Sélection darwinienne et systèmes distribués

Synthèse des travaux de thèse

Samuel Landau

Miriad - OASIS - LIP6

Cadre

Conception automatique du comportement de robots mobiles et autonomes en environnement réel

Projet MICRobES

[Drogoul et al, 1999]

Objectifs

- Conception de systèmes distribués adaptatifs
- Apprentissage distribué en ligne

Exemples:

- services et réseaux informatiques
- contrôle d'un robot
- simulations multi-agents insuffisamment spécifiées

Contraintes et problèmes

Contraintes

Descriptions des comportements évolués des entités :

- **Appréhendables par les concepteurs**

  par exemple assimilable à ensemble de règles

- **Pouvant disposer d'états internes si nécessaire**

Problèmes

- **Théorique: dans tout modèle d'apprentissage distribué se pose le problème de *Credit assignment*** [Minsky 1963]
- **Pratique: comparaison des méthodes d'apprentissage utilisées**

Choix

- **Capacités adaptatives obtenue par un processus de sélection darwinienne (évolution artificielle)**
  - **Généricité, parallélisme**
  - **Peu de prérequis sur l'espace de recherche**
  - **Réponse spécifique au *Credit assignment***
- **Description des comportements par des structures intelligibles (architectures symboliques)**
- **Concevoir un cadre applicatif liant évolution artificielle et simulation multi-agent, et l'implémenter en une plate-forme**

SFERES

[Landau, Doncieux et al 2001]

- **Cadre applicatif d'évolution artificielle et de simulation multi-agent**
  - **travaux d'abstraction sur les concepts des techniques évolutionnistes (dont les algorithmes évolutionnistes)**
- **Plate-forme implantée en C++ sous Linux**
  - **Expérimenter plusieurs techniques évolutionnaires sur la même expérience**
  - **Réutiliser une technique évolutionniste dans plusieurs expériences**

Sélection darwinienne

Principes [Darwin 1859]

- **Individus en compétition pour des ressources limitées**
  - **Sélection**
- **Ressemblance entre parents et enfants (hérédité)**
  - **Variation**
- **Hypothèse d'indépendance entre les causes de variations et celles de sélections**
  - **Variations « aléatoires »**
  - **Modèle « hasard - sélection »**
- **Gradualisme**
- **Darwinisme synthétique** [Huxley/Wright 1942]
  - **Introduction de la génétique**

Algorithmes évolutionnistes

- **Méthodes d'optimisation inspirées du modèle darwinien synthétique**
- **Sélection suivant la valeur d'une fonction d'évaluation (*fitness*)**

\+ **Le génome peut coder pour des structures**

\+ **Peu de prérequis sur l'espace de recherche**

\- **Évolution hors ligne**

\- **Pas de solution générique pour le *credit assignment***

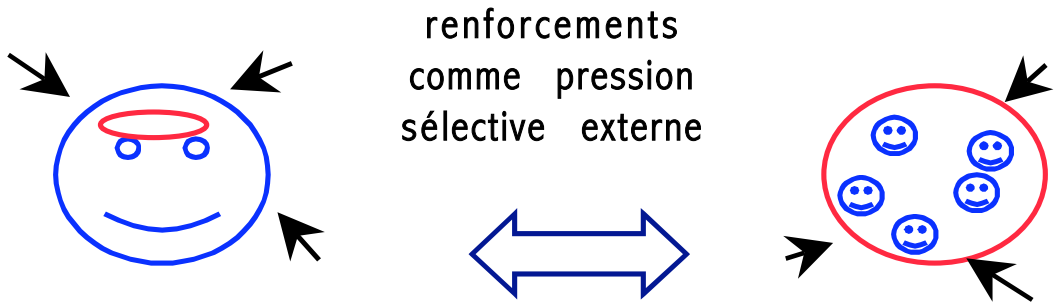
\- **Coût en nombre de présentation d'exemples**

(≈temps de calcul)

Modèles ontophylogénétiques

[Landau et Picault 2001, Landau 2003]

- **population d'individus en croissance dans le même environnement**
- **Compétition sur les ressources**
  - ➢ **Processus de sélection darwinienne**
- **des renforcements distribués au système influent sur la disponibilité des ressources**
  - ➢ **Pression sélective induite**



Métaphore biologique de « l'ontophylogenèse » [Kupiec 1981]

Modèles ontophylogénétiques

Comparaison avec les algorithmes évolutionnistes

Algorithmes Évolutionnistes	Modèles ontophylogénétiques
1. Centralisé	1. Distribué
2. Évaluation « statique »	2. Évaluation « dynamique »
3. Phylogenèse	3. Ontogenèse + phylogenèse (échelle inf.)
4. Fitness explicite	4. Fitness implicite
5. Hors ligne	5. En ligne
6. Cycle exploration/exploitation	6. Exploration *et* exploitation

Systèmes de classeur (LCS) « Michigan style »

- Les individus sont les classeurs du système
- Nombres de classeurs et d'états internes fixé à l'avance

Systèmes immunitaires artificiels (AIS)

- Les individus sont des vecteurs (« anticorps »)
- Les ressources *constituent* les renforcements

Modèles ontophylogénétiques
Propriétés

- **Vitesse**
- ***Credit assignment* implicite (*via* la sélection darwinienne)**
  - **Extension et unification de l'apprentissage par renforcement et de l'évolution artificielle pour un système distribué**

Avec des structures :

- **Plus souples que les LCS et AIS à l'échelle individuelle (par ex. nombre de règles / d'états internes non fixé a priori)**
- **Plus souples que les LCS et AIS à l'échelle collective (par ex. populations non-homogènes / interactions plus riches)**

Évolution des structures décrivant les comportements

Propriétés recherchées

- **Puissance d'expression**
- **« Quasi continuité » du code génétique**
  - **cadre gradualiste de la sélection darwinienne**
  - **de petites variations génotypiques doivent induire la plupart du temps des petites variations de la structure**
    - **Neutralité** [Kimura 1983]
    - **Redondance**
    - **Épistasie limitée**
- **Pouvoir générer des structures appréhendables**

  pour faciliter l'analyse, les manipulations et l'amorçage

Les codes génétiques existants ne vérifient pas toutes ces propriétés simultanément

Codes génétiques
directs

Le génotype *est* la structure

Principales instances:

- **Programmation génétique** [Koza 1992]

  arbres

- **Programmation évolutionniste** [Fogel et al 1966]

  machines à états finis, réseaux de neurones, graphes,…

+ **Puissance d'expression**

+ **Structures appréhendables**

– **Pas de redondance**

– **Épistasie forte**

– **Neutralité faible**

  ➢ **Nécessité de biaiser fortement les opérateurs génétiques**

Codes génétiques
indirects

Construction **de la structure à partir du « programme » génétique**

➢ **langages de construction, basés pour la plupart sur :**

- **une grammaires sans contexte**
- **ou des règles de réécriture de type $\mathcal{L}$-systems**

