

Algorithmes génétiques



Nicolas Bredeche
Sorbonne Université, CNRS
nicolas.bredeche(-)sorbonne-universite.fr

Algorithmes génétiques

Introduction générale et application à la robotique

Cours “Algorithmes génétiques”, partie 1/3

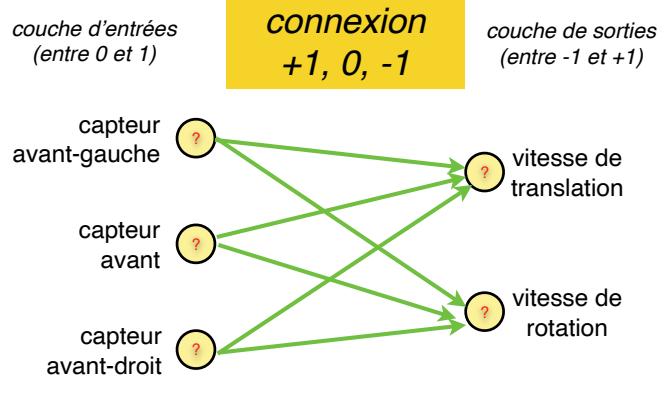
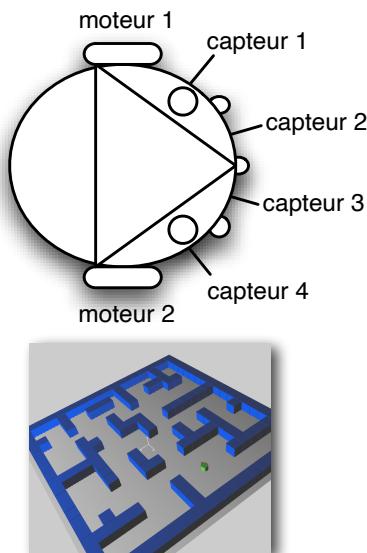
Problème: $y^* = \arg\min_{y \in Y} f(y)$

Solution candidate: $a := (y, f(y))$

Formulation simplifiée

Formulation plus générale: $a := (y, s, f(y), f'(y), f''(y))$

Blackbox optimisation and robotics



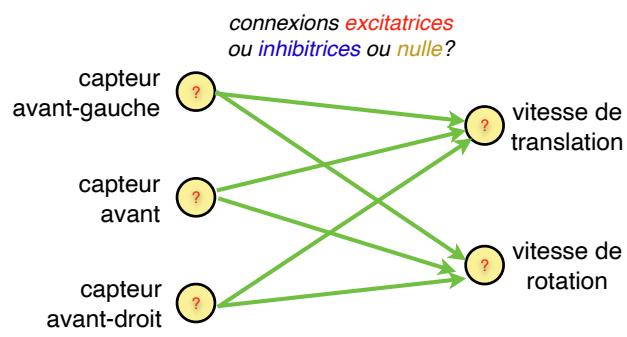
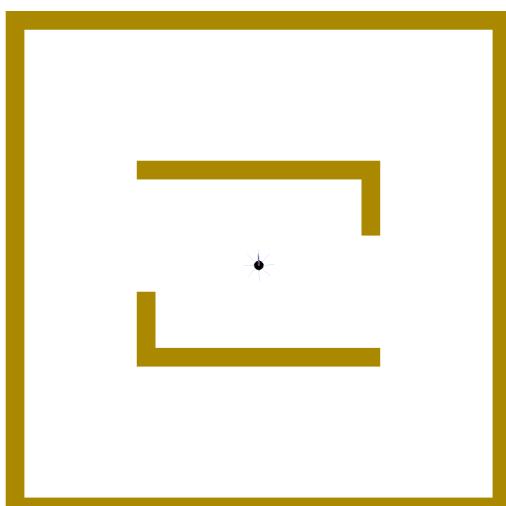
$$f(y) : \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$$

par exemple: surface explorée

$$y^* = \arg\min_{y \in Y} f(y)$$

- Propriétés

- Espace de recherche
 - ▶ exemple: une liste d'entiers
 - ▶ binaire, symbolique, continu
 - ▶ structuré ou non
- Fonction de performance
 - ▶ exemple: un scalaire qui donne le score par rapport à l'objectif
 - ▶ lien tenu entre représentation et performance
 - ▶ évaluation potentiellement bruitée
- Relation faible entre espace de recherche et objectif
 - ▶ l'espace de recherche constraint la forme des solutions
 - ▶ la mesure de performance permet de comparer des solutions



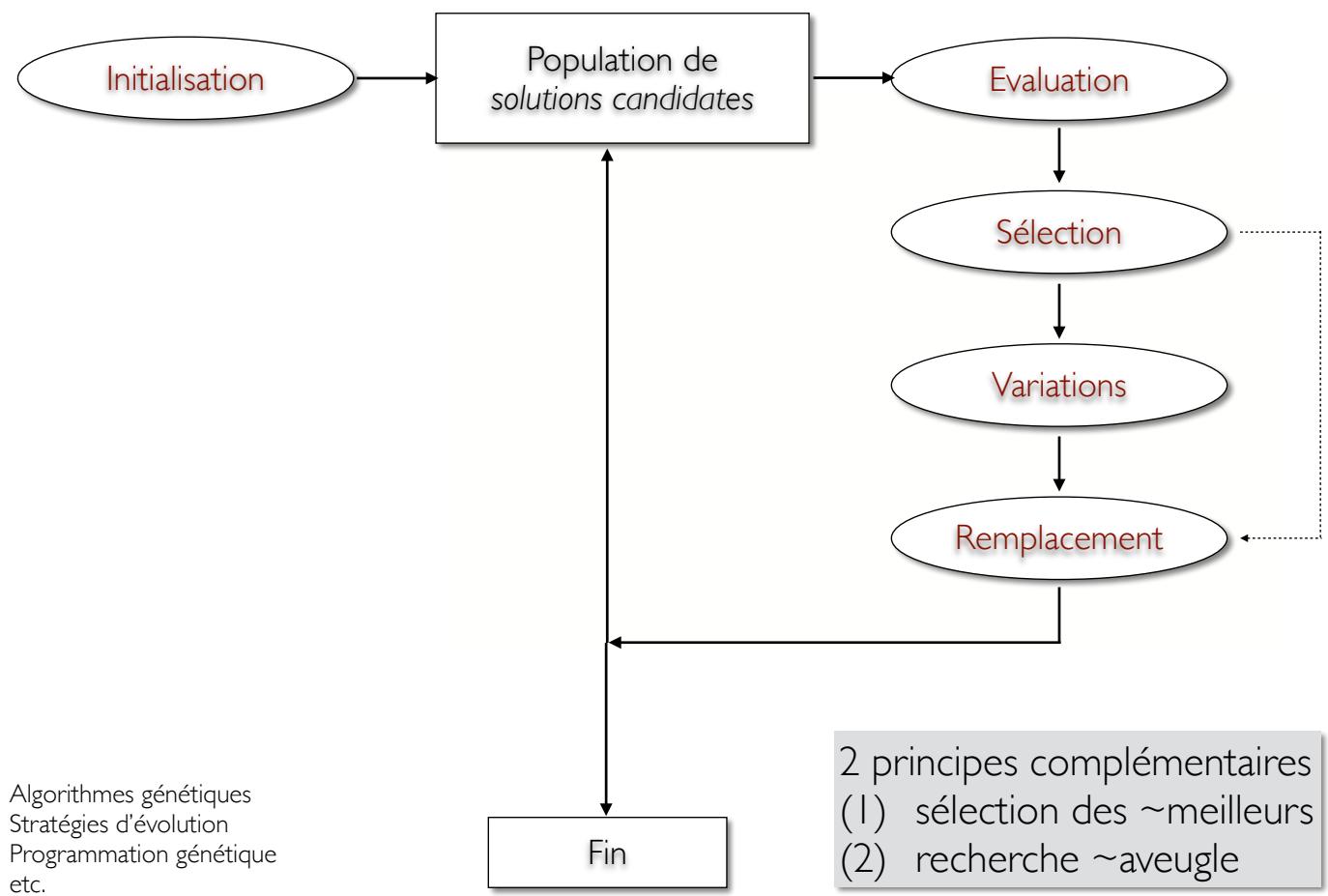
$$f(y) = score(y) = \sqrt{(pos_{end} - pos_{init})^2}$$

