

ECHO

Le modèle de Complex Adaptive System (CAS)
de John Holland

A.Makarovitsch
Emergence Oct.2017

Système Complexe Adaptatif (CAS) **

- Vocabulaire utilisé par J.Holland pour qualifier les systèmes dynamiques complexes (1992,1995, 1997,2012)
- Les questions majeures posées par les CAS sont le maintien de leur **cohérence** dans le **changement** et leur **vulnérabilité**.
- Quelques exemples:
 - système nerveux
 - système immunitaire
 - villes, écosystèmes...

- Un système composé d'agents interactifs décrits en termes de règles
- Les agents s'adaptent en changeant leurs règles en fonction de l'accumulation d 'expérience
- La majeure partie de leur environnement est constitué d'autres agents adaptatifs (une partie significative de l'effort d'adaptation d'un agent est dépensé pour s'adapter à d'autres agents et des formes complexes sont générées dans ce processus)
- Comprendre un CAS c'est comprendre ces patterns, ces configurations, qui changent en permanence

Les Agents

- Les CAS sont composés d'un grand nombre d'éléments actifs divers par leurs formes et fonctions
- Comprendre l'interaction d'un grand nombre d'**agents**:
 - la description des agents pris individuellement
 - le choix des stimuli/réponses (règles SI >> ALORS) et leur représentation
 - le séquençement des règles pour un agent (ce qui définit son comportement potentiel)

Adaptation

- Le processus par lequel un organisme (système) s'ajuste (s'accorde) avec son environnement

Système

Temps de changement

Syst.nerveux central —————> secondes - heures

Syst.immunitaire —————> heures - jours

Entreprise —————> mois - années

Espèces —————> jours - siècles

Ecosystème —————> années - millénaires

...

Propriétés(P) et Mécanismes(M) de base des CAS

*

- ◆ **Agrégation** (P)
 - simplification
 - émergence
- ◆ **Etiquetage** (M)
 - formation de frontières
- ◆ **Non-linéarité** (P)
 - il n'y a pratiquement pas de linéarité dans les CAS
- ◆ **Flux** (P)
 - dans un réseau complexe de nœuds et de connecteurs
- ◆ **Diversité** (P)
 - une nécessité pour remplir une « niche »
- ◆ **Modèles internes** (M)
 - schémas, anticipation
- ◆ **Modules** (M)
 - décomposition, recombinaison
 - réutilisation

- Modèle simplifié
 - environnements complexes dans lesquels la performance des agents est améliorée si l'information pertinente est acquise et exploitée
- Conçu pour des « gedanken experimente » (expériences de réflexion)
 - ce n'est pas un simulateur
- Etude de population d'agents
 - évolutifs
 - se reproduisant
 - distribués dans un « monde »
 - avec entrées de ressources renouvelables
 - interactifs
- Plusieurs niveaux de modèles

- Le « monde » est une collection de sites reliés (pas nécessairement de façon régulière).
- Dans chaque site on trouve un certain niveau de ressources qui peut aller de 0 à un maxi (à définir), et qui peuvent varier à chaque « tic » d'horloge.
- Dans chaque site on trouve un nombre d'agents.

ECHO

- Les ressources (lettres de l'alphabet) sont combinées en chaînes - comme les atomes en molécules, et sont appelées « chromosomes » .
- Toute chaîne est admissible
- Les agents interagissent à travers leurs ressources par des tests

ECHO

- Les capacités des agents:

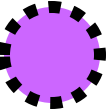
- attaque
- défense
- échanges
- couplage (pour la reproduction)
- agrégation (en multi-agents)

sont déterminées par un jeu
de « chromosomes »

Le Monde

 Agent

 Agent

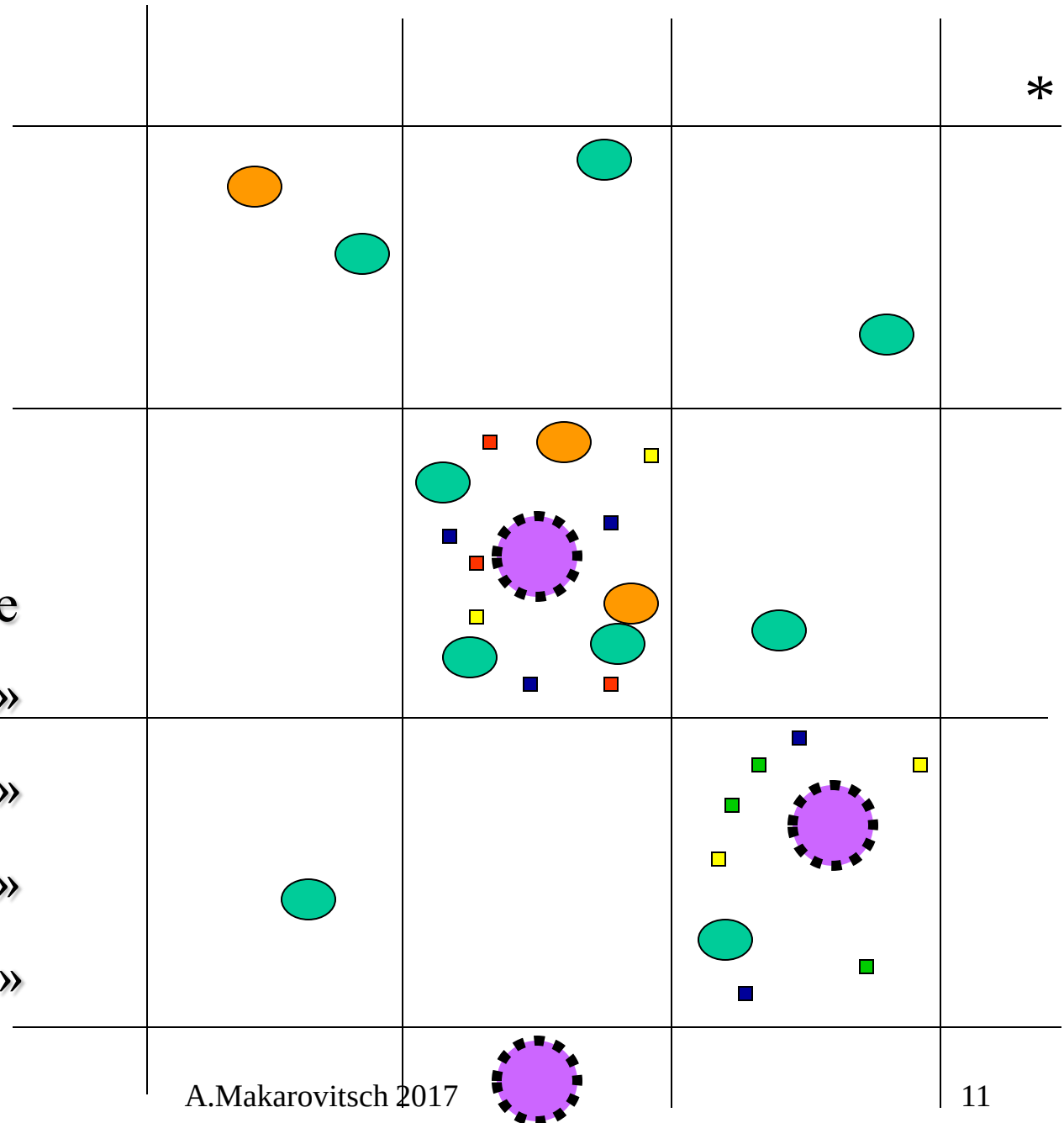
 Fontaine
d'abondance

 Ressource « a »