réseaux de neurones, circuits électroniques

\+ **Puissance d'expression**

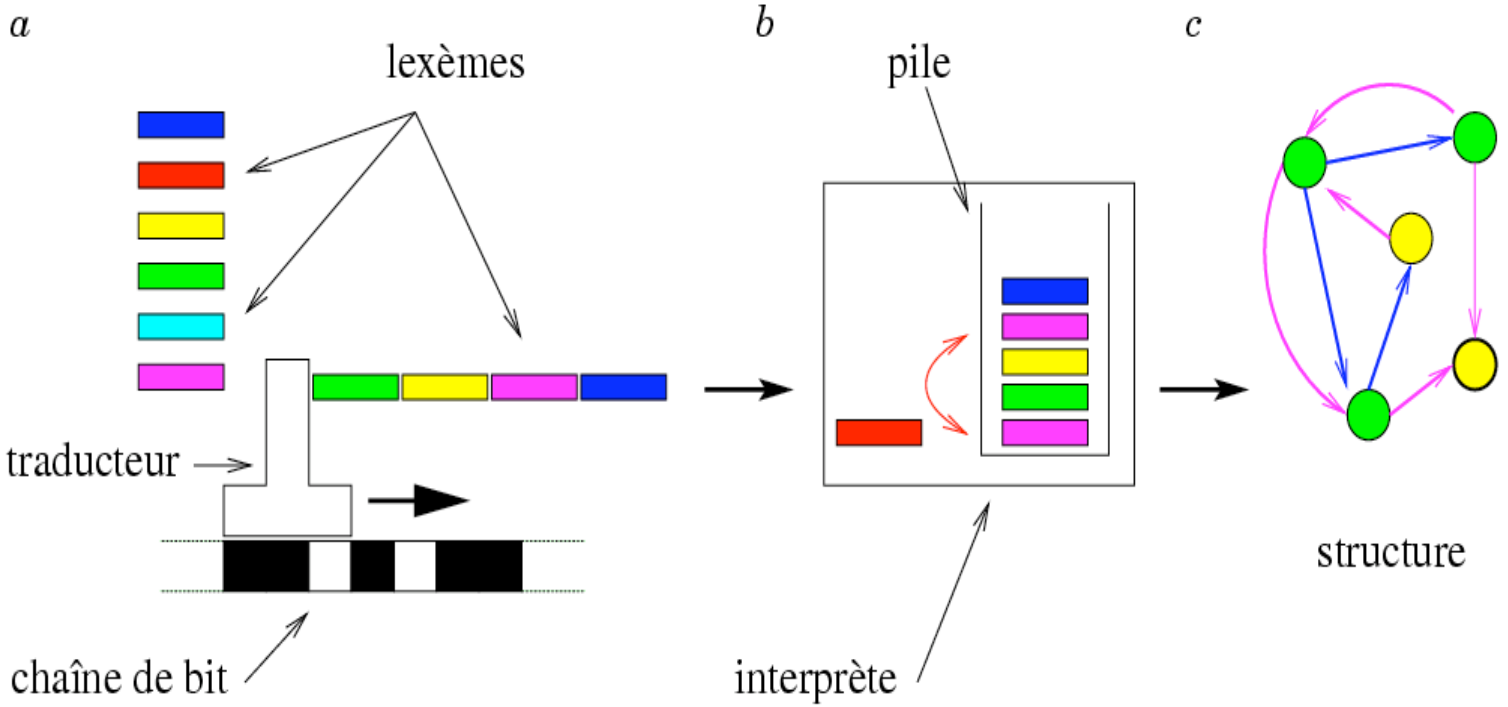
\+ **Structures appréhendables**

o **Redondance et neutralité suivant grammaire**

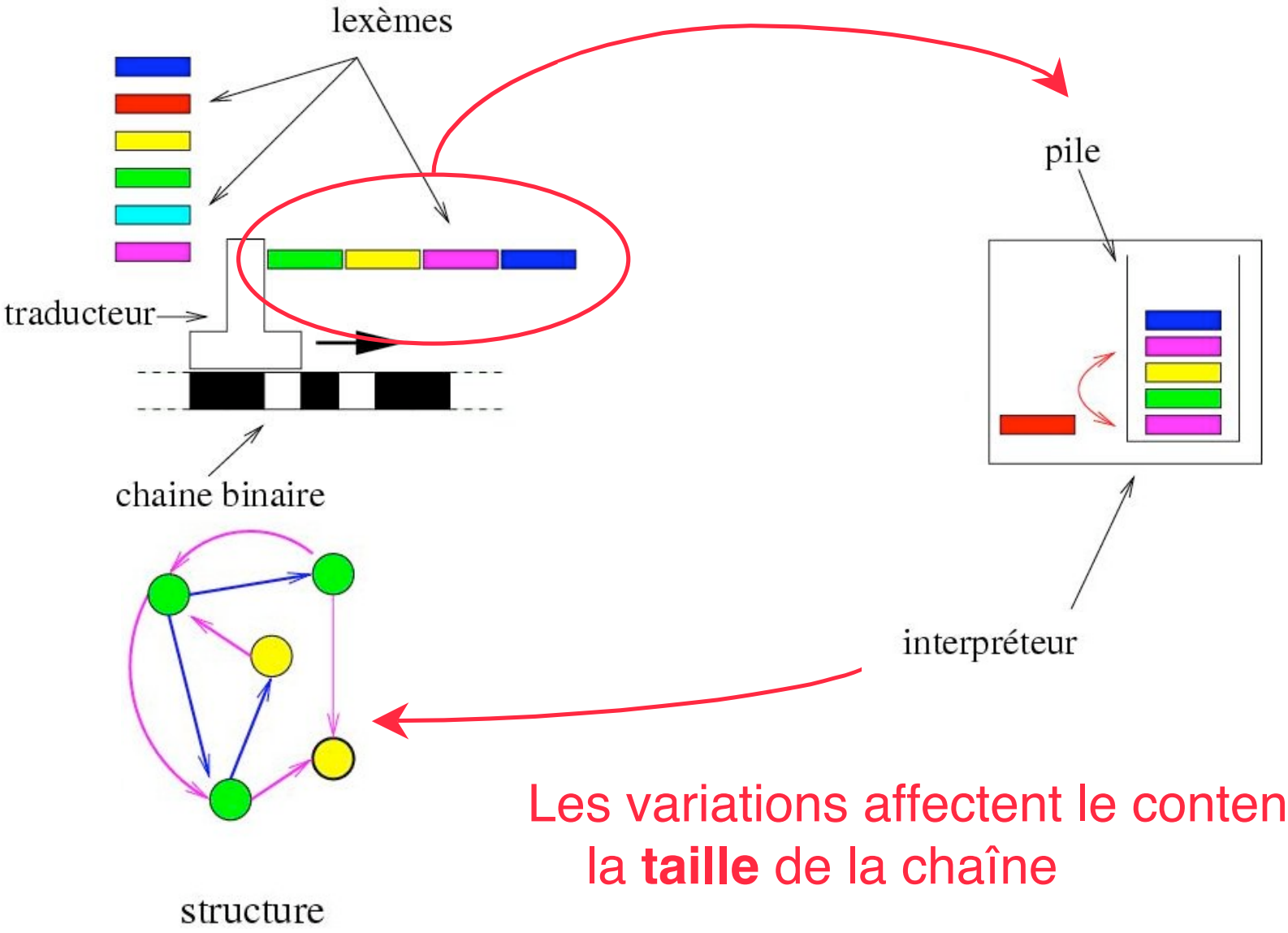
– **Épistasie liée à l'application des règles de grammaire**

➢ **Nécessité pour les opérateurs génétiques de respecter les règles grammaticales**

Code indirect basé sur un langage à pile



Stack-Based Gene Expression
Principes (1)



Les variations affectent le contenu et la **taille** de la chaîne

Stack-Based Gene Expression
Principes (2)

Le langage est constitué d'un code génétique $\mathcal{G}$ et d'un ensemble de lexèmes $\mathcal{T}$

Lexèmes

- de pile (indépendants de la structures)

  par ex. : `swap, dup`

- de structure
  - indépendants des conditions et actions

    par ex.: `connect, Node` pour un graphe
  - conditions et actions (symboles)

    par ex.: `FreeNorth?, GoWest!`

Code genétique

$$\mathcal{G} : \{0,1\}^n \longrightarrow \mathcal{T}$$

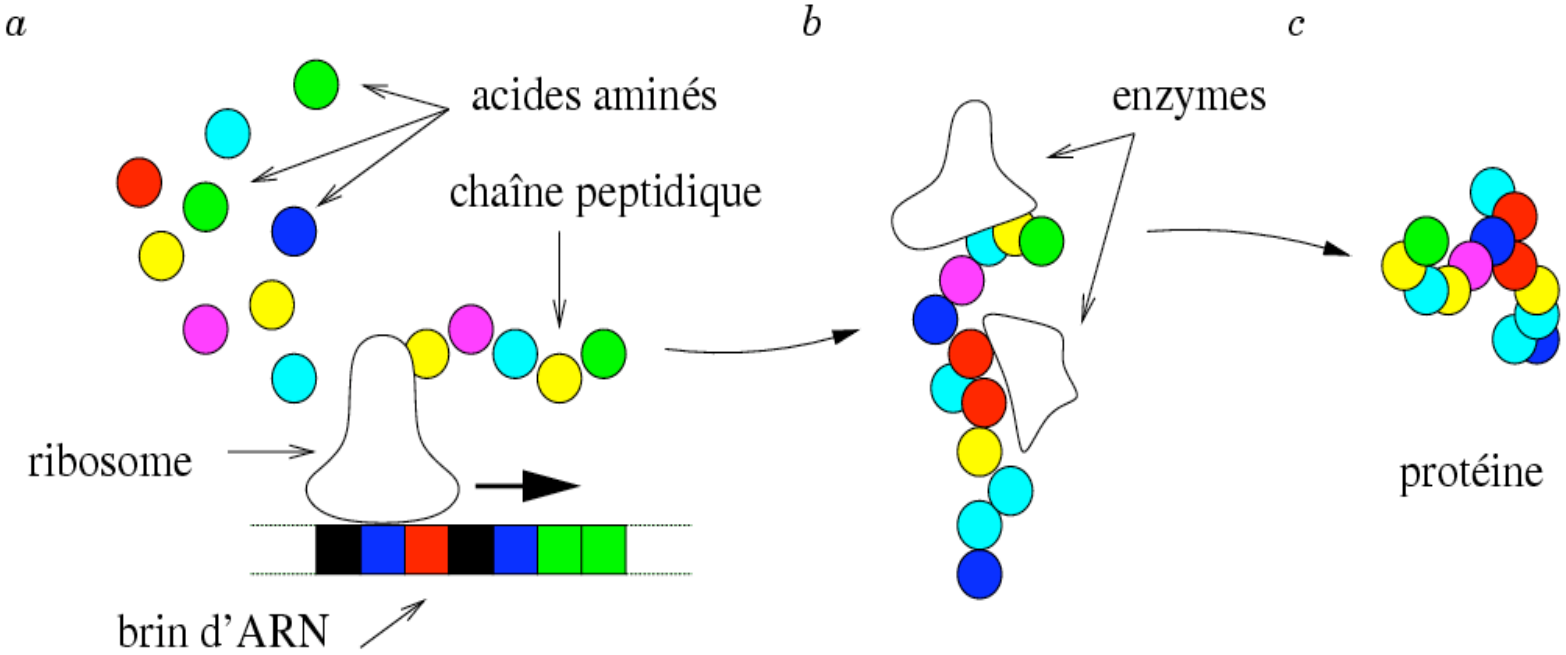
$$\square\mathcal{T}\square\square\ 2^n$$

