduire à un problème de classification (ordre-0) : prédation / fuite.

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

Des structures adaptées pour minimiser l'entrainement.

Introduction 5/5.

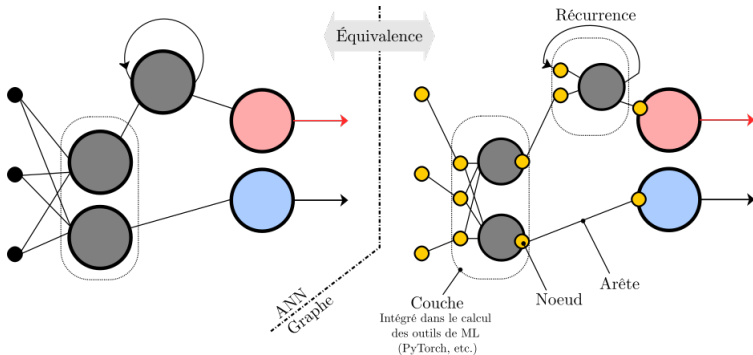


Peut-on développer une *"vie artificielle"* permettant l'apparition de structure neuronale *"fonctionnalisé"* ?

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

Les critères de modélisations.

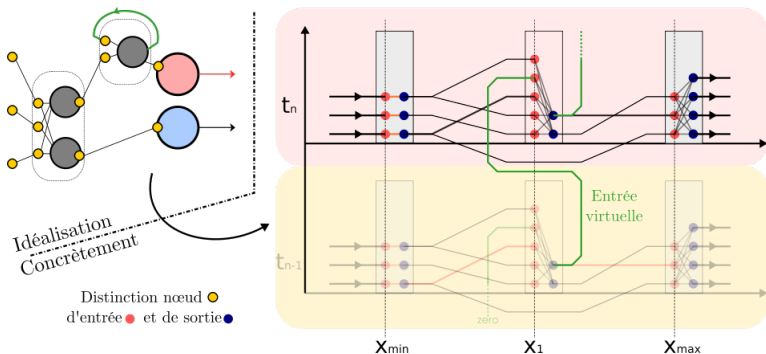
Méthodes 1/5.



- Doit permettre la rétropropagation : entrée virtuelle si récurrence.
- Les entrées doivent correspondre à la “vue” de l’agent : couche de convolution.
- Les sorties doivent correspondre à l’action de l’agent.
- Le jeu de vie doit combiner des stratégies de proies/prédateurs simples.

Une première approche d'ANN fonctionnalisé.

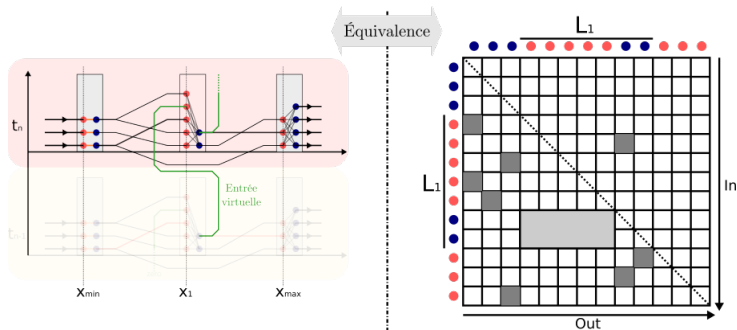
Méthodes 2/5.



- 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.

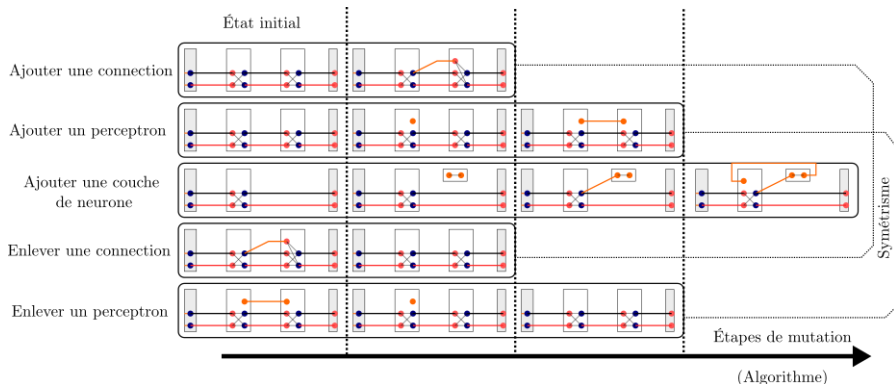


- Seule la partie entrée des couches est nécessaire pour la construction du réseau :
 - ▶ Liste d'adjacence pour chaque couche (stockage de l'information).