 Ressource « b »

 Ressource « c »

 Ressource « d »

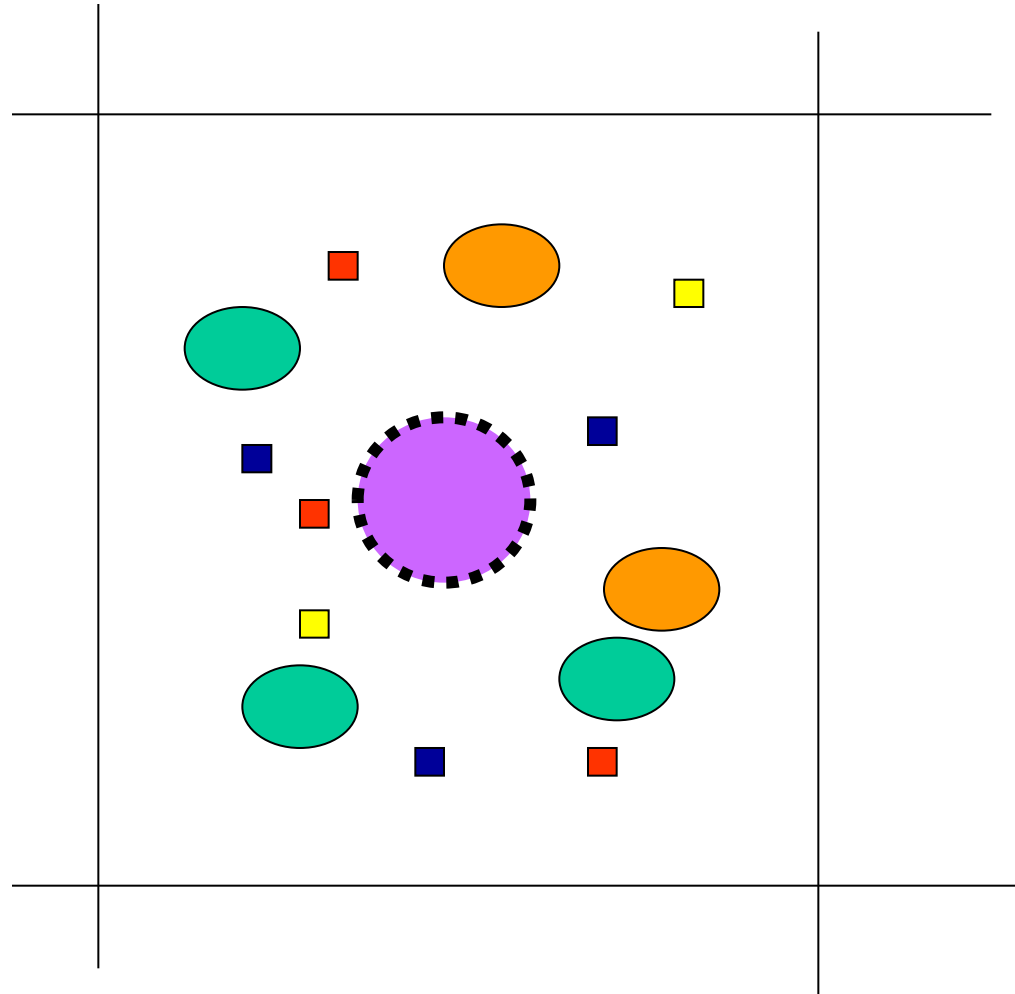


Le Site

Les ressources sont renouvelables

Plusieurs agents sur un même site

Une fois en contact, une série de tests décideront de l'interaction



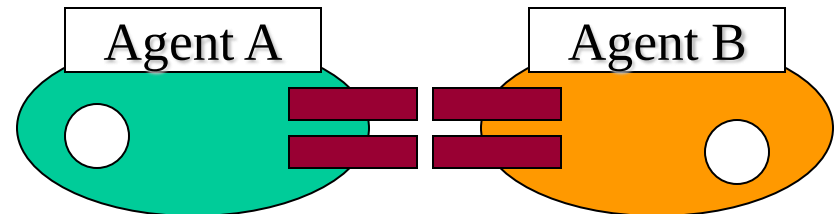
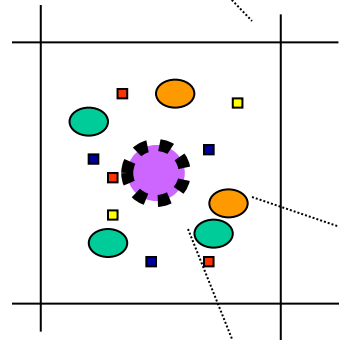
Une vue globale de ECHO

- Reproduction: seulement si le réservoir contient de quoi copier le chromosome
- L'adaptation de l'agent est sa capacité de se reproduire, donc de récupérer des ressources

Le site peut avoir une étiquette « défense »

Agent simple:

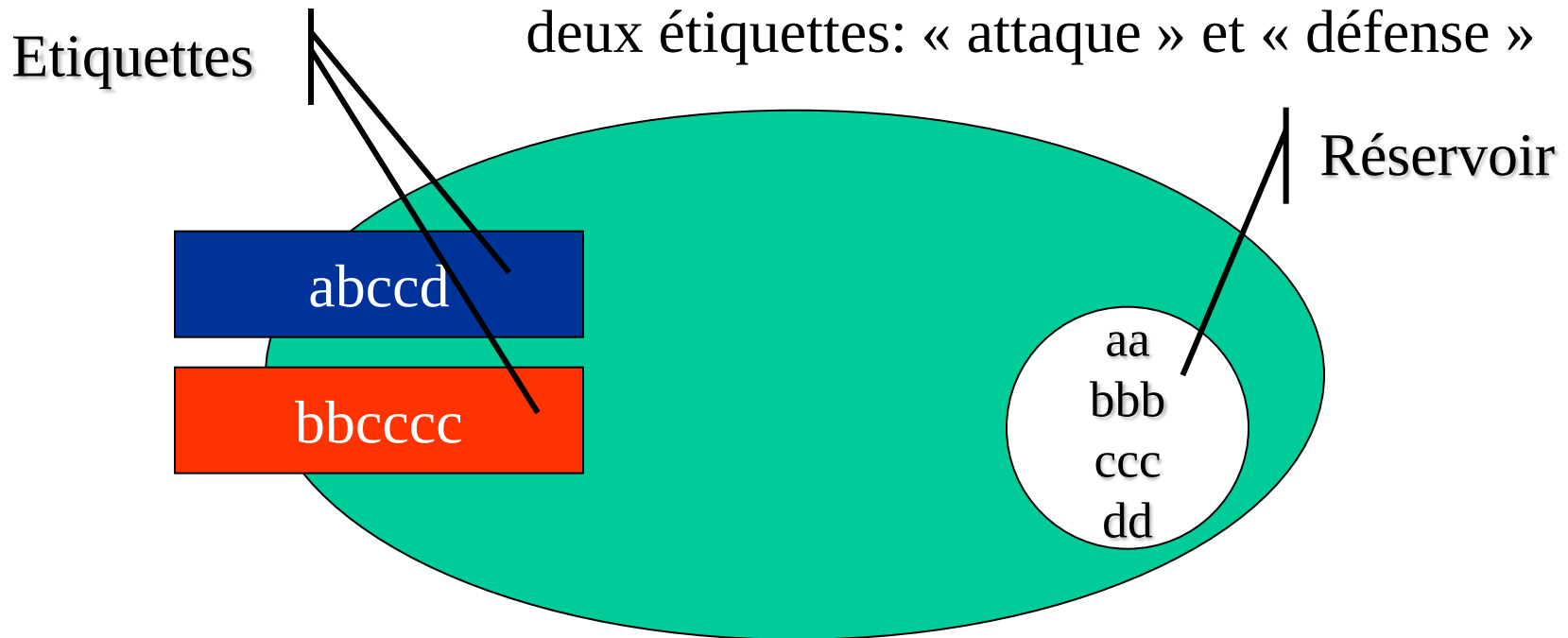
- réservoir
- chromosome = 2 étiquettes
 - « attaque »
 - « défense »