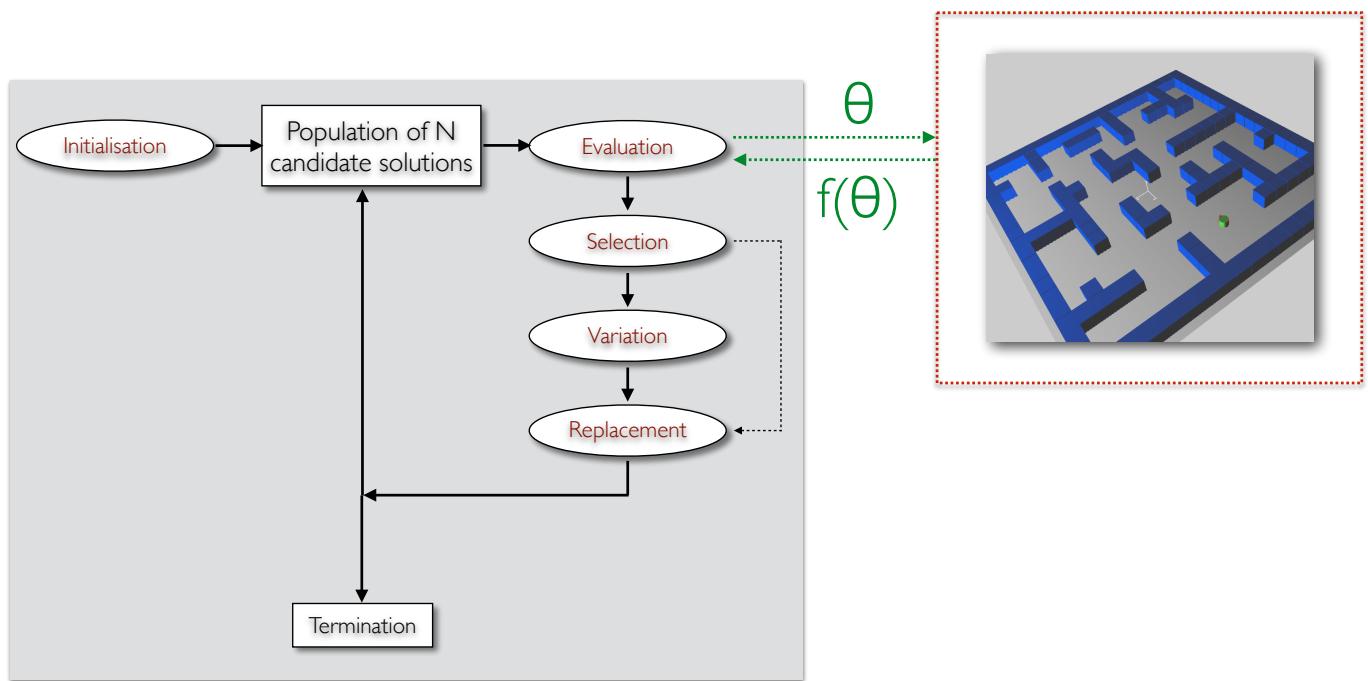
un algorithme naïf: la recherche au hasard

cf. config_TP2.py et robot_optimize.py

- Des méthodes pour des classes de problèmes
 - ▶ Algorithme de gradient (recherche locale, suit le gradient si il existe)
 - ▶ Hill-climbing (recherche locale, change un élément à la fois)
 - ▶ Méthodes énumératives (recherche globale, espace de recherche discret)
 - ▶ Méthodes heuristiques (espaces structurés)
 - ▶ Méta-heuristique et méthodes stochastiques
 - recherche aléatoire (recherche globale, sans a priori) [Monte carlo, Tabu]
 - recuit simulé (recherche globale) ["simulated annealing"]
 - méthodes bio-inspirées (recherche globale) [DE, PSO, Algo. évolut., ...]

Optimisation stochastique à base de population





problème classique d'optimisation boîte noire
problème classique d'apprentissage par renforcement

θ : parameters
 f : objective function
 $f(\theta)$: fitness

[Herdy, 1997]

QUIZZ

Q: Que désigne un individu de la population?

1. une solution candidate
2. un génome artificiel
3. les paramètres à optimiser

Q: Que renvoie la fonction fitness?

1. une mesure de la performance d'une solution candidate
2. le rang d'une solution candidate
3. une valeur positive
4. une valeur négative

Classes d'algorithmes évolutionnistes (cont.)

12

algorithmes évolutionniste/évolutionnaire -- “evolutionary computation”

- **Algorithmes génétiques**

- ▶ Holland, 1975 (IA et Biologie)
 - ▶ représentation: chaînes de bits



UE IA&Jeux

- **Stratégies d'évolution**

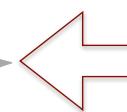
- ▶ Rechenberg, Schwefel, 1965 (Math Appl.)
 - ▶ représentation: vecteur de réels