Stack-Based Gene Expression
Propriétés

- Opérateurs classiques des AG, et même plus (insertion/délection) car
- Toute chaîne est interprétable
  - ➢ Pas de biais *nécessaire* sur les opérateurs génétiques
- Neutralité et redondance
  - du code génétique (surjection)
  - à l'interprétation

    par ex.: l'ordre peut ne pas importer pour certaines instructions
  - plusieurs façon de coder les mêmes sous-structures
  - structures différentes mais mêmes sémantique (dépend de l'environnement)
- Épistasie
  - Localité des instructions de la pile
- Grammaire contextuelle, « distribuée » sur les lexèmes

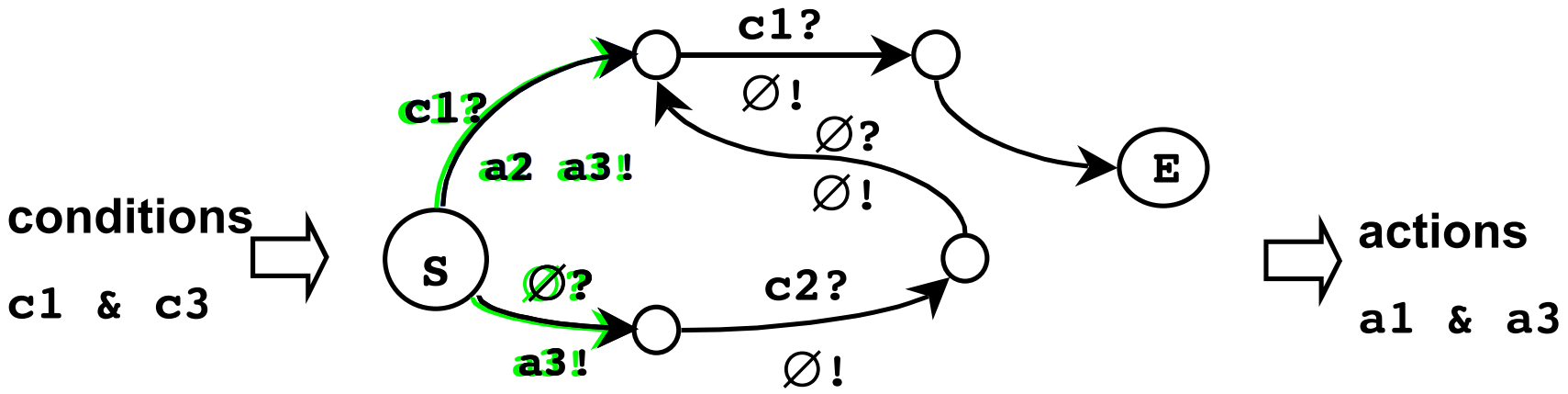
Métaphore de la synthèse de protéines

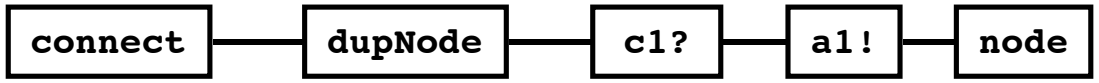


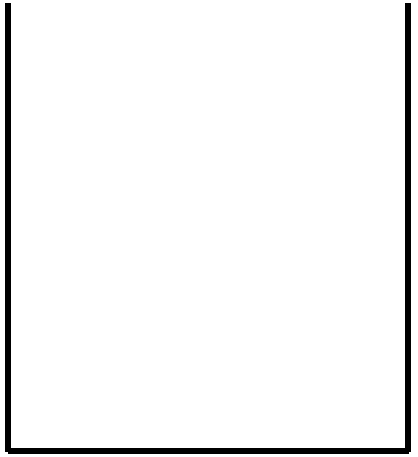
Choix des ATN

graphes étiquetés utilisés comme automates non-déterministes

- **≈ Ensemble d'états et de règles conditions➔ actions**



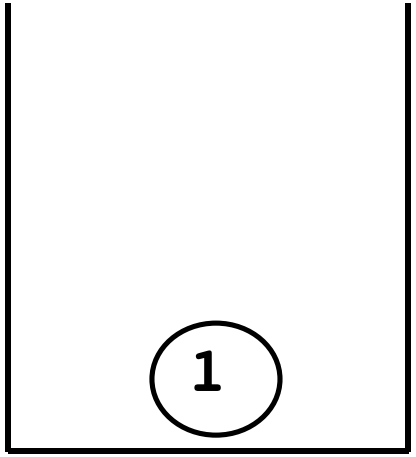




interprète

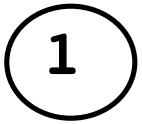