Un Agent simple

*

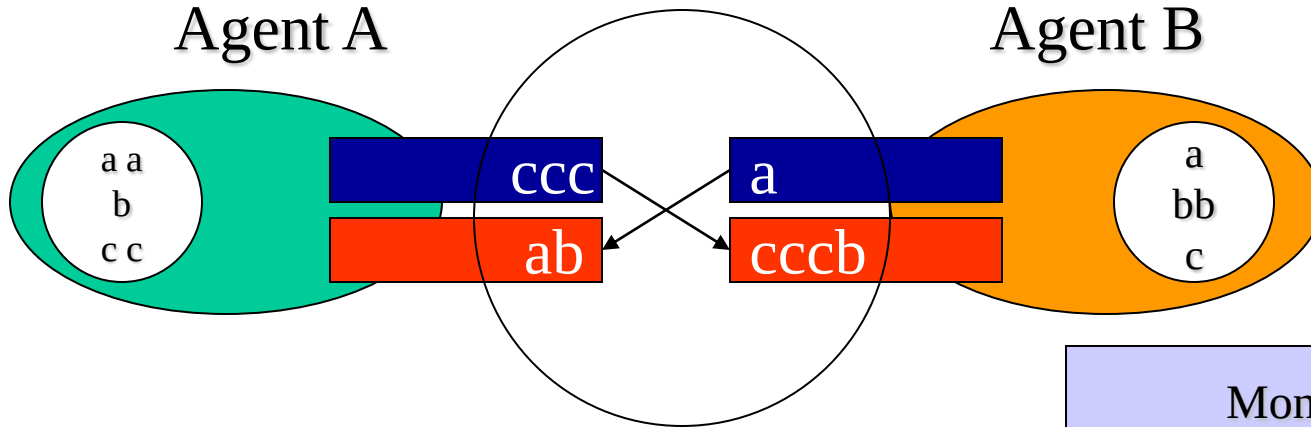
- Le réservoir qui contient des ressources acquises du site ou par interaction
- Le « chromosome » qui contient uniquement deux étiquettes: « attaque » et « défense »



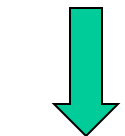
En cas d'une seule étiquette >> transitivité (A mange B, B mange C, C mange A)

Les CAS ne sont pas transitifs! (Renard mange Lapin, Lapin mange Herbe, mais Renard ne mange pas Herbe)

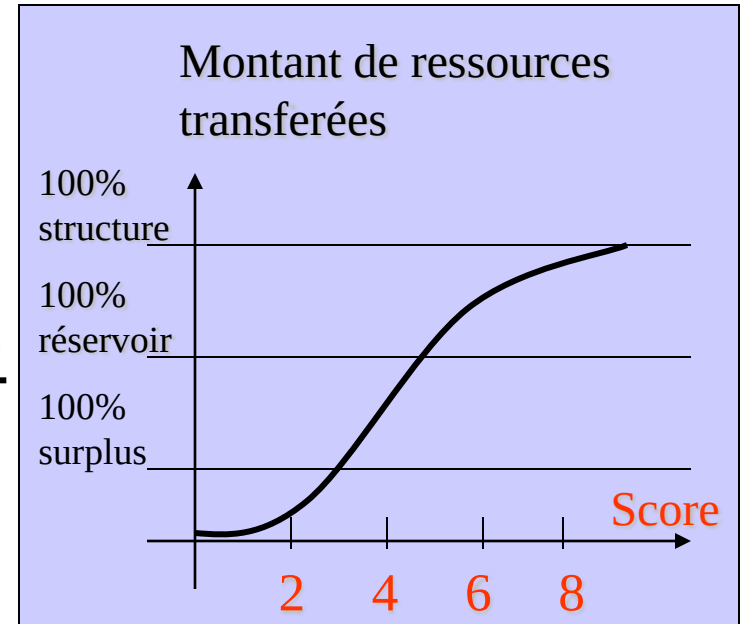
L'interaction



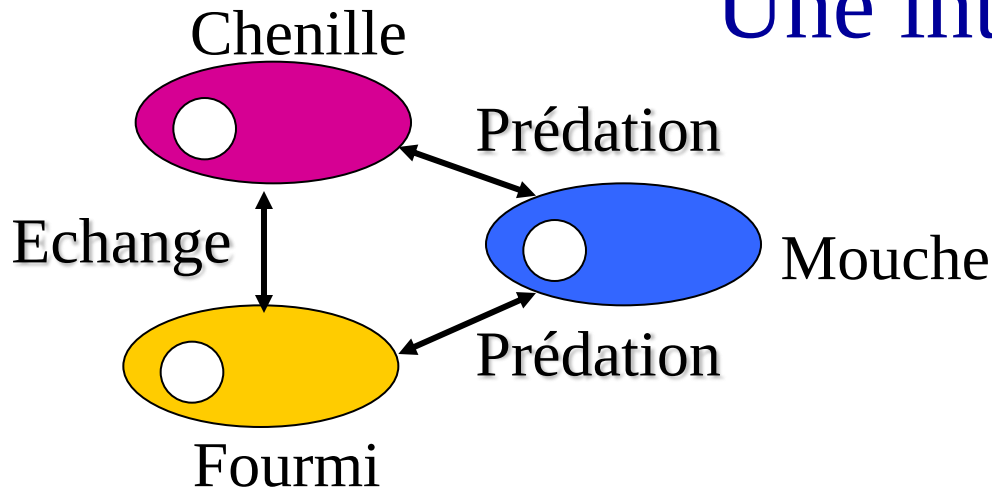
Attaque: A	c c c	B	a
Défense: B	c c c b	A	a b
	2+2+2-1		2-1
Score	5		1



Conséquence: B transfère à A la majorité de ses ressources
A transfère à B certains de ses surplus



Une interaction triangulaire

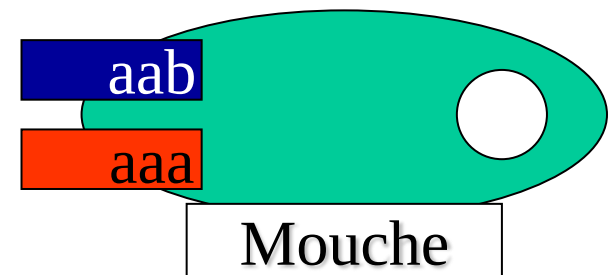
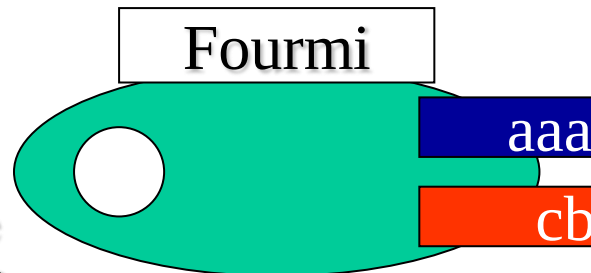
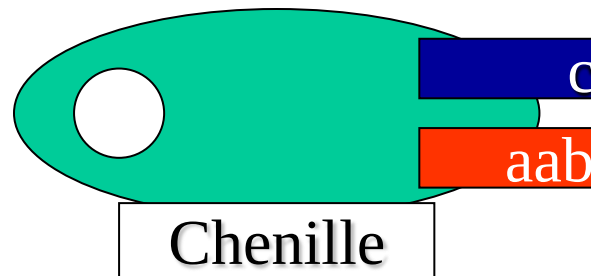


La Mouche met ses larves sur la chenille et elles dévorent la chenille

La fourmi dévore les mouches

La chenille exsude un liquide dont la fourmi est friande

- Peut-on concevoir des étiquettes telles que la relation soit préservée? >> OUI
- Peut-on préserver une relation persistante de ce type? >> OUI, mais pas toujours.
- Peut-on observer la formation d'une relation triangulaire à partir d'une relation plus simple? >>??