- **Programmation génétique**

- ▶ Koza, 1992
 - ▶ représentation: arbre, DAG, graphe, AdF

- **Programmation évolutionnaire**

- ▶ Fogel, 1966
 - ▶ représentation: Automates



Master
AI2D

Algorithmes génétiques

Recherche dans un espace d'entiers ou de symboles

Cours “Algorithmes génétiques”, partie 2/3

Espace de recherche discret: entiers ou symboles

14

Problème: $y^* = \arg\!\max_{y \in Y} f(y)$

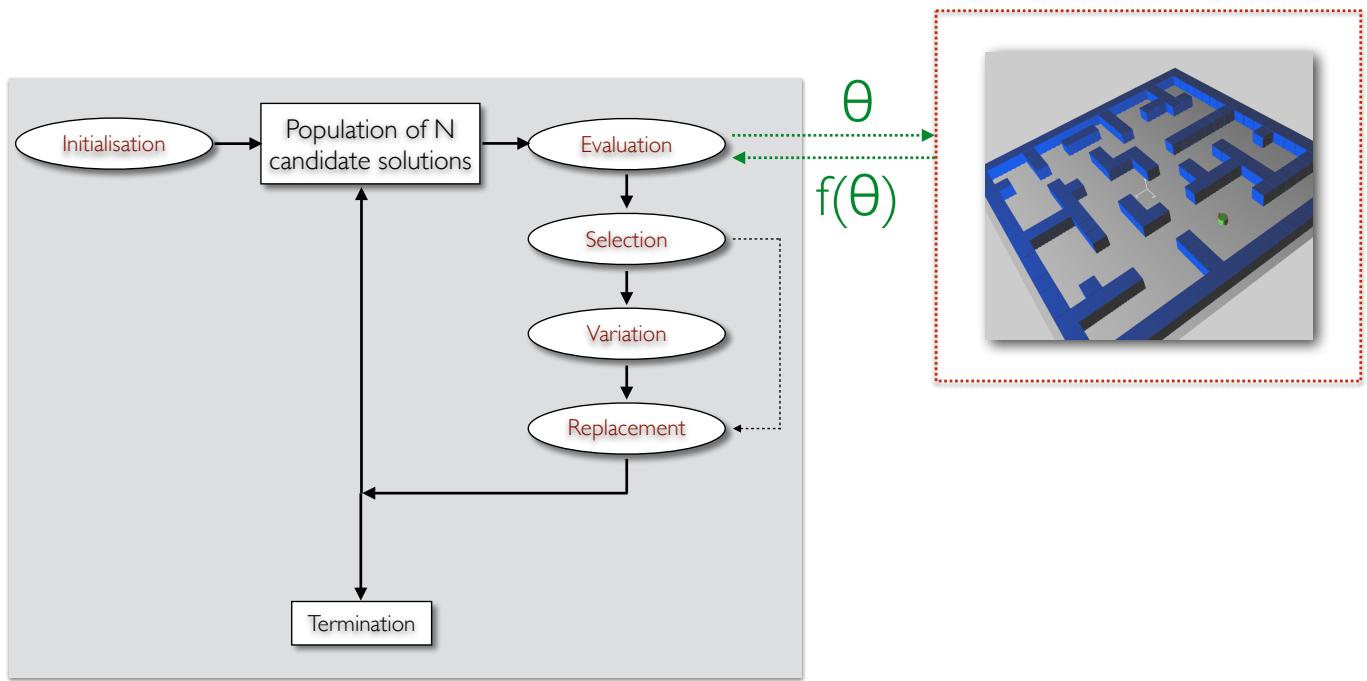
Solution candidate: $a := (y, f(y))$

→ algorithmes génétiques

Exemples d'espace de recherche:

- composition d'une équipe de football
- découverte d'un code secret
- construire un emploi du temps

$a := (y, s, f(y), f'(y), f''(y))$



problème classique d'optimisation boîte noire
problème classique d'apprentissage par renforcement

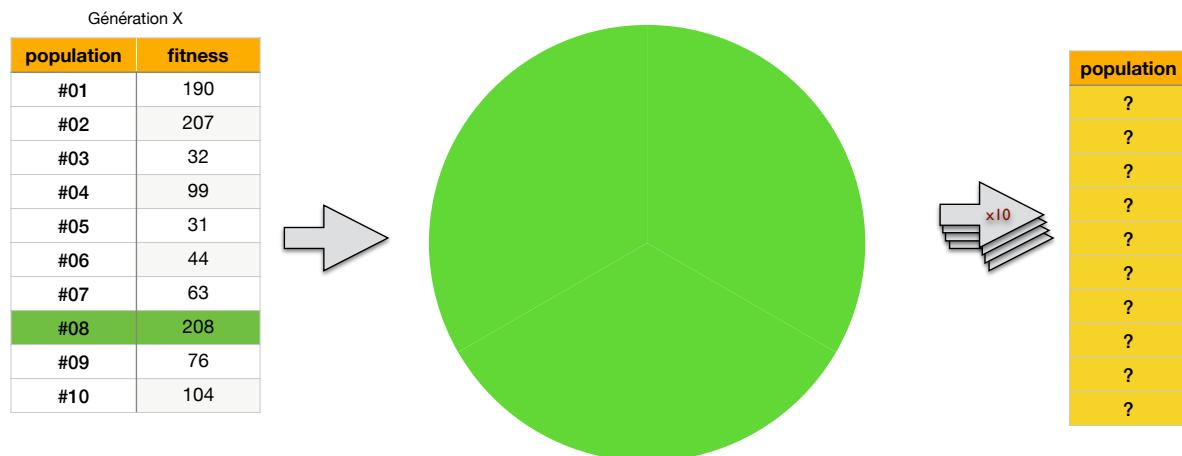
θ : parameters
 f : objective function
 $f(\theta)$: fitness

[Herdy, 1997]

Opérateurs de sélection



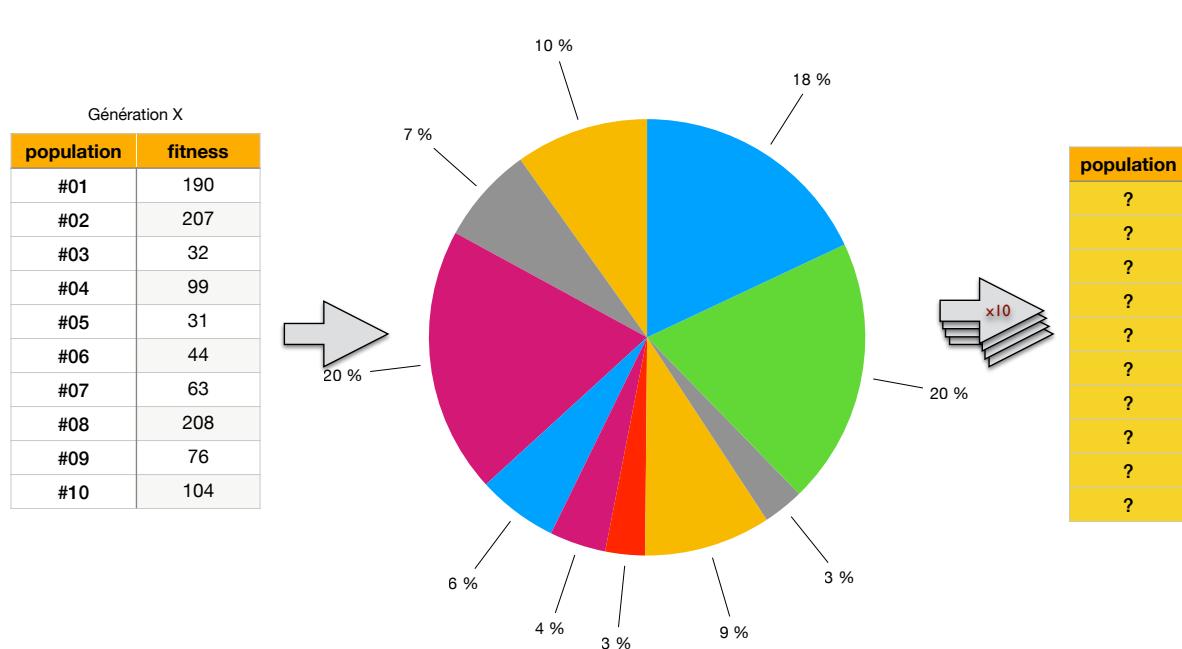
- Définition
 - ▶ Sélectionne une sous-partie des solutions candidates
- Exemple
 - ▶ Renvoie les N meilleurs individus parmi M



Sélection du meilleur
“élitiste”

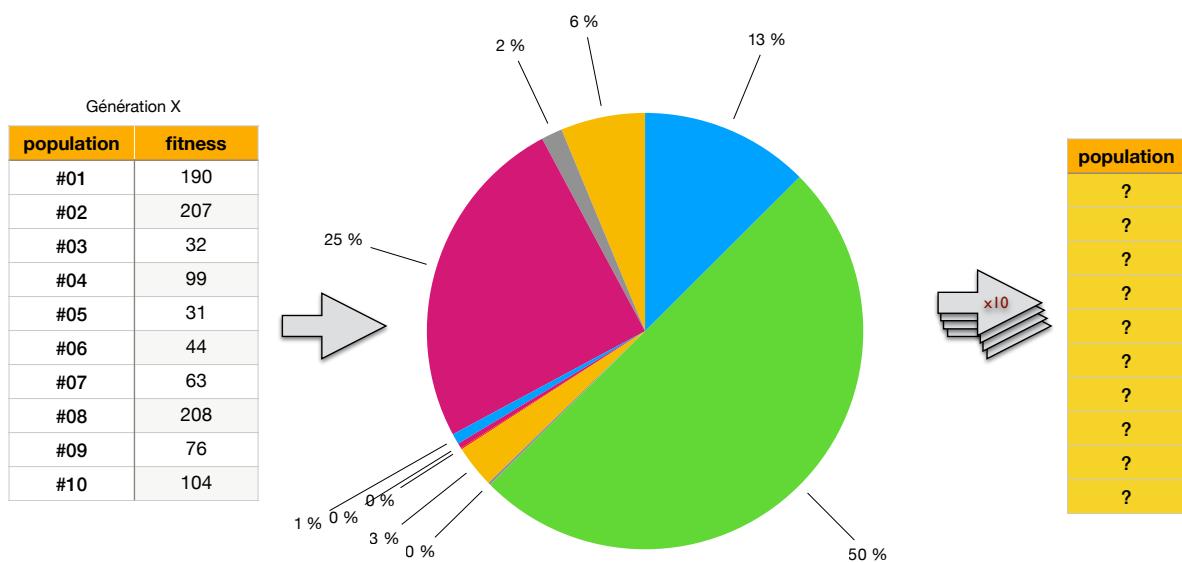
Nouvelle population
(après *variations*)