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

Les modifs du réseau comme processus de mutation.

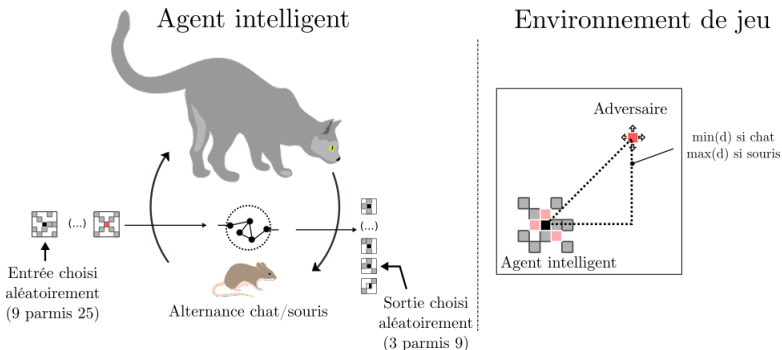
Méthodes 4/5.



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 ?

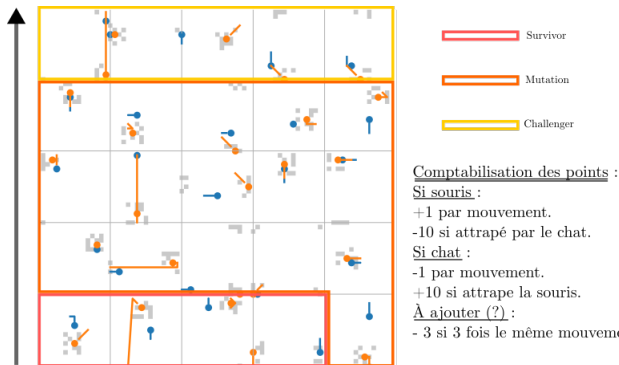
Les paramètres à mesurer.

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.

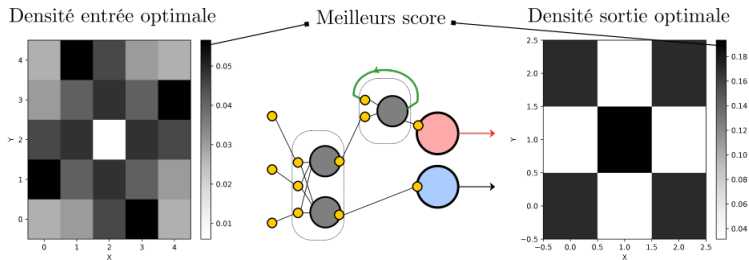


- Loi des grands nombres pour estimer parallélisation : minimum 10 agents.

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.



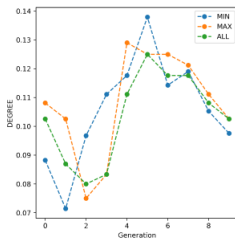
- 4 points stratégiques, corrélation avec les actions de sortie.
- Les paramètres d'entrées/sorties convergent au bout de 10 générations (convergence non montrée ici)

Comment la structure intermédiaire (les neurones) converge ?

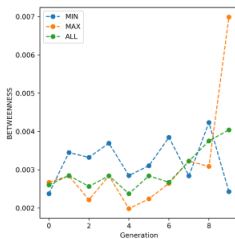
Caractérisation de la connectivité du réseau.

Résultats préliminaires 4/5.