Rendre le modèle plus complexe

*

- ◆ Moyens pour que les agents adhèrent les uns aux autres et forment des agrégats fonctionnellement distincts
- ◆ Possibilité pour un agent de transformer des ressources pour simuler la transformation des ressources abondantes en ressources rares, moyennant un coût
- ◆ Extension de la définition de la chaîne du « chromosome », pour pouvoir active/désactiver des parties afin d'intervenir dans le processus d'interaction des agents

Le tout, pour s'approcher du mode de fonctionnement des cellules d'un organisme

Rendre le modèle plus complexe...

*

...mais en gardant la simplicité des agents de base:

- la structure en chaîne simple
- la reproduction limitée par la disponibilité des ressources
- l'interaction via des étiquettes

La solution:

Traiter les agents comme des sous-systèmes d'une entité plus complexe

Des agents à structure fixe agrégés dans une structure variable plus complexe: **le multi-agent**

Le multi-agent aura un chromosome qui sera passé à sa descendance et qui décrit le type d'agents qu'il peut contenir mais le descendant contiendra seulement certains de ces agents

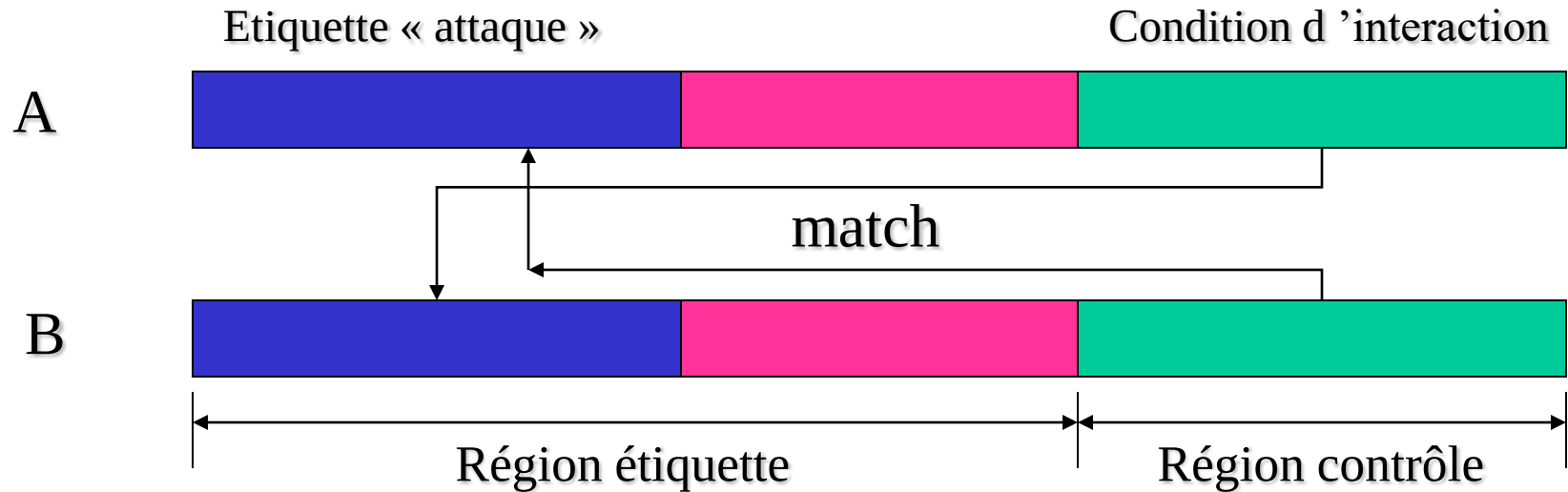
Rendre le modèle plus complexe...

*

Il faut pour cela que les agents soient pourvus de mécanismes supplémentaires:

- **interaction sélective**: condition d'interaction qui contrôle une étiquette spécifique
- **transformation de ressources**: par l'obtention des ressources nécessaires pour former un « segment de transformation » dans son chromosome
- **adhésion**: par une étiquette spécifique d'adhésion, le niveau d'adhésion est fonction du match des étiquettes
- **couplage**: condition de couplage via l'étiquette d'interaction; une paire ayant assez de ressources pour se reproduire, vont ensemble produire un descendant par cross-over si les conditions de couplage sont satisfaites
- **réplication conditionnelle**: condition de réplication qui contrôle l'activité d'autres agents dans un multi-agent; ce mécanisme permet de simuler l'activation/désactivation des gènes

L'interaction sélective

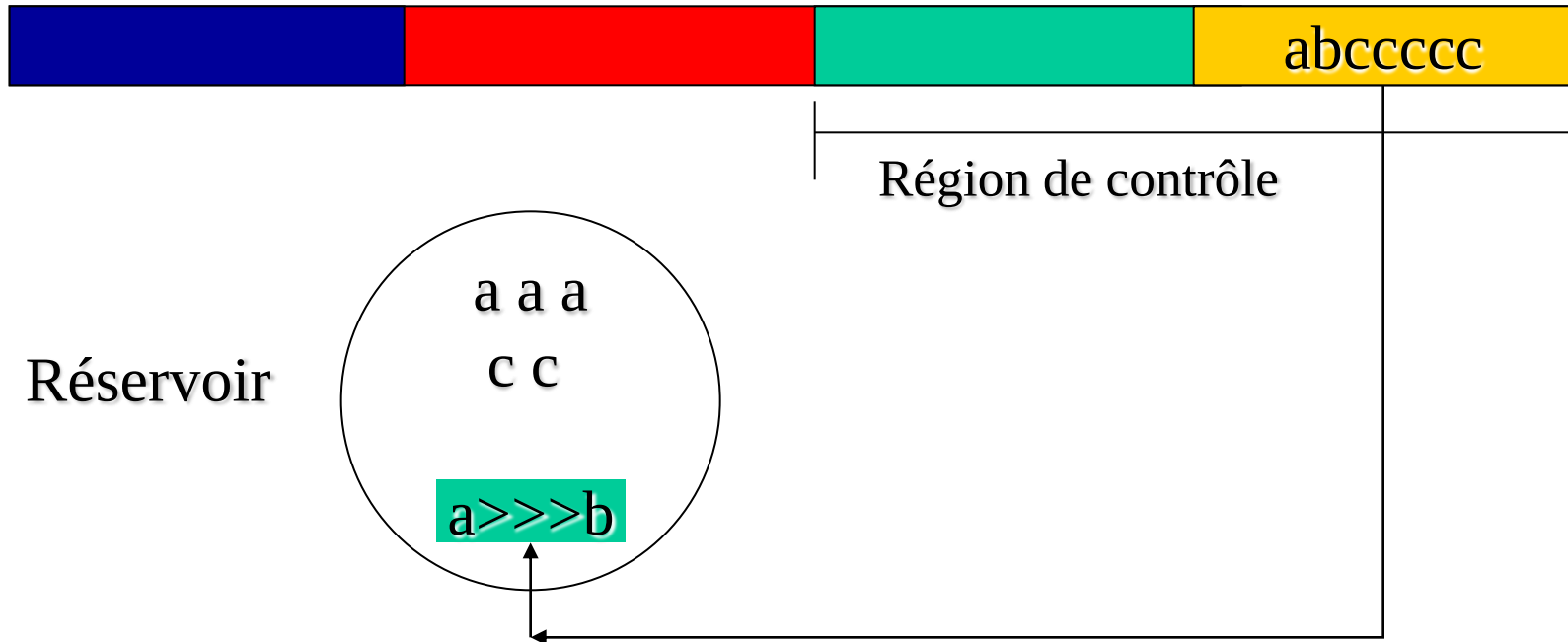


Si la condition d'interaction de l'agent A correspond à l'étiquette d'attaque de l'agent B, alors on calcule le score attaque/défense