Sélection proportionnelle — par la fitness



Sélection proportionnelle
par la fitness

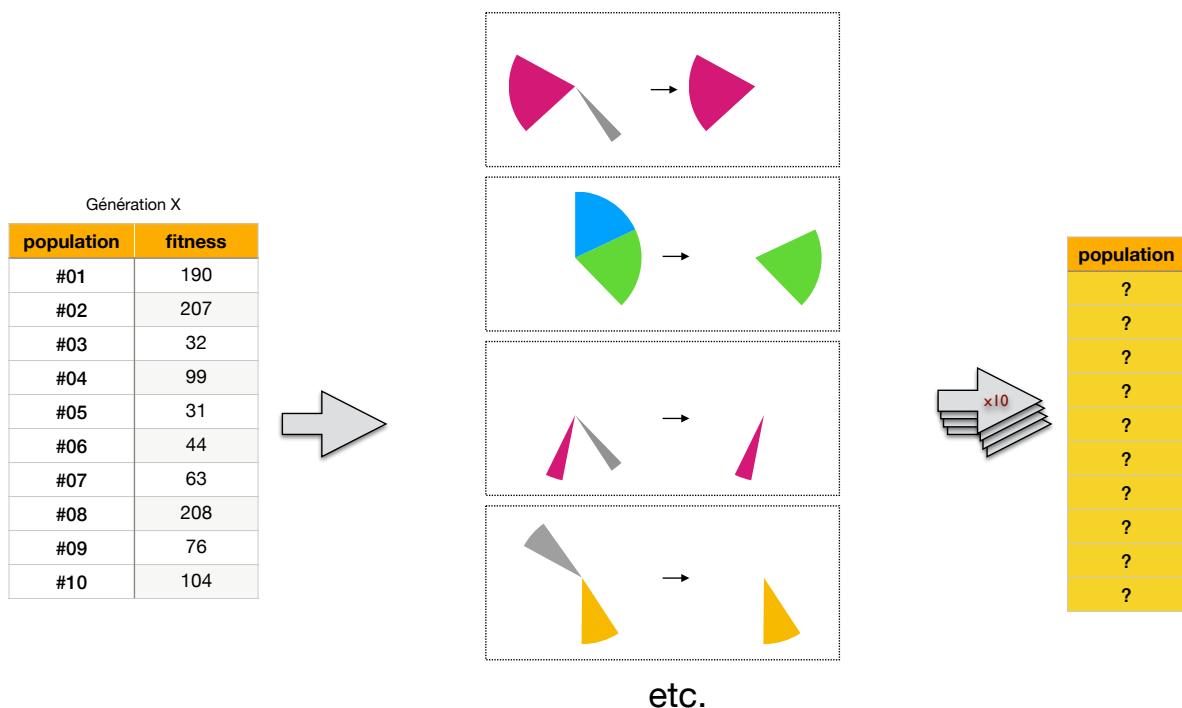
Nouvelle population
(après *variations*)



Sélection **proportionnelle**
par le **rang**
(ici: geometric cake cutting)

Nouvelle population
(après *variations*)

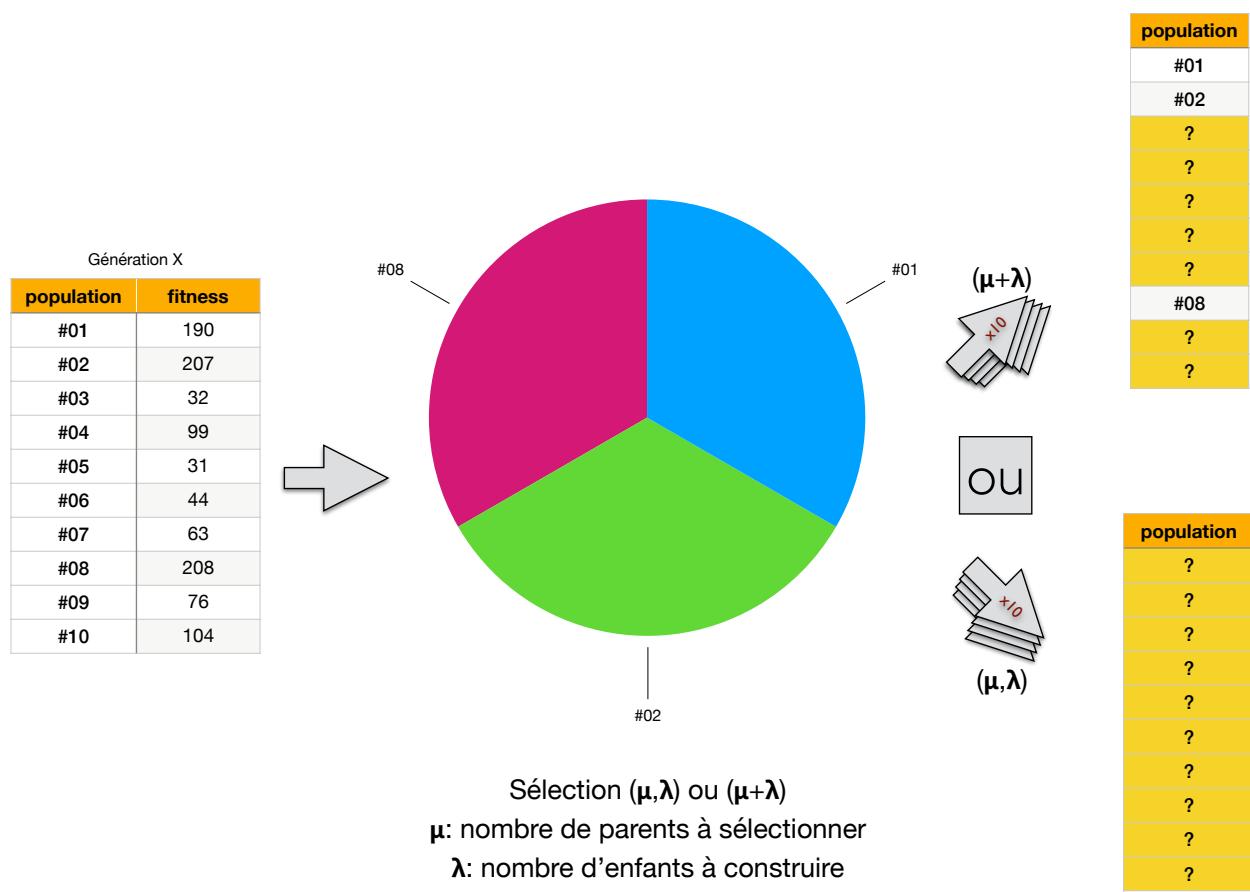
Sélection par tournoi



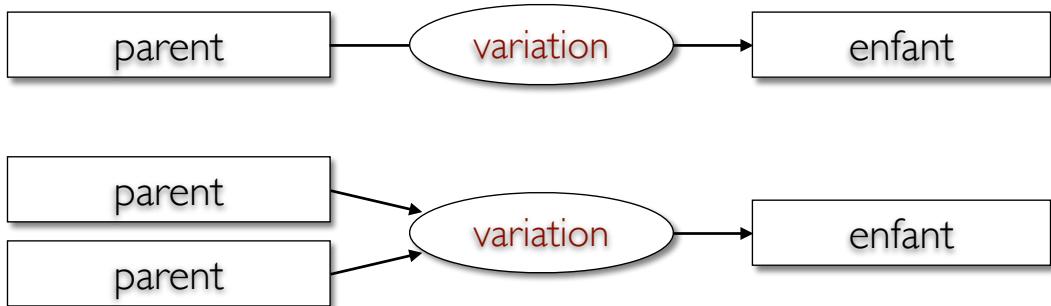
Sélection par **tournoi**

1. sélection k individus au hasard
 2. garder uniquement le meilleur
- exemple avec $k=2$**