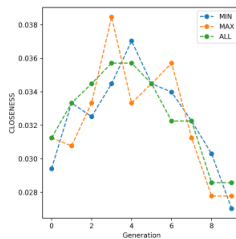
Structure possible :



Valence



Intermédierité



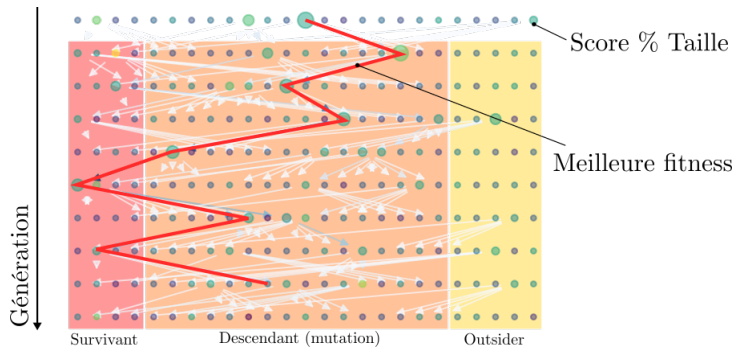
Proximité

- 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.

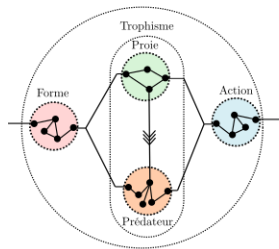
● Limitations :

- ▶ 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.

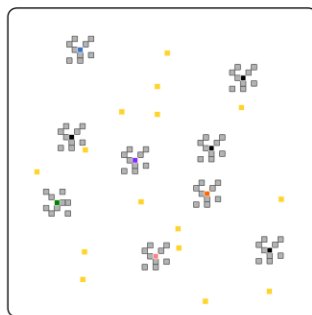
Ouvertures et Discussions.

Modularité



Liens optimaux des réseaux adversariaux ?
Arbre de décision ?
Criticalité ?

Agent-dépendant

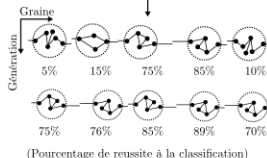


Ressource

Taille (Trophisme)

Classification minimale

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9

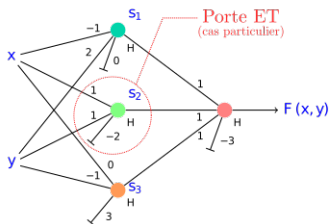


Faut-il avoir une expérience de vie pour obtenir une IA généraliste ?

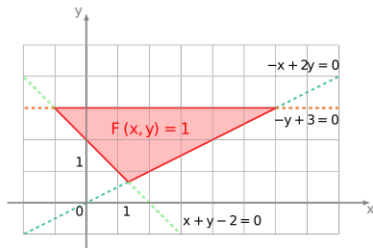
Comment optimiser notre modèle pour des problèmes de classification ?

Pourquoi ça marche ?

Applications possibles 1/5.



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

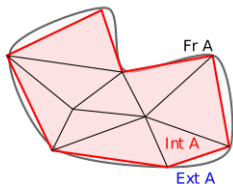


Peut donner deux triangles disjoints, mais aussi, un Dodécagone (12).

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



30 neurones

20 neurones

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

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

Du NLP³ au Test de Turing.

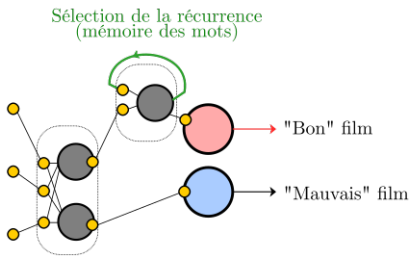
Applications possibles 3/5.

Critique de film



Vectorisation

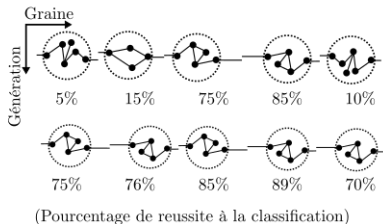
0	1	3	...	0
1	3	5	...	1
3	5	1	...	0
...				
0	...	3	2	5
0	...	2	5	1
0	...	5	1	1



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

Retour sur l'algorithme.

Applications possibles 4/5.

[illegible]

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

Applications concrètes.

Applications possibles 5/5.

- Domaines/Exemples :

- ▶ Santé
- ▶ Sports