On peut avoir des « jokers » dans la chaîne de contrôle (ex: `abb**` de qui veut dire que le 4ème et 5ème élément de la liste sont indifférents)

La transformation de ressources

Chromosome



- La chaîne de contrôle contient les deux ressources (a et b) et la condition à satisfaire (ccccc)
- La transformation a lieu seulement dans la limites des ressources « a » dans le réservoir
- La transformation est payante seulement si elle est assez **rapide** et si le chromosome de l'agent demande **plusieurs copies** de la ressource manquante (paramètres supplémentaires nécessaires)

L'adhésion

L'adhésion permet de constituer des agrégats d'agents, des structures multi-agents

Dans un agrégat, les agents peuvent être spécialisés.

Si un agent est spécialisé en attaque et un autre en obtention de ressources, et si ces agents échangent des ressources de façon appropriée, alors l'agrégat va obtenir et protéger plus efficacement et donc pourra se reproduire plus vite.

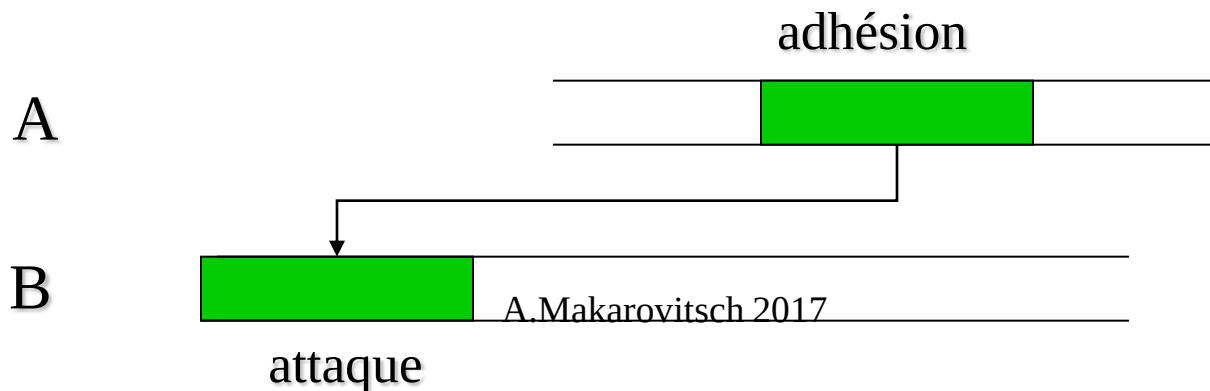
L'adhésion peut être sélective et des couches peuvent se former

L'adhésion se fait en utilisant une étiquette « adhésion » dans le chromosome

l'adhésion peut être imparfaite

si le score est faible : pas d'adhésion

si le score est fort : configuration dépendante de frontières

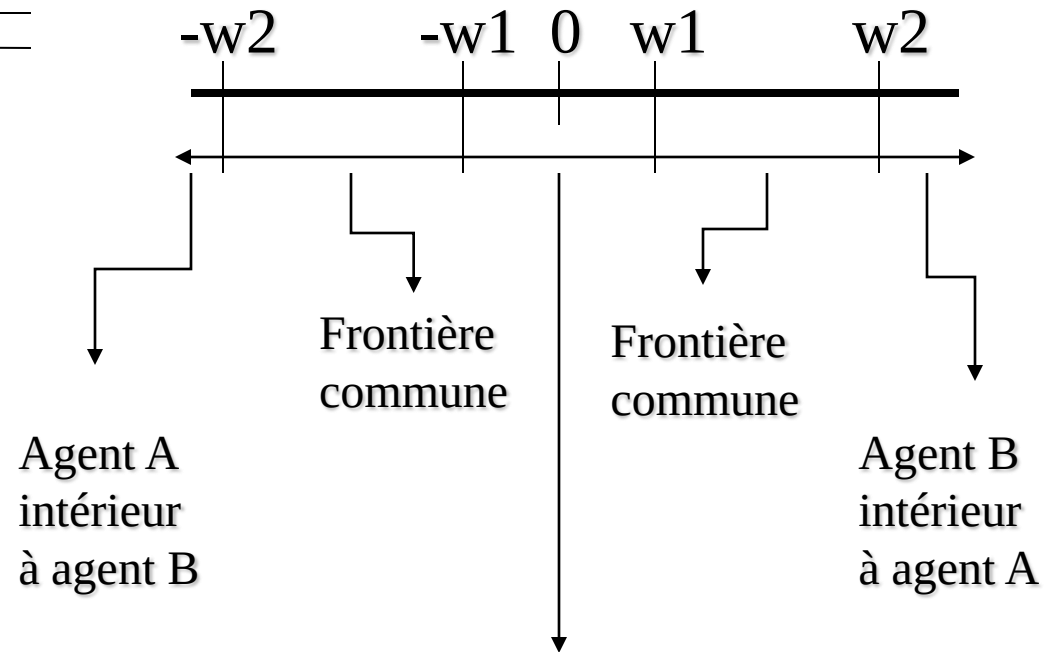
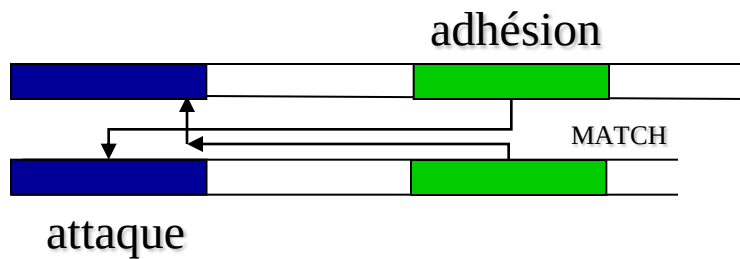


L'adhésion

L'agencement en couches des agents se fait en mettant des frontières.

Les frontières contraignent les actions des agents.