ATN

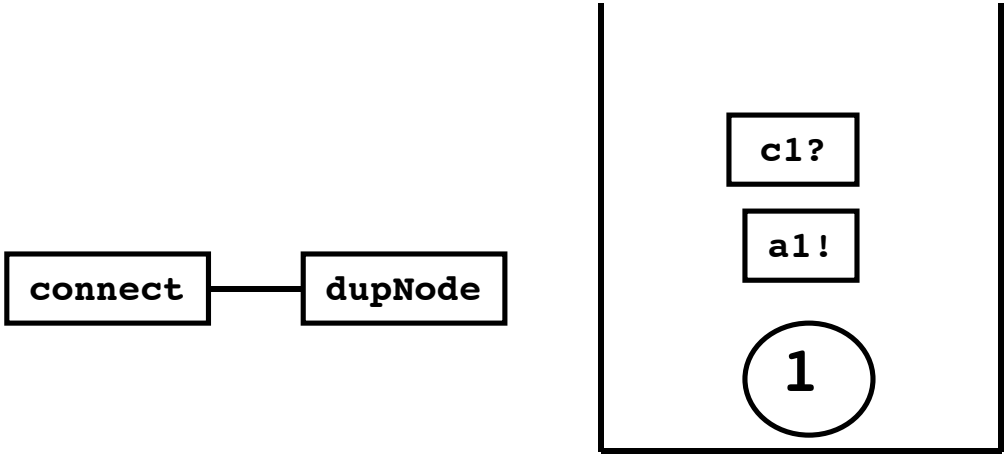
<vide>



interprète

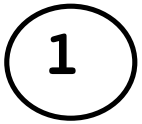
ATN

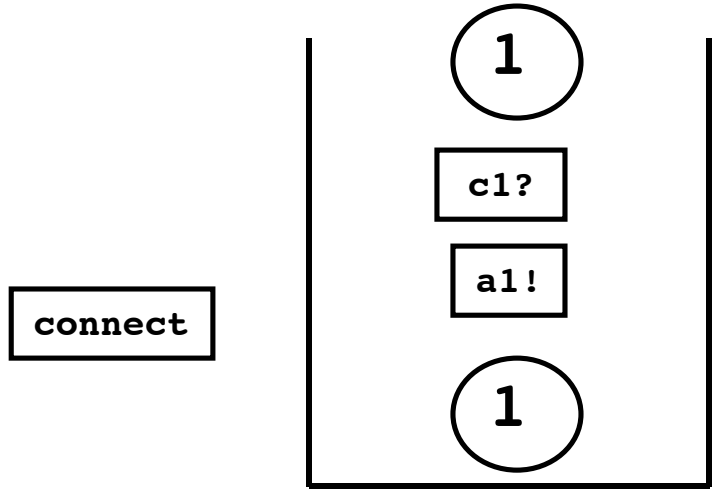




interprète

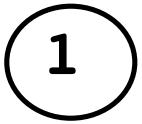
ATN

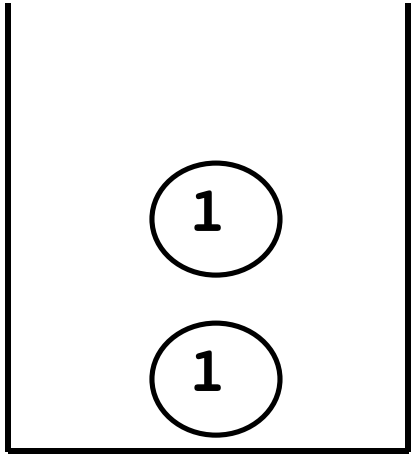




interprète

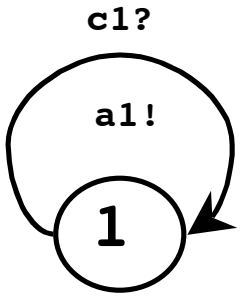
ATN





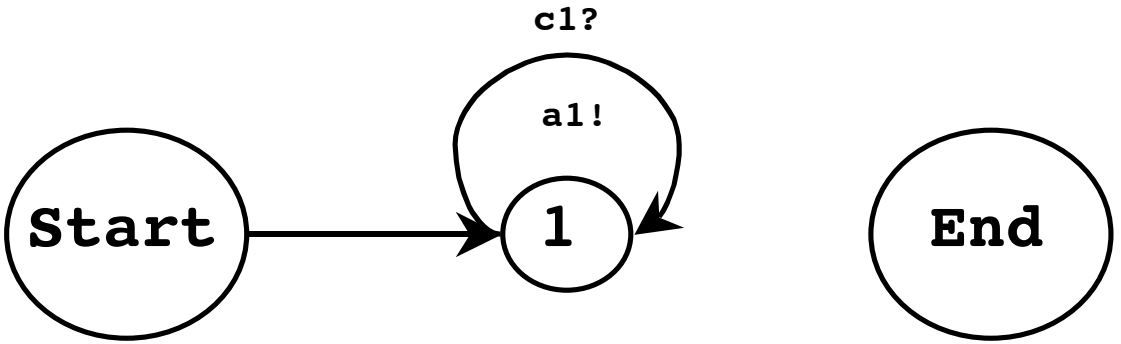
interprète

ATN



interprète

ATN



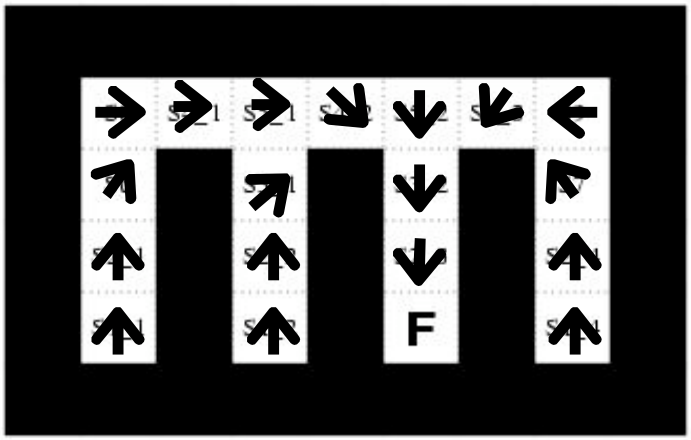
Expérimentation individuelle

Problème non-markovien : l'environnement Maze10

Objectifs

· Test de fonctionalité d'ATNoSFERES avec des algorithmes évolutionnistes

· Comparaison avec d'autres modèles



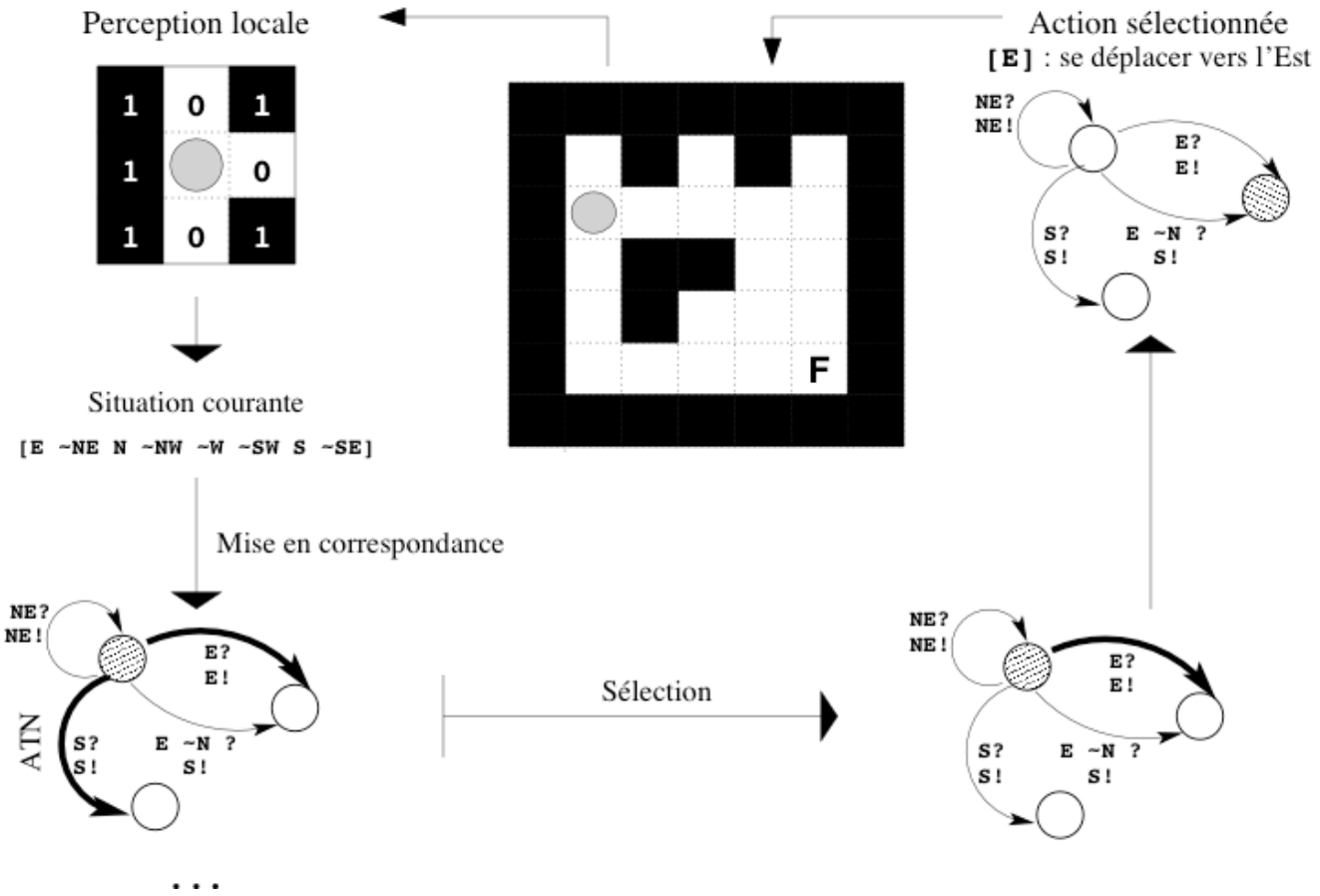
Environnement Maze10 [Lanzi 1998]

- **Situations d'alias perceptuels avec actions optimales distinctes → environnement non-markovien**
- **14 cases présentant des alias perceptuels**

  (11 requièrent des actions différentes)
- **4 cases non ambiguës ; 1 case « food » (sortie), non perçue**