Nouvelle population
(après *variations*)



- Propriétés
 - Déterministe vs. stochastique
 - Compromis exploration/exploitation
 - Ne pas confondre l'archivage et la sélection
 - ▶ ex.: la sélection avec élitisme vs. archivage des meilleurs

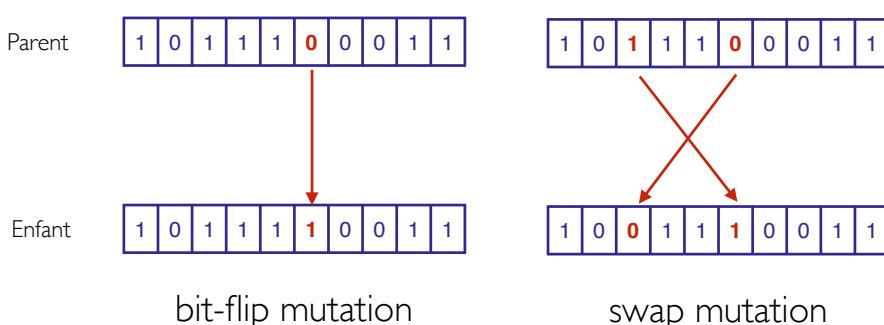


- Définition
 - ▶ Construit un nouvel individu à partir d'un (ou plusieurs) individus
- Exemple
 - ▶ Modifie aléatoirement un élément du génome
- Propriétés
 - ▶ Conservatif vs. disruptif

Opérateur de variation: mutation

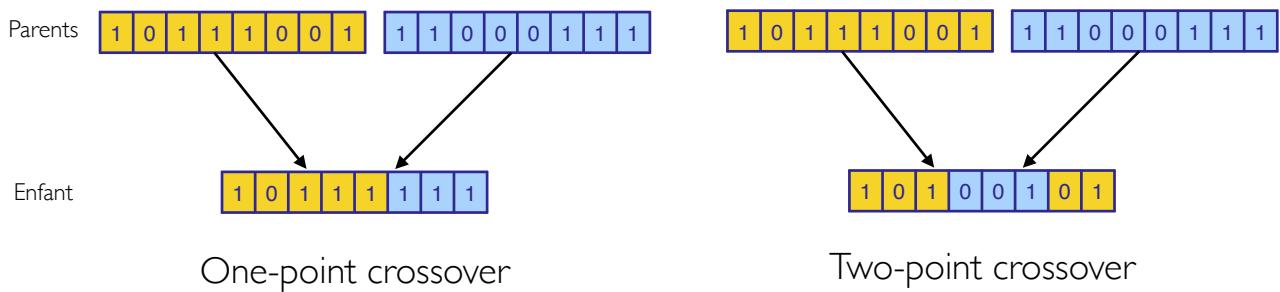


- Définition
 - ▶ Construit un nouvel individu à partir d'un seul individu parent
- Exemples





- Définition
 - ▶ Construit un nouvel individu à partir de 2 (ou +) individus parents
- Exemples:



Stochastique

- Les opérateurs de variation sont **stochastiques**
- il s'applique avec une certaine **probabilité**
 - ▶ “*probabilité de mutation*”, “*probabilité de croisement*”
- il s'applique de manière déterministe **ou non**
 - ▶ *la mutation bit-flip choisit un paramètre au hasard*

Q: Un algorithme génétique est...

1. déterministe
2. stochastique

Q: L'opérateur mu+lambda est...

1. déterministe
2. stochastique

Q: L'opérateur tournoi est...

1. déterministe
2. stochastique

Q: Soit une probabilité de croisement de 0.5. Pour une population, on observe que...

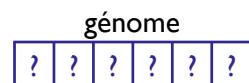
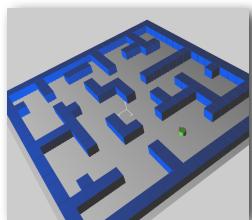
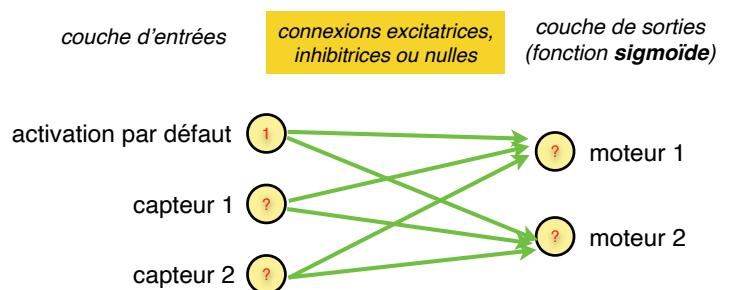
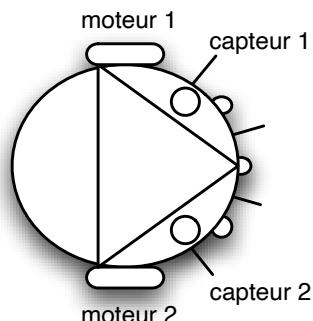
1. tous les génotypes sélectionnés subissent un croisement
2. la moitié des génotypes sélectionnés subissent un croisement
3. aucun génotype sélectionné n'a subit de croisement
4. aucune idée

Cas d'étude

Optimiser l'exploration

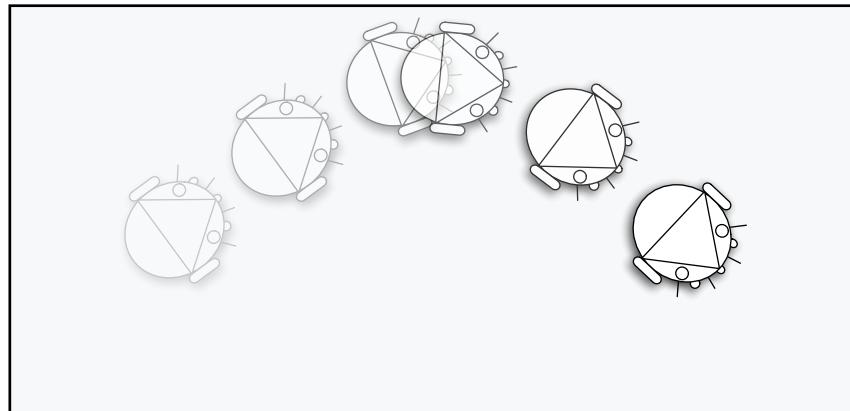
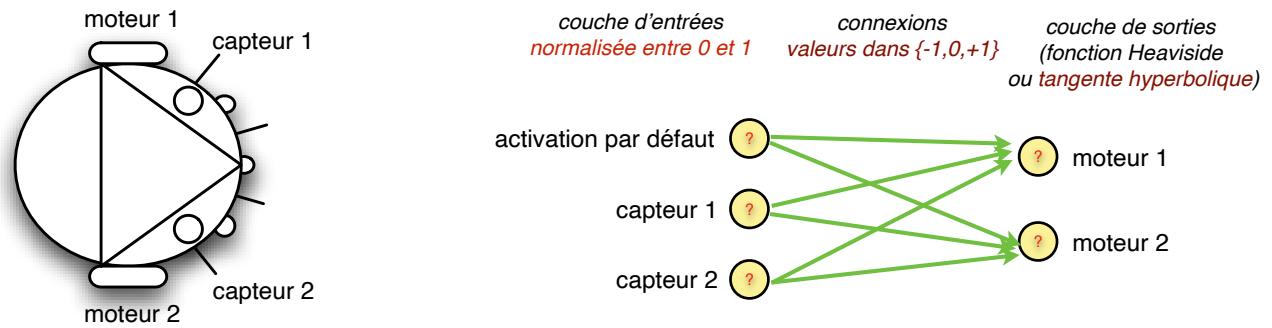
Cours “Algorithmes génétiques”, partie 3/3