Assigantion d'une frontière à chaque agent lors de sa formation



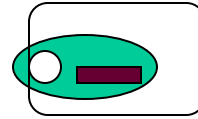
L'adhésion

*

Score faible: l'agent est
rejeté de l'agrégat

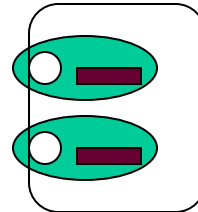
Score moyen et proche: l'agent
est placé dans même frontière

Si scores divergents mais
hauts: l'agent à score plus faible
placé sur frontière à l'intérieur
(quitte à en créer une)

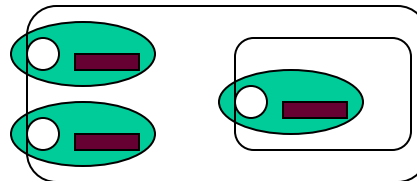


(1)

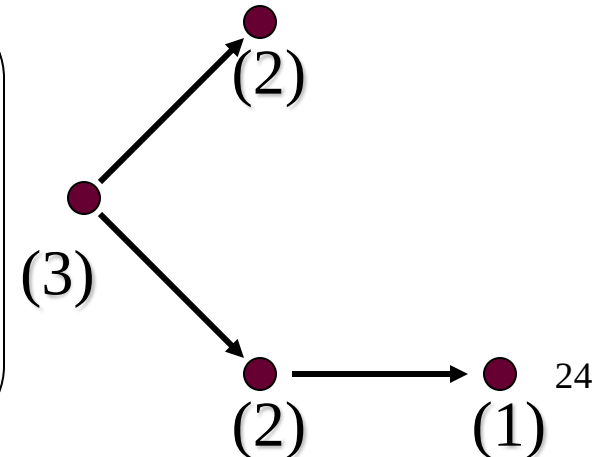
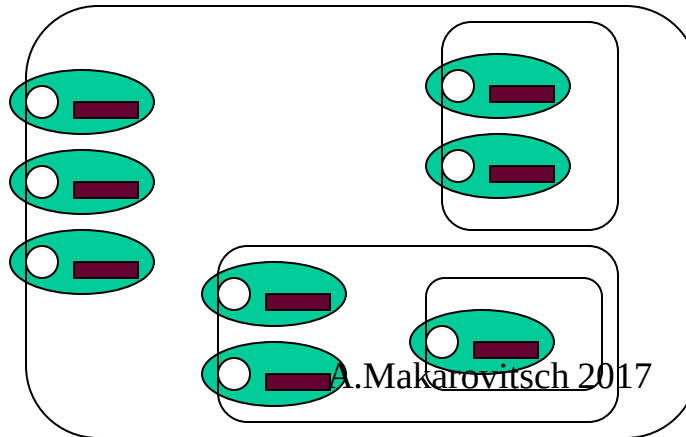
Nombre d'agents
dans la frontière



(2)

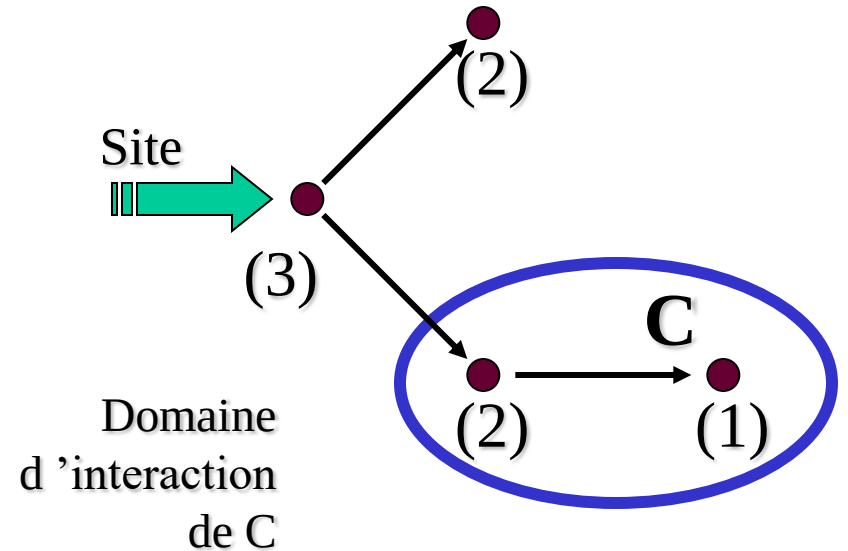
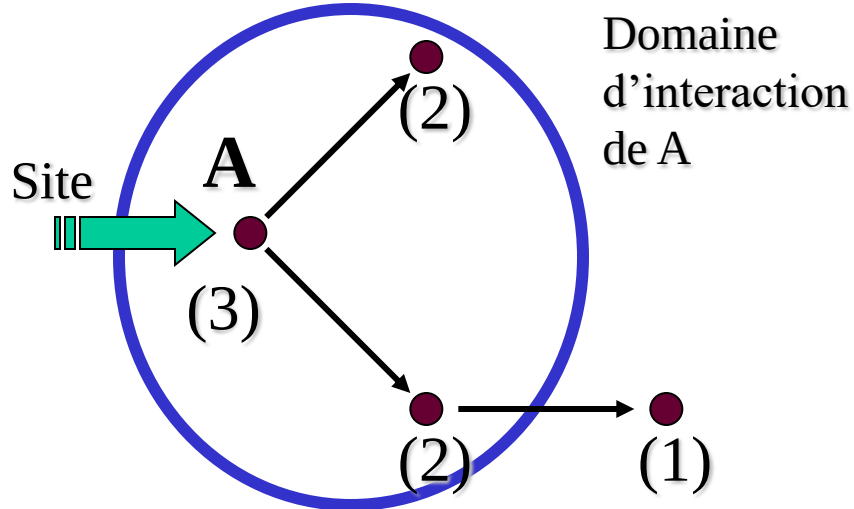
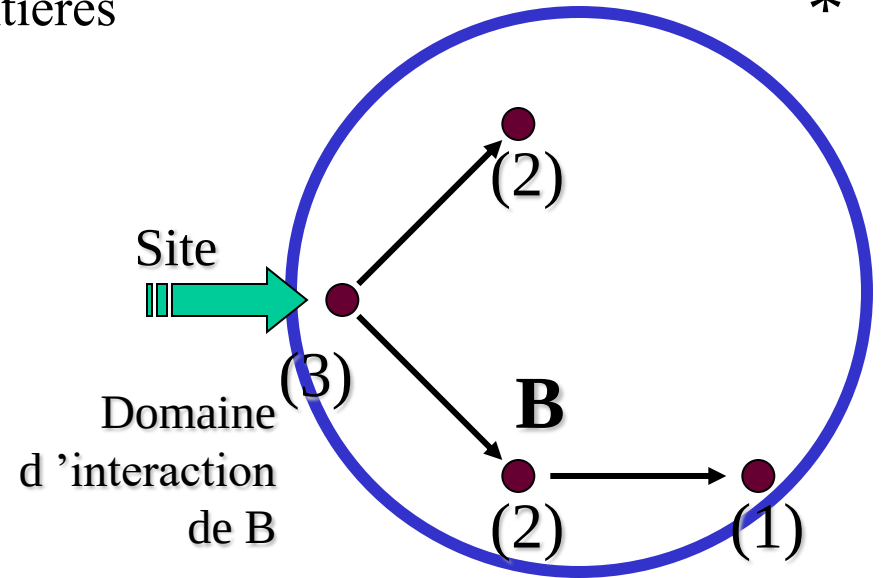
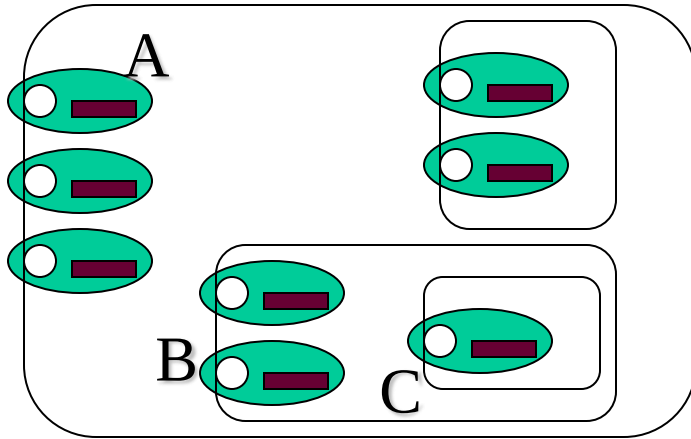