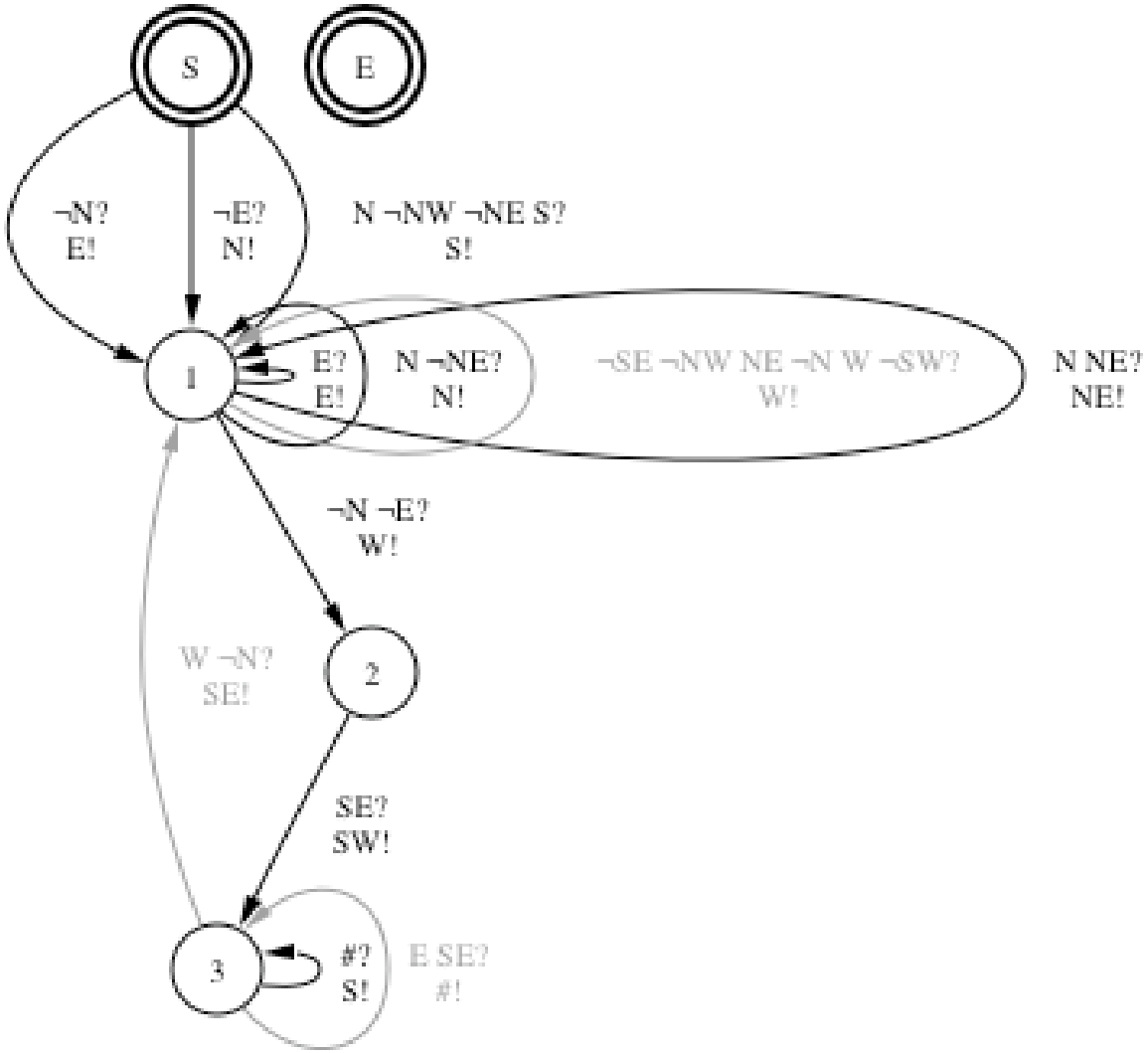
Expérimentation individuelle

Application d'ATNoSFERES à Maze10

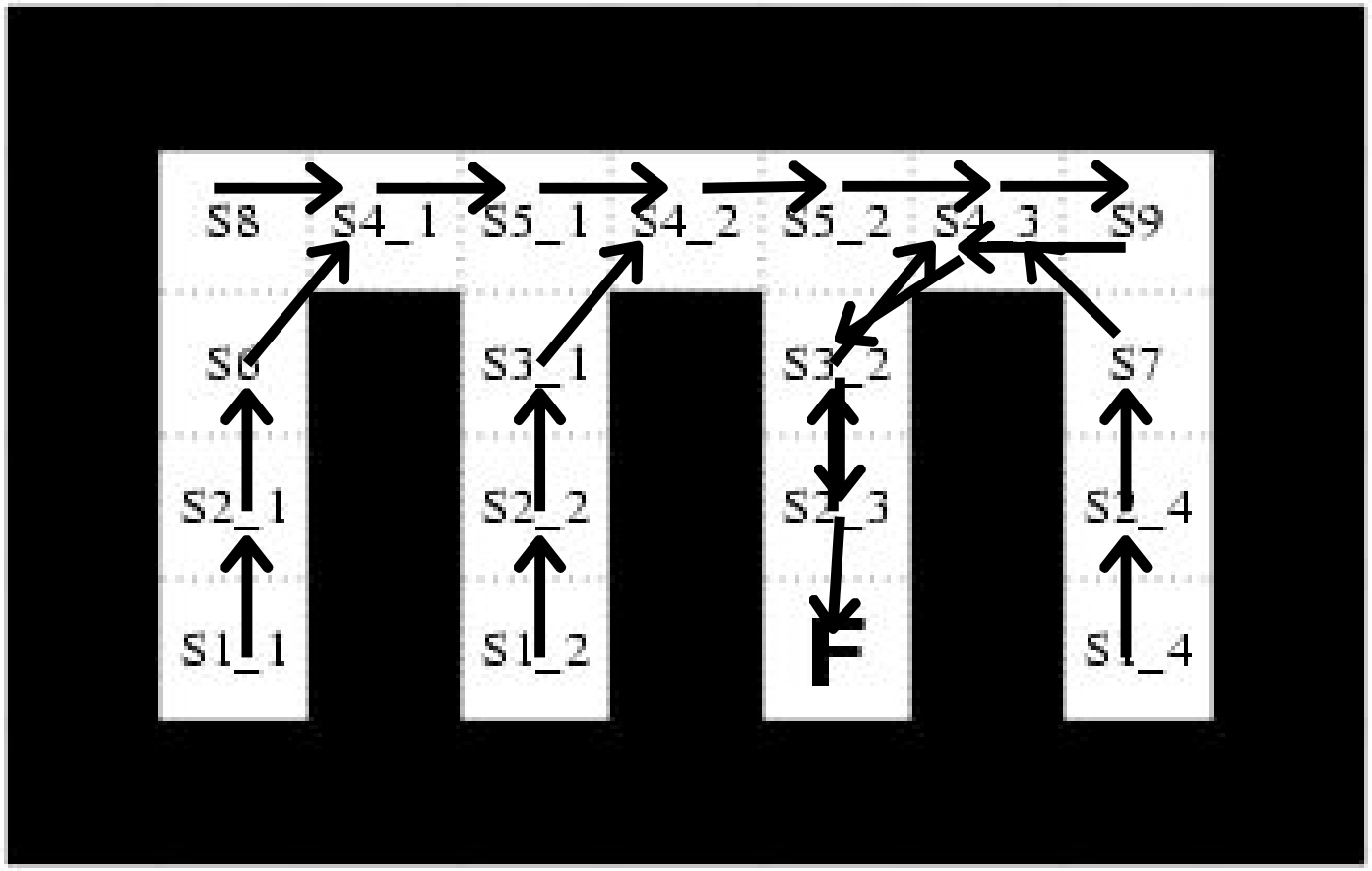


- **Conditions: N?/~N?, NE?/~NE?, …**
- **Actions : N!, NE!,…**

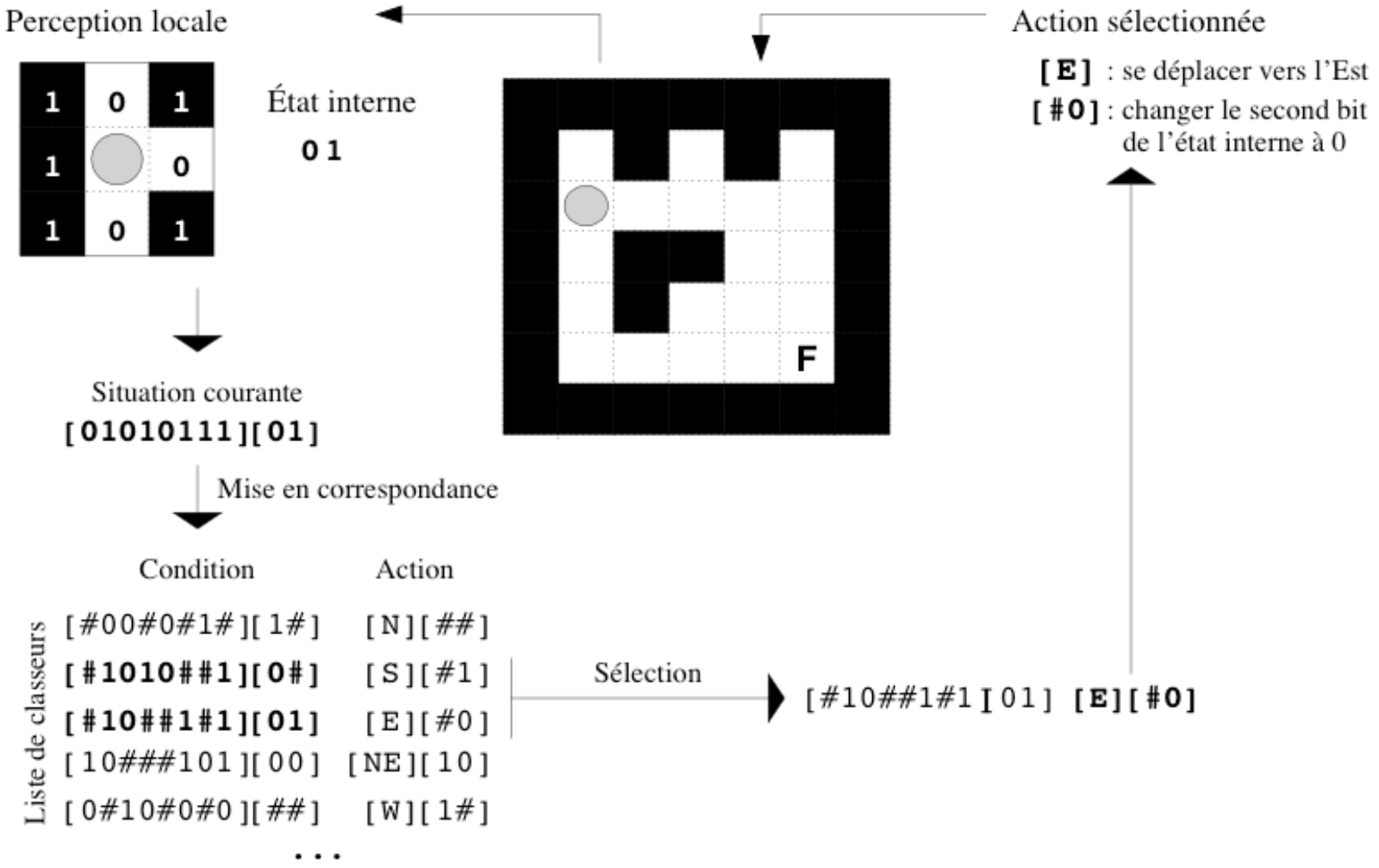
Meilleur graphe



Meilleur comportement



Comparaison
Fonctionnement de XCSM

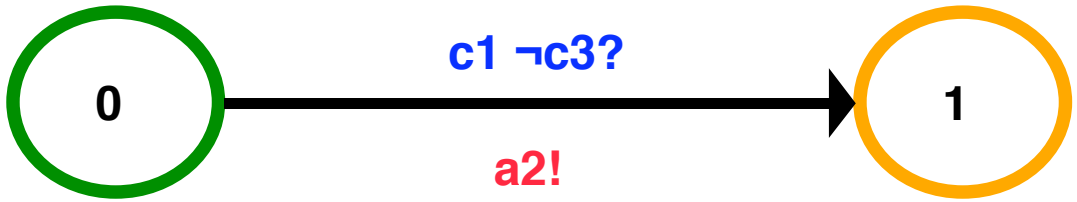


Comparaison

Équivalence formelle entre ATNoSFERES et XCSM

- Étiquettes de condition/action sur les arcs ≈ conditions/actions externes dans les règles
- Noeud ≈ état interne
- Origine d'un arc ≈ condition interne
- Extrémité d'un arc ≈ action interne