Blackbox optimisation and robotics



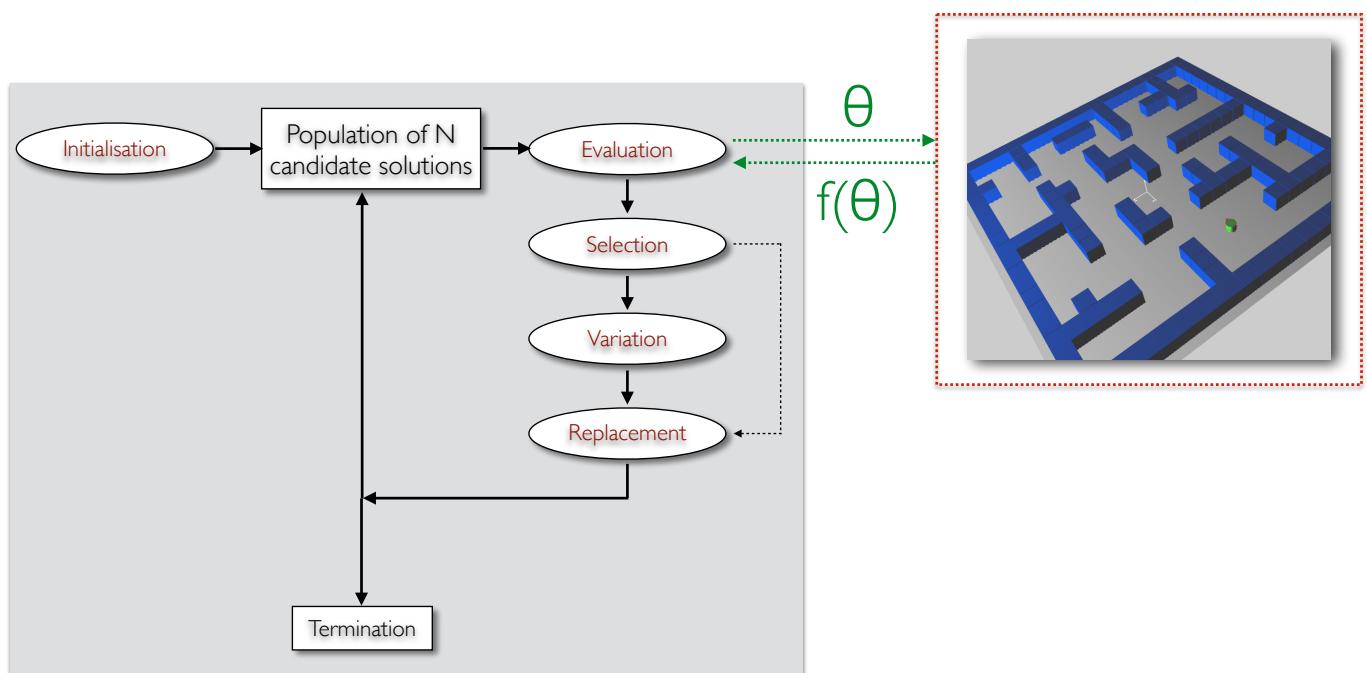
$$f(y) : \{-1, 0, 1\}^6 \rightarrow \mathbb{R}$$

$$y^* = \arg \min_{y \in Y} f(y)$$



nicolas.bredeche@upmc.fr

Evolutionary Robotics



θ : parameters

f : objective function

$f(\theta)$: fitness

Problème : trouver une combinaison dans $\{-1, 0, 1\}^6$

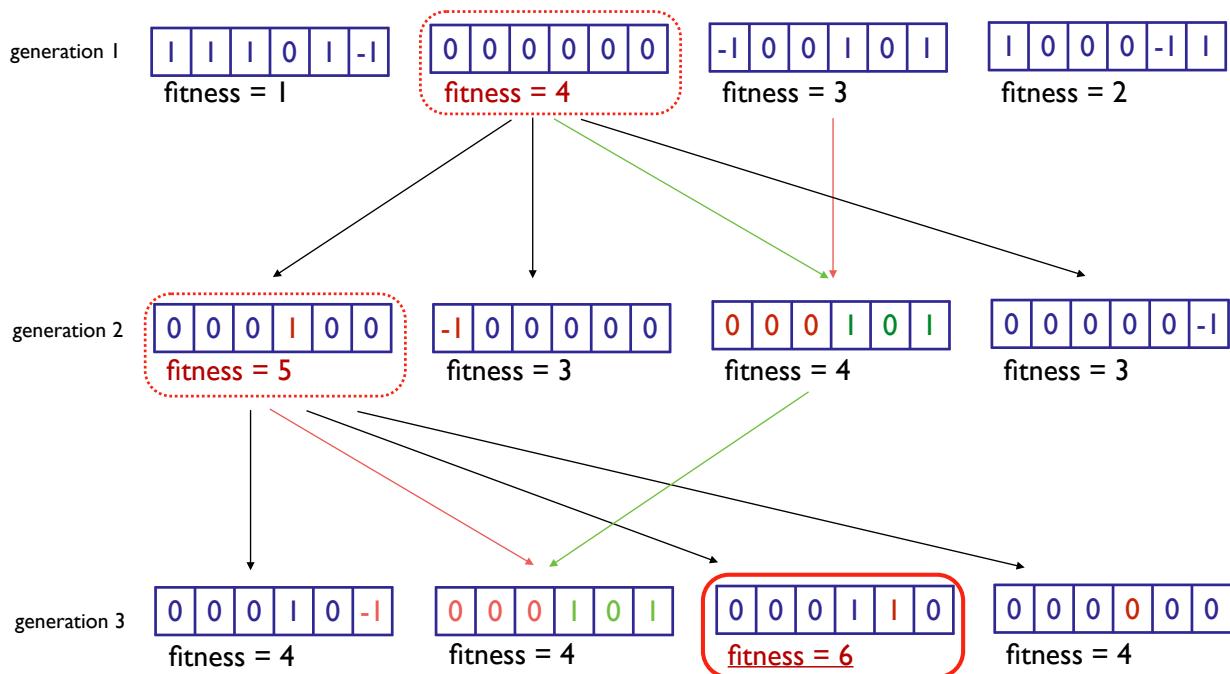
- **Objectif** : maximiser la fonction fitness
- **Population initiale** : 4 individus tirés au hasard
- **Opérateur de Sélection** : prend le meilleur
- **Opérateurs de Variation** : croisement ou mutation
 - Probabilité de croisement: p ; probabilité de mutation: $1-p$; avec $p=0.5$
 - Croisement: on mélange le début d'un génome et la fin d'un second
 - Mutation: on change pour une valeur au hasard parmi les 2 autres possibles

Remarques:

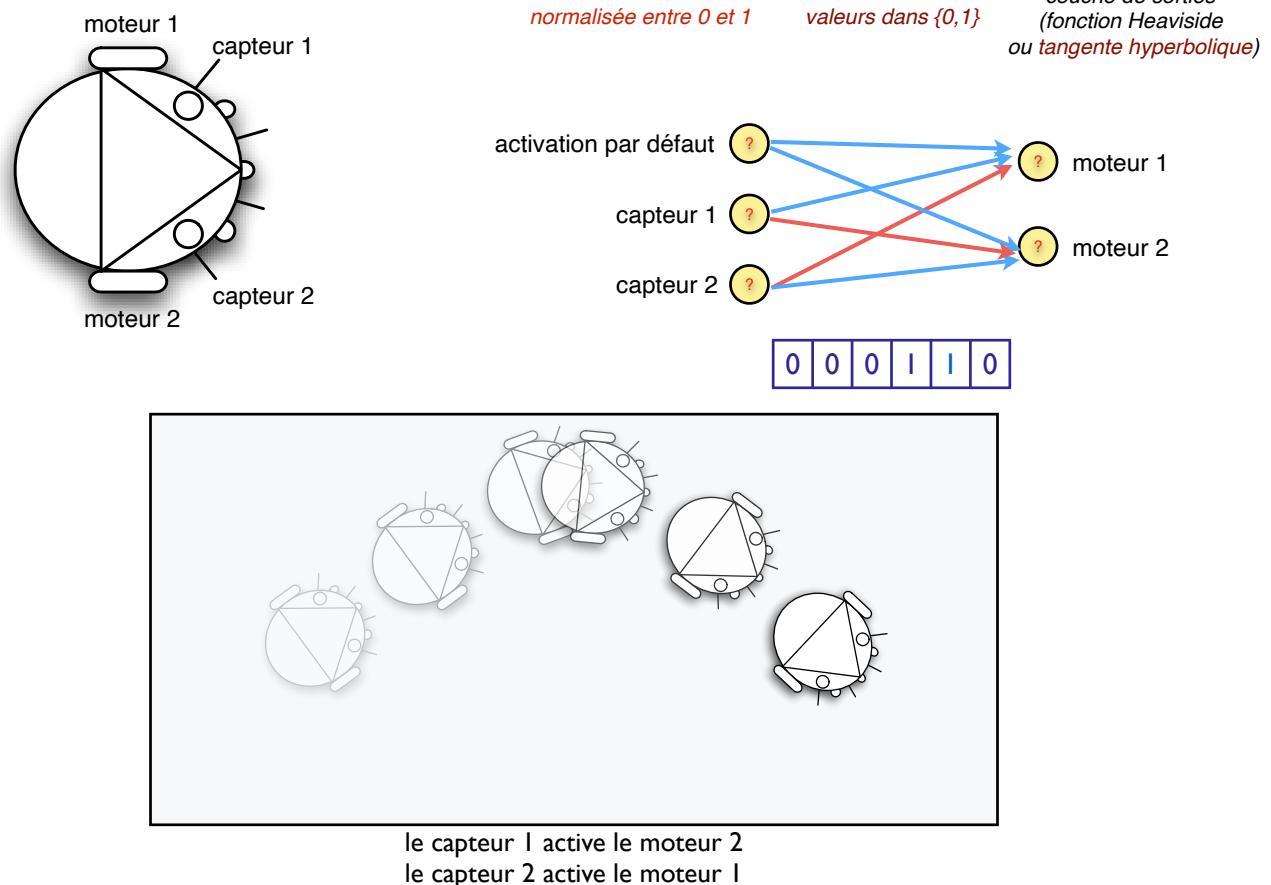
1. les opérateurs sont ici choisis arbitrairement. D'autres choix sont possibles.
2. on imagine que les scores sont calculés par un simulateur externe qui renvoie un scalaire entre 0 et 6 pour un génome donné en entrée (ie. on "simule" l'évaluation d'un comportement d'exploration)

nicolas.bredeche@upmc.fr

déroulement de l'algorithme

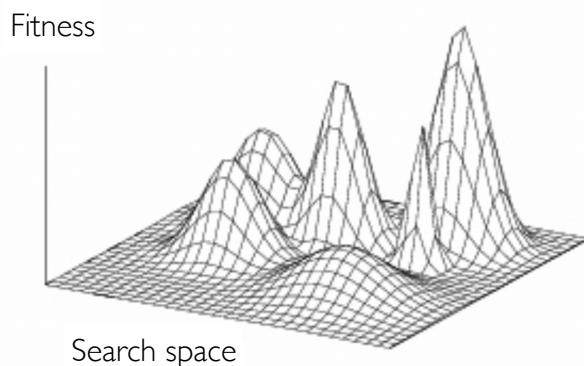


nicolas.bredeche@upmc.fr

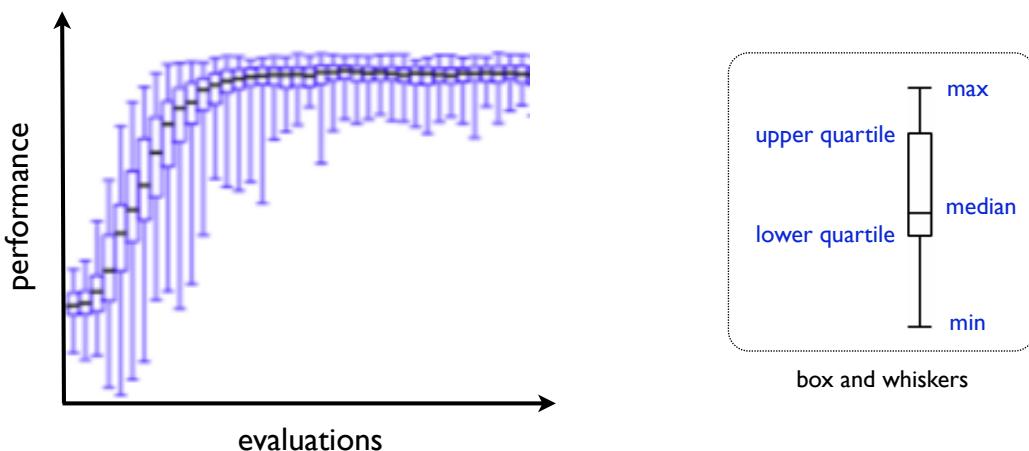


nicolas.bredeche@upmc.fr

Comment mesurer la performance d'une solution?



- Paysage de la fonction fitness
 - ▶ Une fitness renvoie une valeur unique...
 - ▶ ce “score” peut aider (ou non) la recherche
- Combiner plusieurs objectifs
 - ▶ Fitness agrégée (combinaison linéaire d'objectifs)
 - ▶ *Fitness lexico-graphique (ordonner les objectifs)*
 - ▶ *Multi-objectif*



● En pratique

- Il faut suffisamment d'évaluation pour que l'optimisation converge
- Il s'agit d'une méthode stochastique, donc: faire plusieurs runs!
- Sur le calcul de la fitness: réévaluer pour bien estimer la qualité
- La fonction fitness guide l'évolution. Il faut la définir avec soin