(2) → (1)



L'adhésion *

Un agent ne peut interagir qu'avec des agents d'une même frontière ou de frontières adjacentes

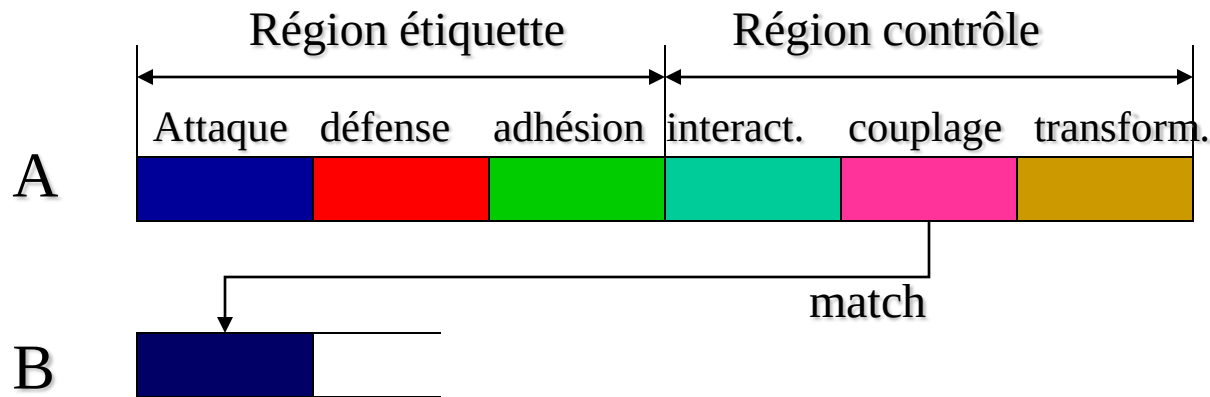


Couplage sélectif *

Choix parmi les candidats au couplage.

Couplage possible à partir du moment où un agent a assez de ressources pour se reproduire.

Même mécanisme de test en utilisant une condition de « couplage ».



Le couplage a lieu seulement si les conditions des deux agents sont satisfaites.

Procédure:

- choix au hasard parmi ceux qui sont prêts et dans une même zone d'interaction
- seuil de sélection qui permet diverses voies d'évolution
- copie des chromosomes >> cross-over, mutation >> 2 descendants rajoutés

Problème: surpopulation dans les multi-agents

Solution: découplage naissances/morts tirage au hasard pour la mort

La réplication conditionnelle

But: Construire un modèle simplifié de l'embryogénèse des métazoans dans ECHO (de l'œuf au multi-cellulaire)

> toutes les cellules ont les mêmes chromosomes

Problèmes: Processus complexe

- brisures de symétrie
- opérations conditionnelles/combinatoires

Outillage mathématique de description inadapté

Idées:

- travailler avec des modèles informatiques directs
- travailler sur le mécanisme d'activation/désactivation des gènes

Gène actif >> Production d'enzymes

>> nouvelle structure

>> activation/désactivation d'autres gènes

- le même chromosome avec certaines parties activées

La réplication conditionnelle

Comment modéliser ces idées dans ECHO, sachant que les agents de base sont trop simples?

Nouvelle notion: Multi-agent (M-A)

Le chromosome du M-A ne doit pas dépendre directement des A-P présents dedans; Le M-A doit pouvoir changer d'une génération à l'autre

- les agréger

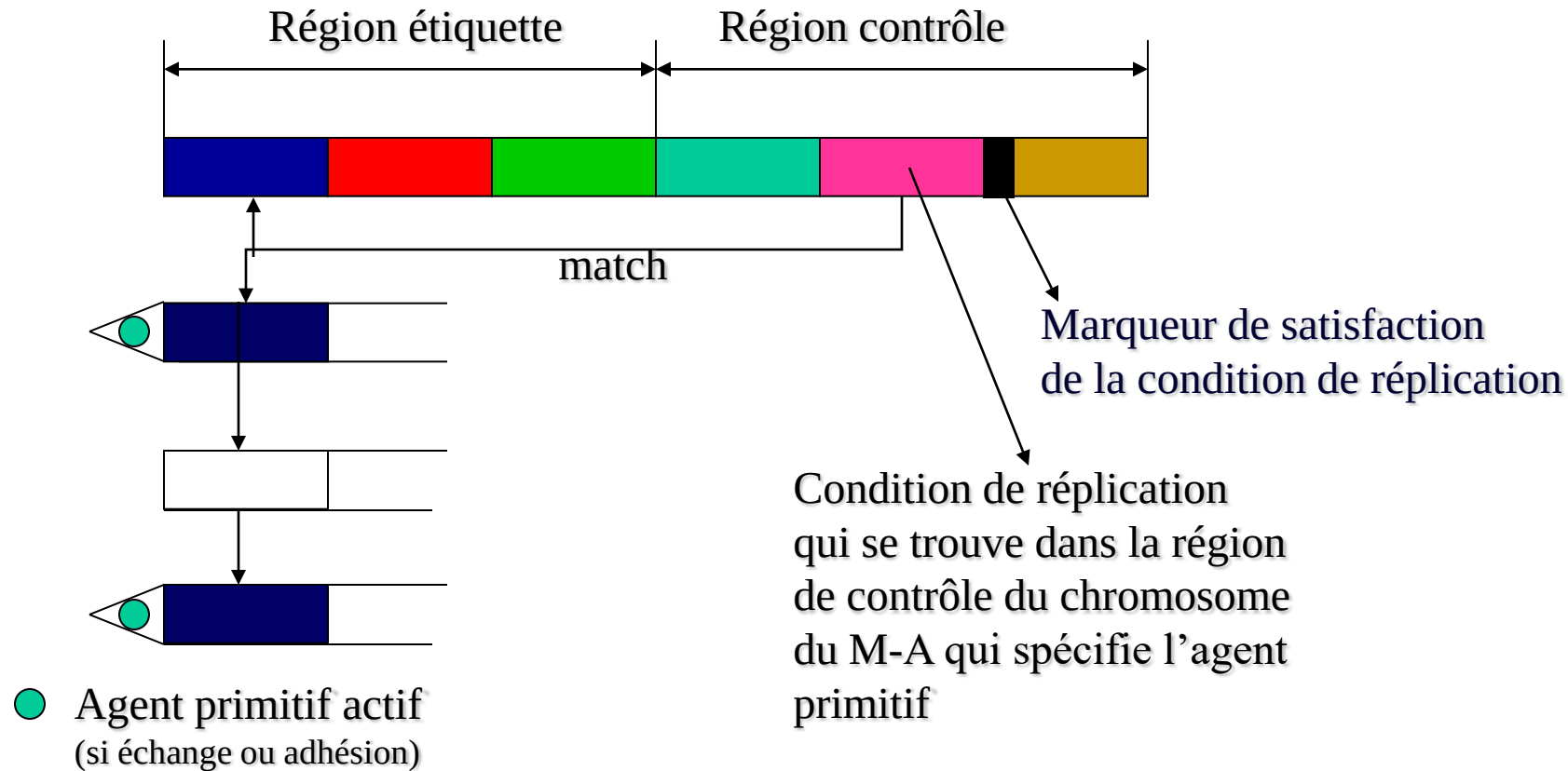
conditionner le fonctionnement de l'agrégat par le chromosome qui est la concaténation des chromosomes des agents qui le composent