ATN



LCS

conditions				actions		
externe			interne	externe		interne
c1	c2	c3	s1	a1	a2	g1
1	#	0	0	0	1	1

Comparaison
caractéristiques

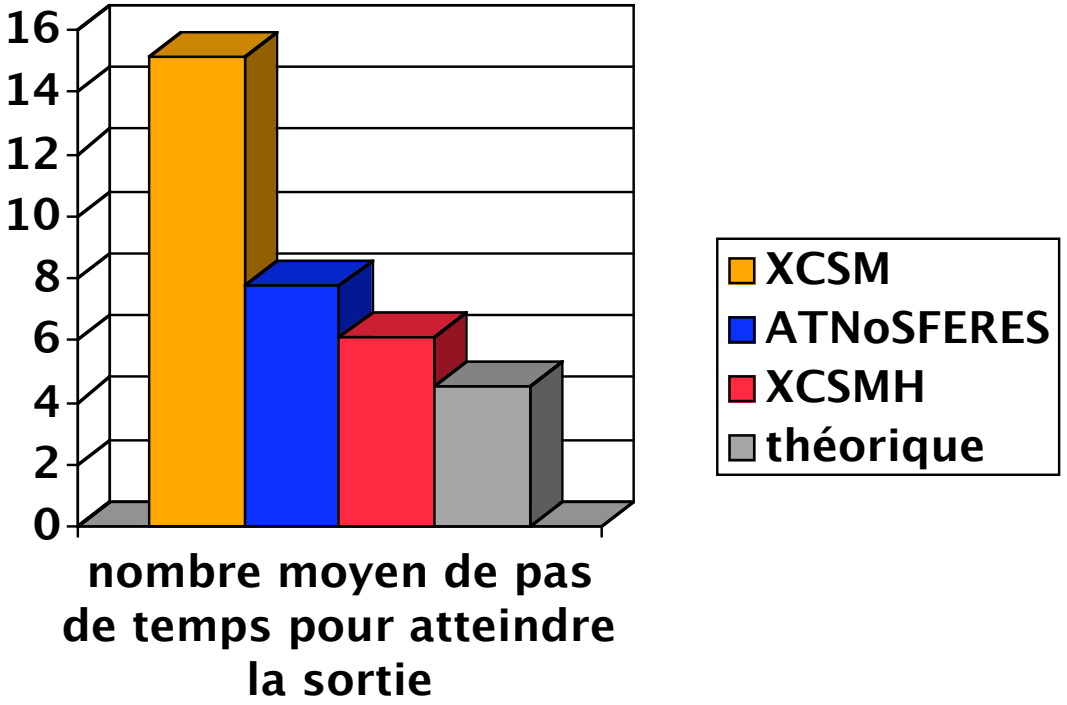
ATNoSFERES

1. Algorithme Génétique
2. Fonction de fitness
3. Équiprobabilité des arcs éligibles
4. Nb de noeuds (auto)-ajustable
5. Nb d'arcs (auto)-ajustable
6. Pas de généralisation explicite
7. Structure en réseau

XCSM

1. AG + Appr. par renforcement
2. Renforcement
3. Les règles ont une force qui guide le choix
4. Nb fixé de noeuds internes
5. Nb fixé de règles
6. Généralisation explicite possible
7. Liste de règles

Comparaison
résultats



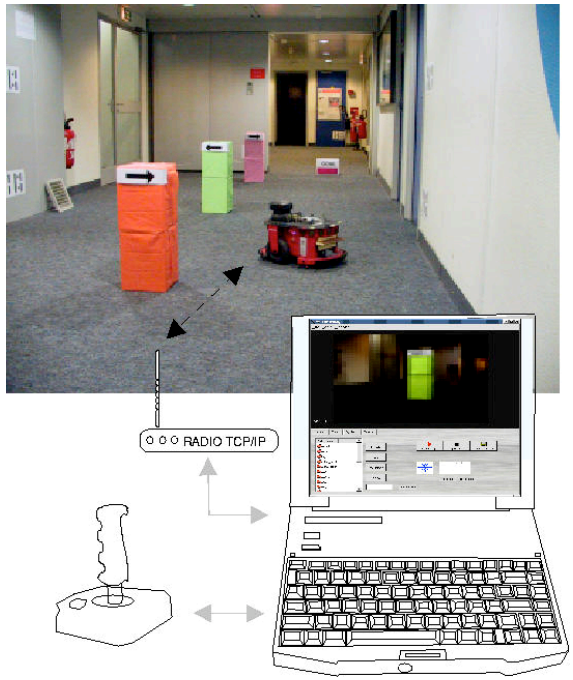
- **XCSMH : version de XCSM optimisée pour gérer les états internes**
- **Résultat théorique : parcours optimaux d'un agent « omniscient »**