Tableau

QUIZZ

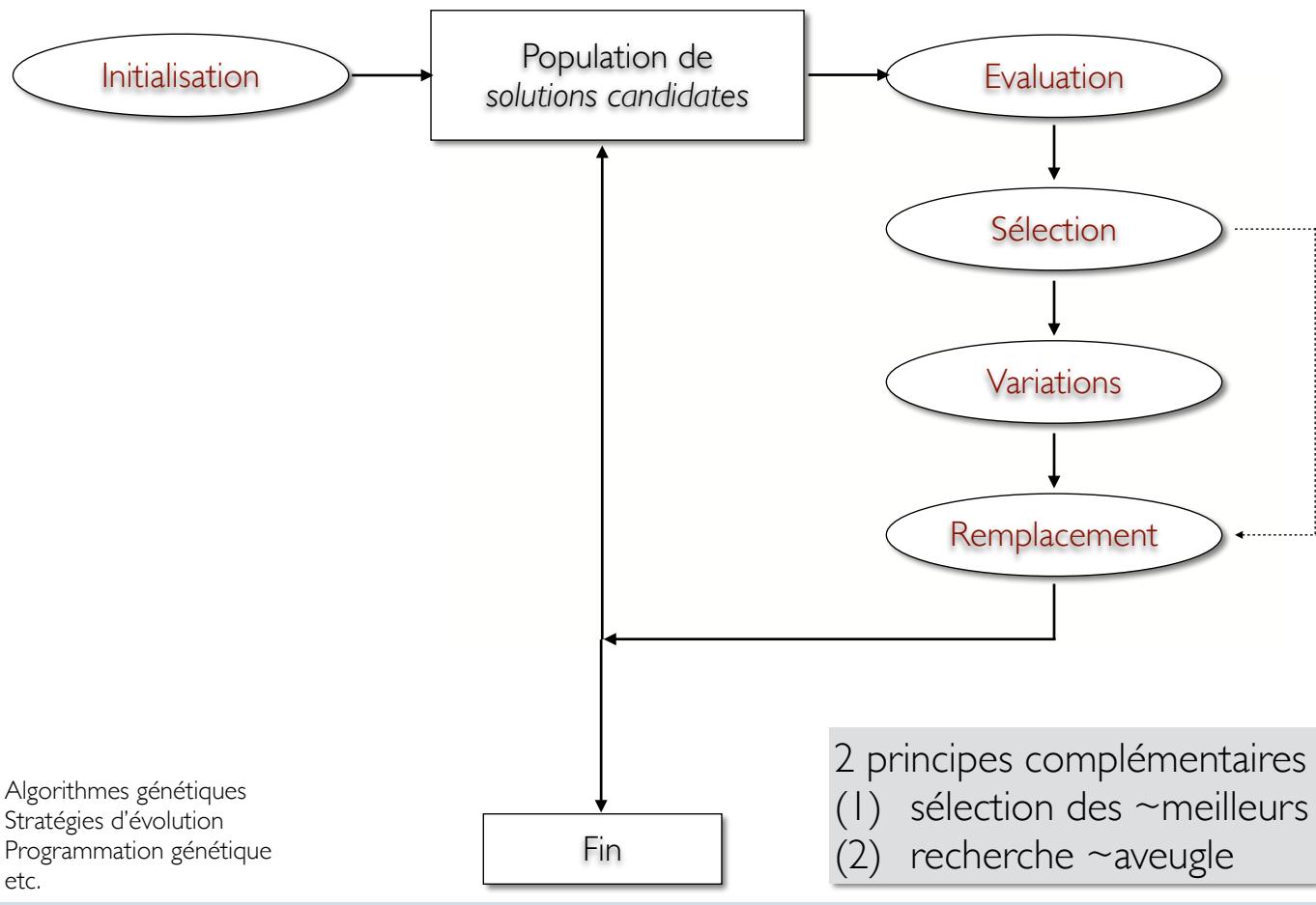
Q: dans l'exemple de l'optimisation du comportement d'exploration du robot...

1. on aurait pu trouver la solution plus rapidement
2. on aurait pu trouver la solution seulement après 100000 évaluations

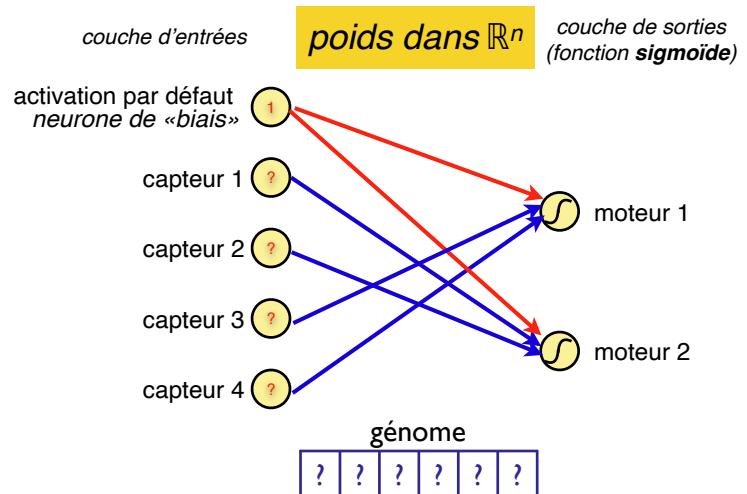
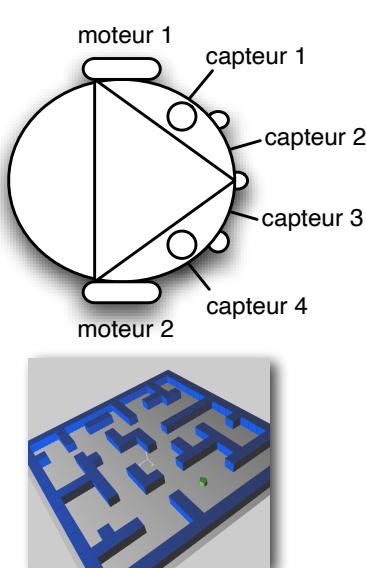
Q: Si la fitness d'un même individu (ie. avec les mêmes paramètres) est différente à chaque évaluation...

1. tant pis, on verra bien
2. il faut faire plusieurs évaluations, et la fitness sera la moyenne (ou la somme) des performances obtenues
3. catastrophel j'abandonne les sciences. Il y a un excellent cours sur l'art médiéval à l'École du Louvre

Conclusion et résumé



Blackbox optimisation and robotics



$$f(y) : \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$$

$$y^* = \arg\! \min_{y \in Y} f(y)$$

par exemple: surface explorée



crédit photo: Chung-Leng Tran

- Retrouver la composition d'un café à l'arôme
 - Objectif: maximiser la satisfaction de l'expert-évaluateur
 - Espace de recherche: mélanges de café
 - Fonction de coût: évaluation empirique par l'expert

D'autres exemples d'applications: <https://www.human-competitive.org/awards>

[Herdy, 1997]

Exemple: emploi du temps

46

	lundi 30/11	mardi 01/12	mercredi 02/12	jeudi 03/12	vendredi 04/12
8h00	ANGLAIS LVA Mme M. McGonagall [6G2P.1],C13			ANGLAIS LVA Mme M. McGonagall C13	ITALIEN LVB Mr M. Miyazaki [6ITA2],C12
9h00	MATHEMATIQUES Mme M. Mirzakhani [6G2P.1],C21	ANGLAIS LVA Mme M. McGonagall C13	ED.PHYSIQUE & SPORT. Mme Shakira	EDUCATION MUSICALE Mr D. Vador C01 MUS	FRANCAIS Mr Jourdain C23,C24
10h00 10h15	ED.PHYSIQUE & SPORT. Mme Shakira	MATHEMATIQUES Mme M. Mirzakhani C21		HISTOIRE-GEOGRAPHIE Mme L. Croft C42	FRANCAIS Mr Jourdain C24
11h15		EDUCATION MUSICALE Mr D. Vador C01 MUS	ANGLAIS LVA Mme M. McGonagall C13	TECHNOLOGIE Mr C. Stross C35	HISTOIRE-GEOGRAPHIE Mme L. Croft C42
12h15 12h30					
13h30	FRANCAIS Mr Jourdain C24	HISTOIRE-GEOGRAPHIE Mme L. Croft C42		FRANCAIS Mr Jourdain C24	ANGLAIS LVA Mme M. McGonagall C13
14h30	PHYSIQUE-CHIMIE Mr A. Nobel C101 SCIENCES	MATHEMATIQUES Mme M. Mirzakhani C21		ITALIEN LVB Mr H. Miyazaki [6ITA2],C12	
15h30 15h45	SCIENCES VIE & TERRE Mme M. Curie C102 SCIENCES	ITALIEN LVB Mr H. Miyazaki [6ITA2],C12			
16h45					

espace de recherche: (jour,heure,classe,matière,prof)ⁿ

qualité de l'emploi du temps

Exemple: nombre de créneaux inoccupés (à minimiser)

Fin du cours

La suite en Master AI2D, UE M1 AROB, UE M2 IAR