- les agents de base deviennent des primitives (A-P)

souhait d'avoir une descendance avec des ensembles d'agents primitifs différents de ceux des parents

Le chromosome du M-A doit décrire tous les A-P que le M-A pourrait contenir, sous différentes conditions
Il reste fixe à travers les générations avec certaines parties activées en fonction des différents M-A

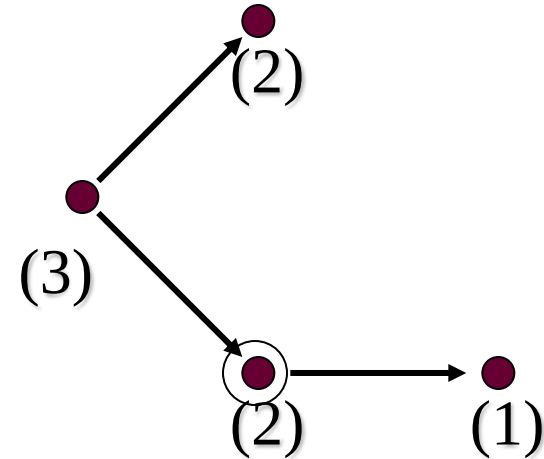
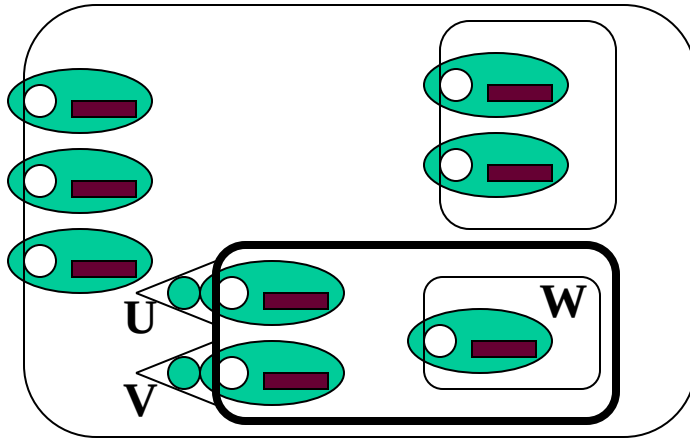
La réplication conditionnelle



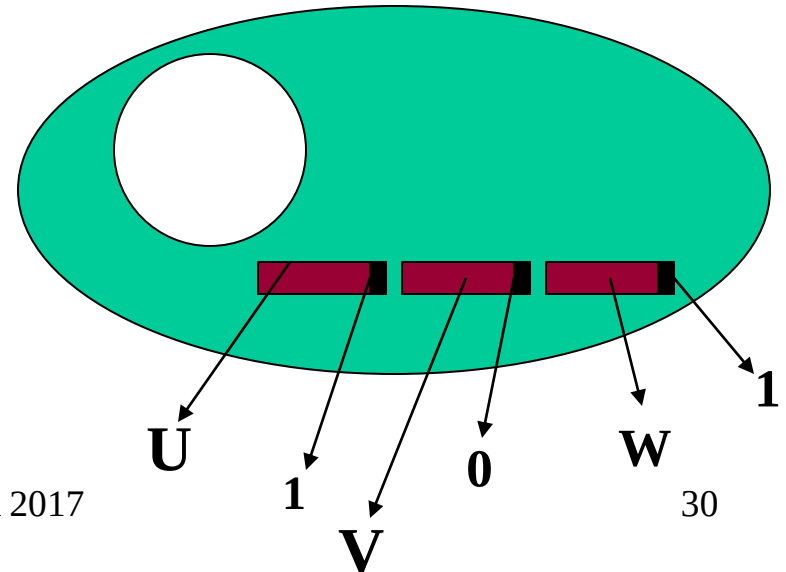
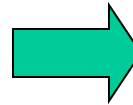
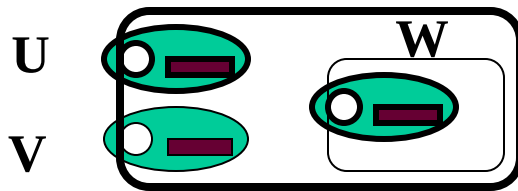
Le nouvel M-A n'aura pas les A-P qui n'auront pas satisfait les conditions de réplication

- Chaque condition de réplication satisfaite aura son marqueur à 1
- Réplication seulement si la condition de l'A-P est satisfaite par l'activité d'un autre agent du M-A

La réplication conditionnelle



↓ Réplication



Cond. Réplication agents

U
V
W

Satisfaites par

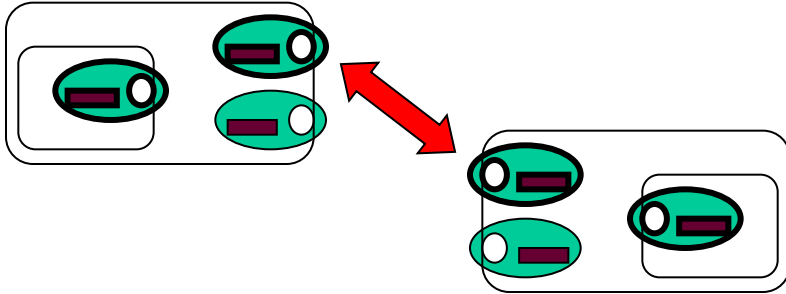
U, V
W
V

A.Makarovitsch 2017

La réplication conditionnelle

Interaction des M-A

© Comment déterminer les capacités d'adhésion des M-A?

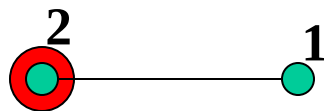
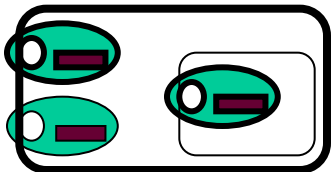


✓ Par les agents primitifs actifs (seuls les A-P qui ont des marqueurs à 1 interagissent)

© Comment distribuer les ressources d'un réservoir de M-A pour sa reproduction?

✓ Les ressources d'un A-P sont disponibles pour la reproduction de toutes les parties du chromosome du M-A

© Comment distinguer un M-A d'un agrégat (pour connaître les limites d'utilisation des réservoirs)?



✓ Par les frontières (leur marquage) l'A-P est traité comme le plus simple M-A

- ECHO a une géographie: sites en réseau
- Les sites contiennent des ressources et des agents
- Les ressources sont renouvelables (lettres d 'alphabet)
- Les agents primitifs ont une structure
(chromosome = chaîne de lettres)
et un réservoir pour stocker les ressources acquises par interaction
avec le site et les autres agents
- Les agents se reproduisent quand les ressources du réservoir
permettent de copier le chromosome

➤ Le chromosome contient un ségment d'étiquettes et un segment de contrôle:

- ☀ trois etiquettes: **attaque , défense, adhésion**

- ☀ trois conditions d'interaction:

 - échange, couplage, réplication**

 - (qui sont testées avec l'étiquette « attaque » des autres)

- ☀ la capacité de **transformation de ressources**

 - (autant qu'il y en a, à vitesse donnée)

- ☀ possibilité **d'activer/désactiver** par le marqueur

➤ L 'étiquette d 'adhésion mène à la formation de **frontières**

➤ Il y a possibilité d'**agrégation** des agents en multi-agents

L'agent

*