(résultats des expériences XCSM et XCSMH tirés de [Lanzi 1998]**)**

Expérimentation collective
Enseigner un comportement à un robot

Objectifs

- **Apprentissage par démonstration**



démonstrations

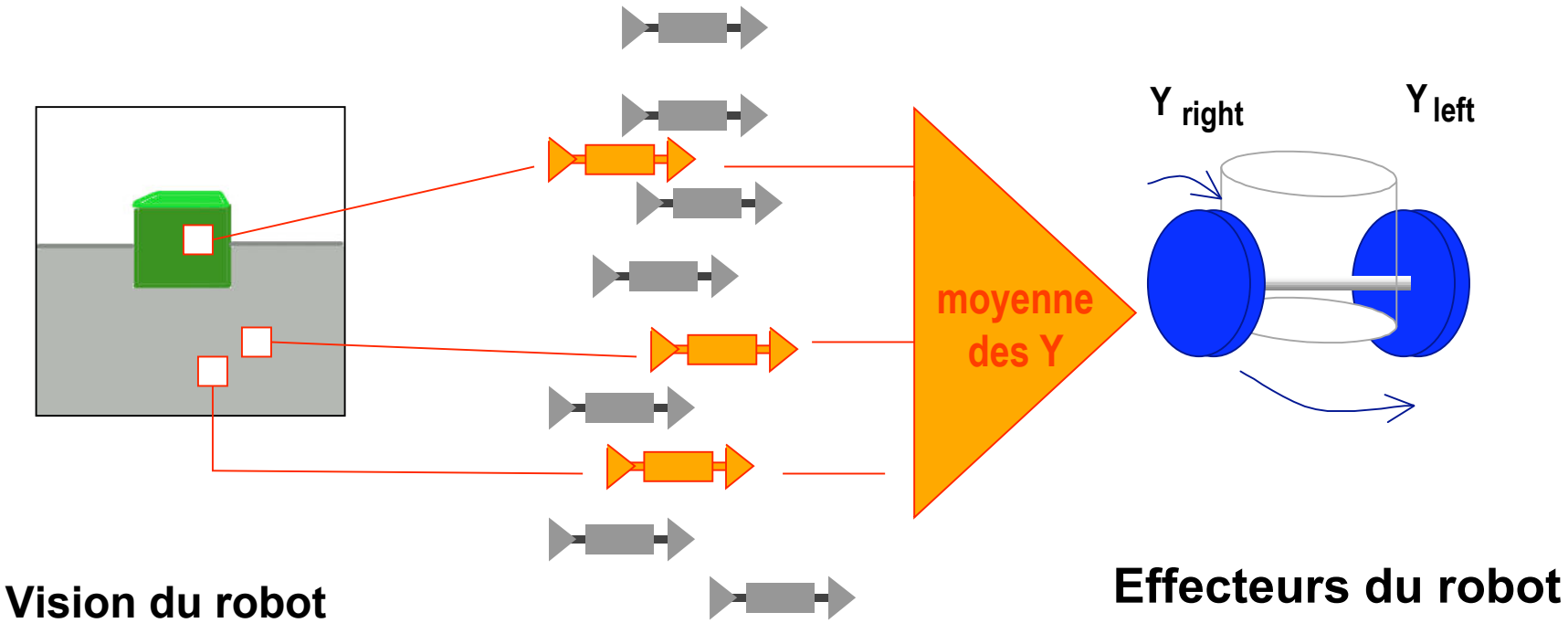
traitement

réalisation

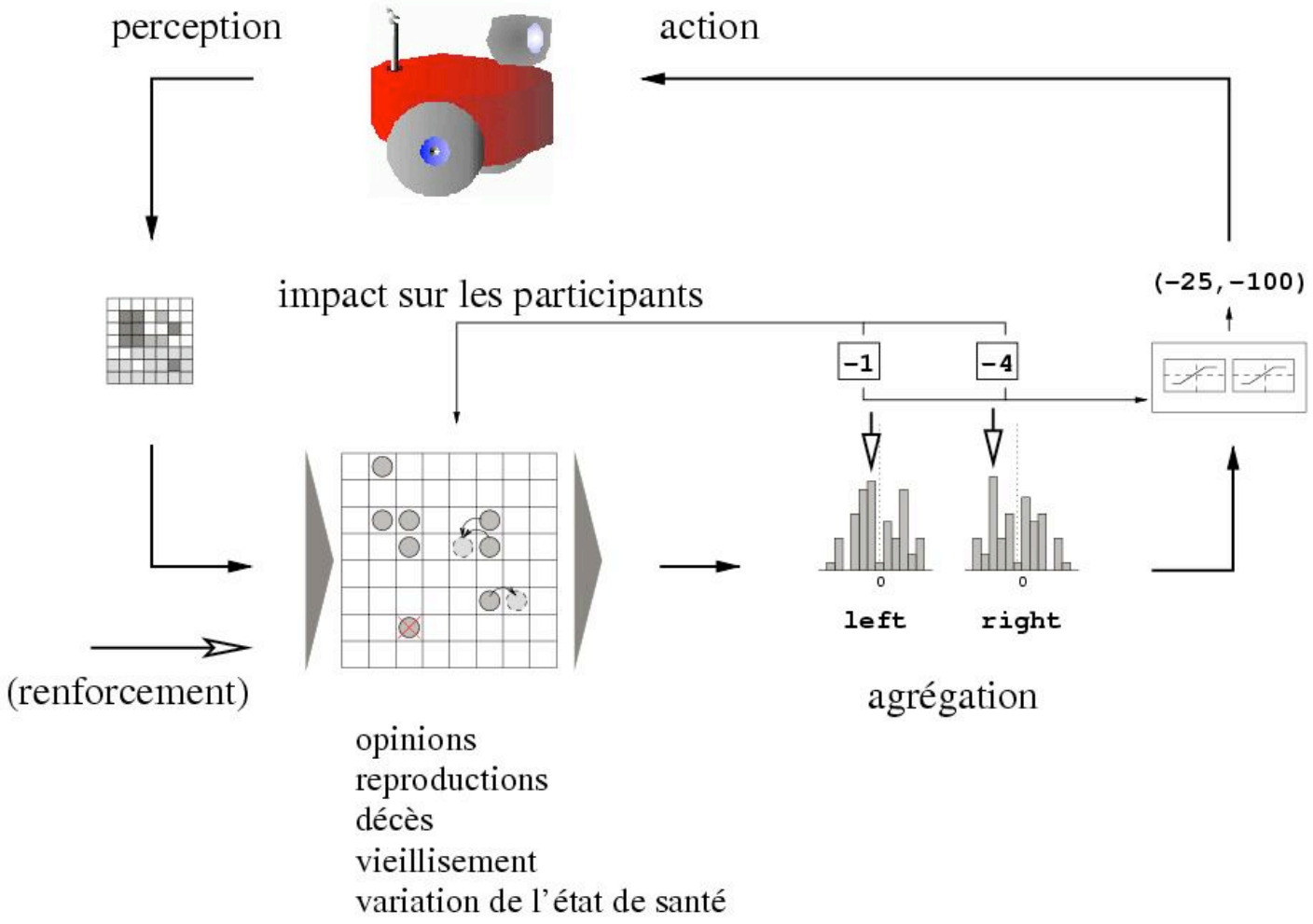
- **Pas de connaissances a priori sur l'environnement ou la tâche**

Expérimentation collective

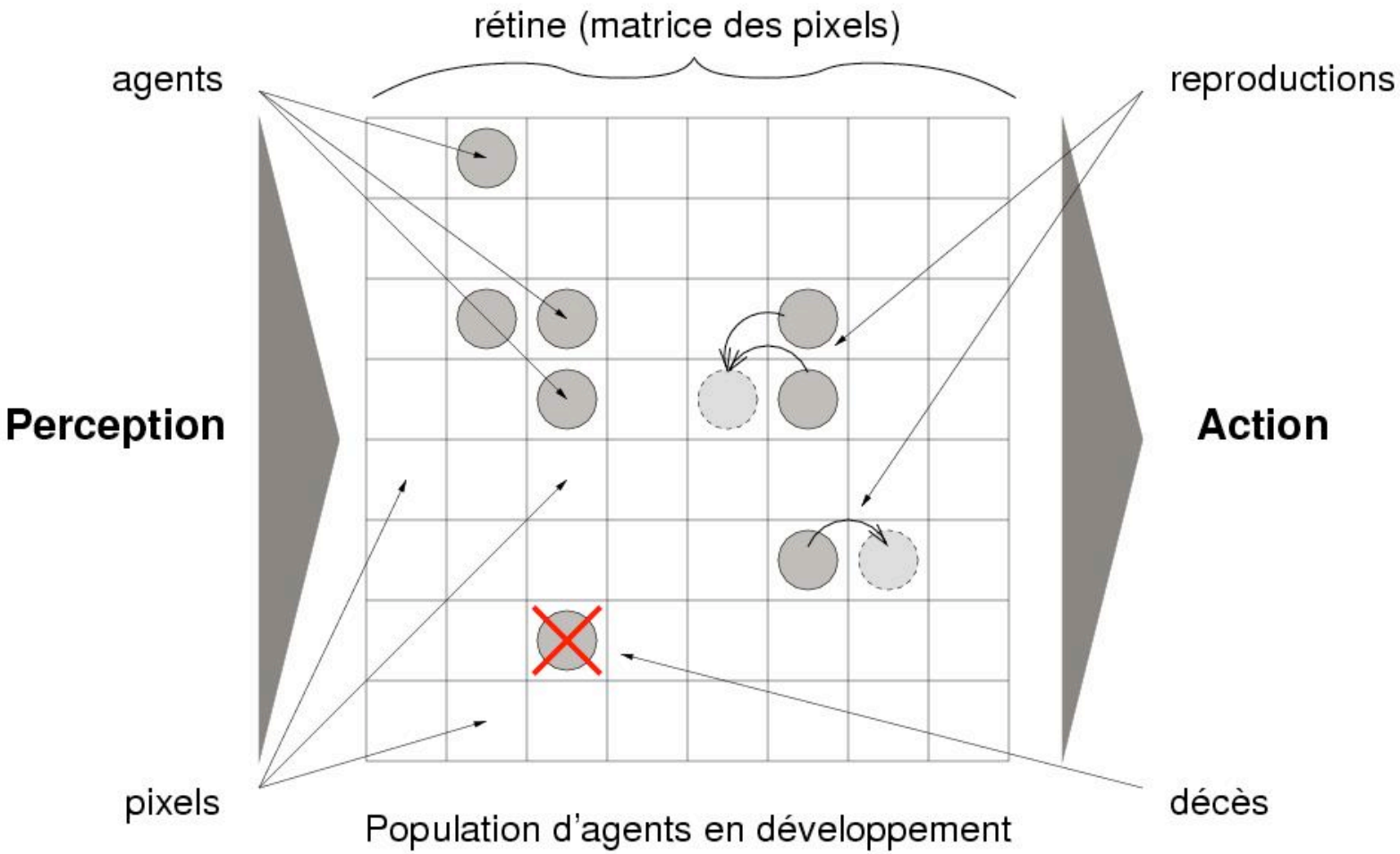
MPL-s [Hugues 2002]



Vue générale

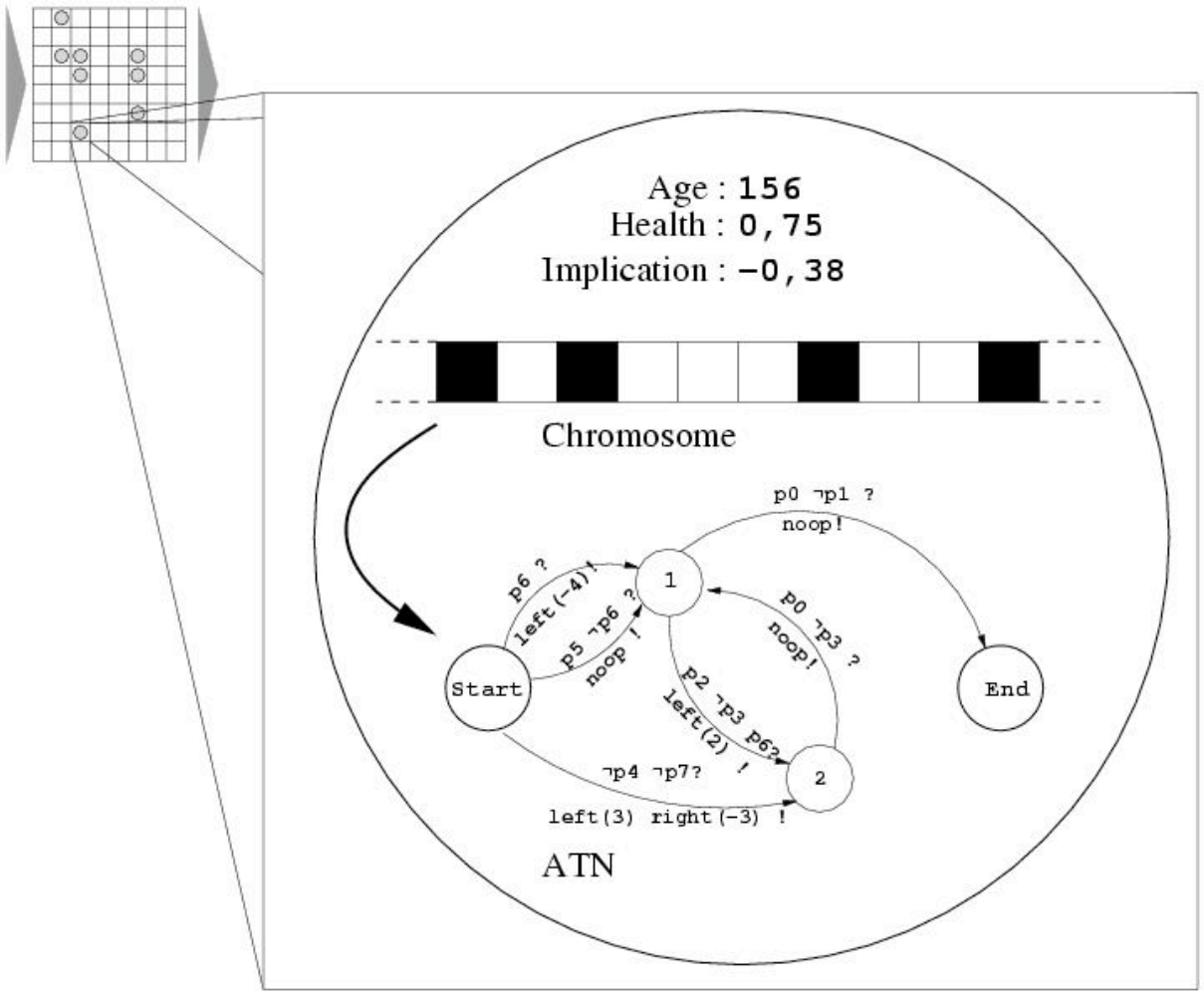


Vue générale du système



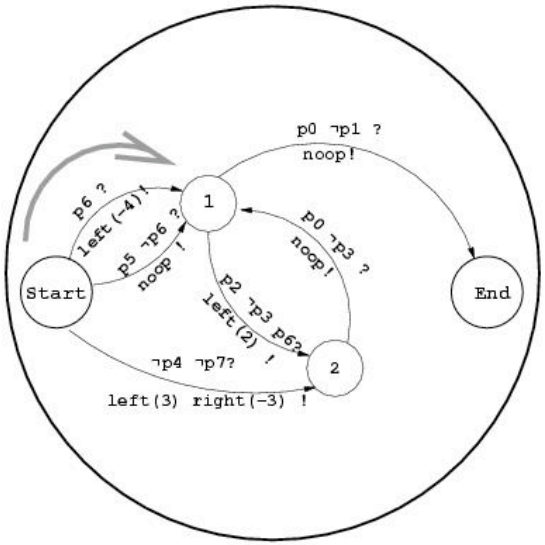
Expérimentation collective
ATNoCells (3)

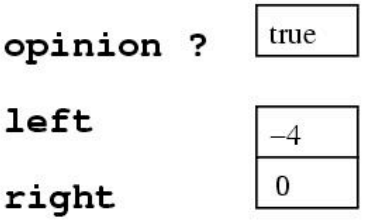
Détail d'un agent



Détail du fonctionnement d'un agent

code couleur du pixel

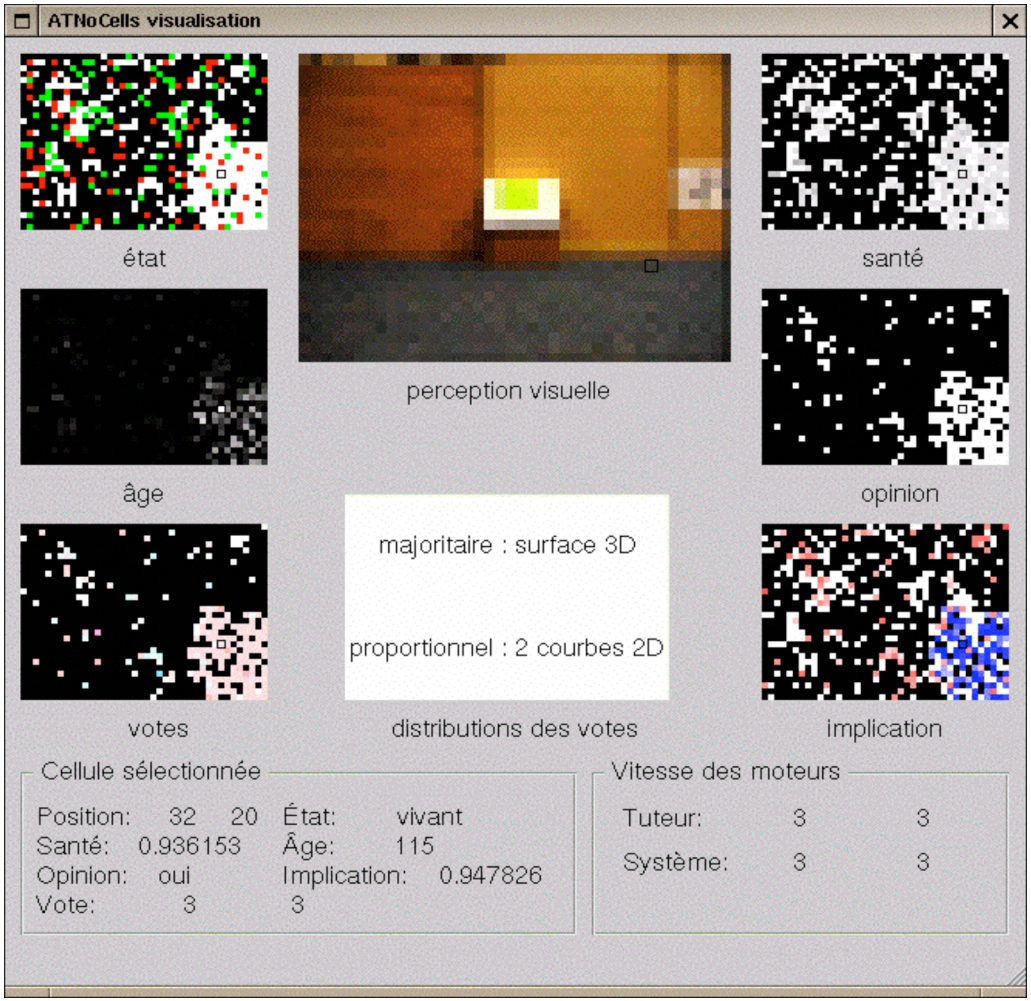




opinion

Expérimentations
ATNoCells (5)

Résultats préliminaires



Conclusions

- Travail expérimental en cours sur la tâche du slalom
- Comparaison avec les résultats de Louis Hugues
- Nécessite des outils de visualisation et d'analyse plus fins

Perspectives

- Analyse de la configuration globale adoptée par la population de cellules (formes, dynamique)
- Tâches plus complexes (alias perceptuels)

Discussion
ATNoSFERES et SBGE

ATNoSFERES

- Intérêts du non-déterminisme
- Modèle à la fois symbolique et numérique
- Observations :
  - Adaptation de la structure au niveau de complexité du problème (nombre d'états)

SBGE

- Représentation dynamique et adaptation

  taille de la chaîne de bits
- Séparation syntaxe-sémantique
- Grammaire contextuelle
- Quasi continuité et adaptation cumulative

  Redondance, neutralisme et faible épistasie

Discussion

ATNoCells et modèles ontophylogénétiques

ATNoCells

- Plus grande interactivité pour l'apprentissage par démonstration:
  - possibilité de propositions « originales » par le robot
  - Retour de l'utilisateur pris immédiatement en compte
- Combinaison d'apprentissage par démonstration, par renforcement et par évolution artificielle

Modèles ontophylogénétiques

- Probléme de la régulation du développement et de la pression sélective

Conclusions et perspectives

Conclusions

- SFERES validé (plusieurs techniques/expériences implantées)
- SBGE et ATNoSFERES validés dans le cadre des algorithmes évolutionnistes

Perspectives sur les modèles ontophylogénétiques

- Explorer les mécanismes régulatoires
- Apprentissage multicritère
- Ajouter de l'observation et de la capacité à agir sur l'activité du système pour plus d'autonomie
  - ➢ Processus d'auto-adaptation / autorégulation