

# Programmation orientée agents #3

## Architectures réactives

M1 S2 - Université de Montpellier II

FMIN108 - Master d'informatique

**Jacques Ferber**

**Version 2.7.3. Oct 2019**

# Notion d'architecture d'agent

## ◆ Question: comment programmer un agent?

### ◆ 1<sup>ère</sup> solution:

- Programmer en faisant au mieux..
  - ☞ Difficile de mettre au point (car tout est mélangé)
  - ☞ Pas d'abstraction

### ◆ 2<sup>ème</sup> solution:

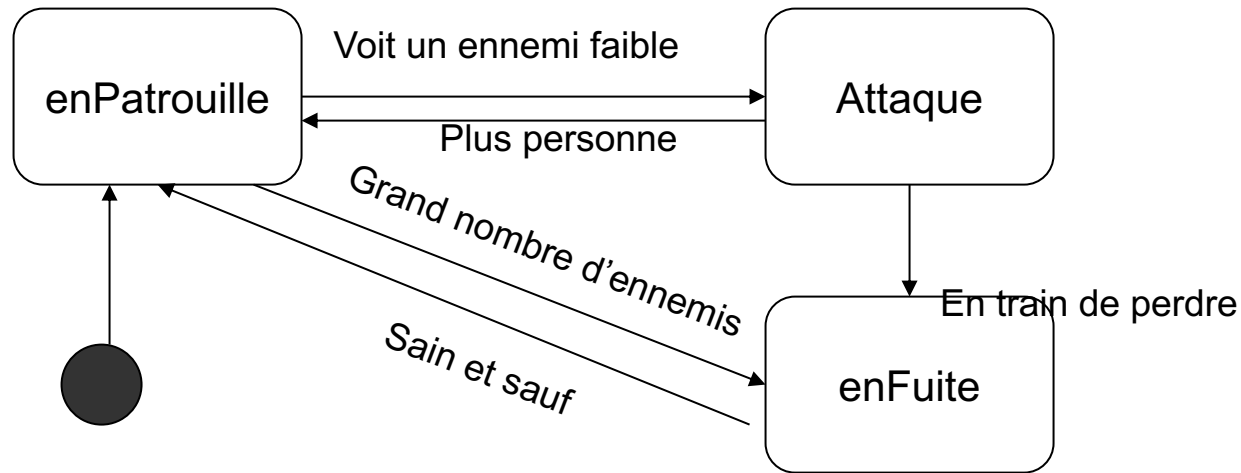
- Identifier des patterns de programmation caractéristiques
  - ☞ Permet d'avoir une approche plus méthodique
- => définit des types d'architectures caractéristiques

# Architectures réactives

- ◆ **Architectures d'agent qui ne prennent pas en compte la notion de représentation**
  - (Ou de manière très simplifiée)
- ◆ **Deux approches de base :**
  - Partir d'une notion d'état interne:
    - ☞ *FSM (Finite State Machine)*
  - Partir d'une relation aux perceptions
    - ☞ *Architecture de subsumption*
    - ☞ Architecture neuronale
- ◆ **Autre possibilité:**
  - Adaptation:
    - ☞ *Tâches en compétition*
  - Prise en compte de la satisfaction de l'agent
    - ☞ Eco-résolution
    - ☞ Satisfaction / altruisme
  - ... et bien d'autres

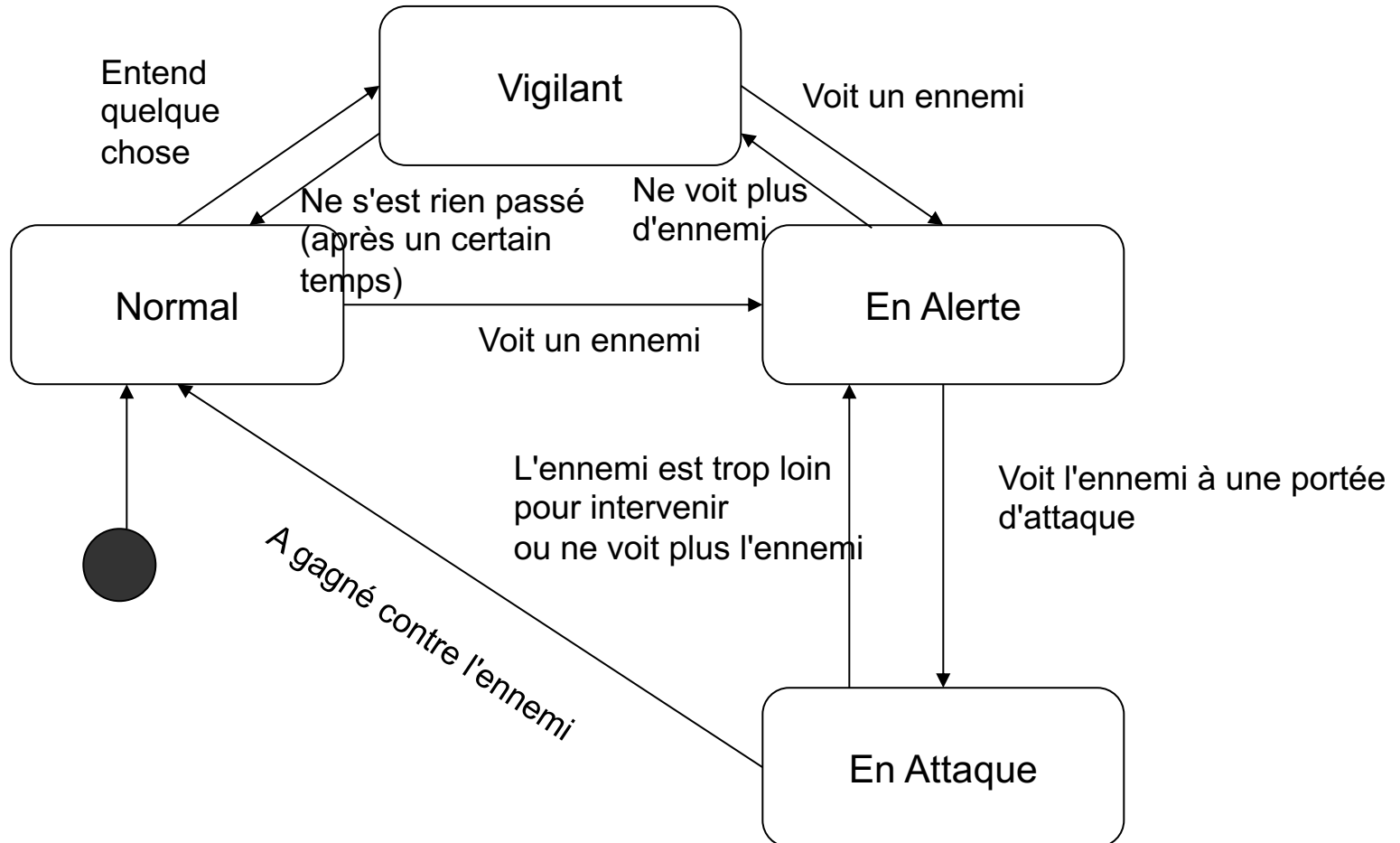
# Machines à états finis (FSM, automates)

- ◆ **Etat de l'automate** : une activité de l'agent
- ◆ **Evénement**: quelque chose qui se passe dans le monde extérieur (ou intérieur à l'agent) qui peut être perçu. Sert de déclencheur (trigger) d'une activité.
- ◆ **Action**: quelque chose que l'agent fait et aura pour conséquence de modifier la situation du monde et de produire d'autres événements.
  - L'action est liée directement à l'activité

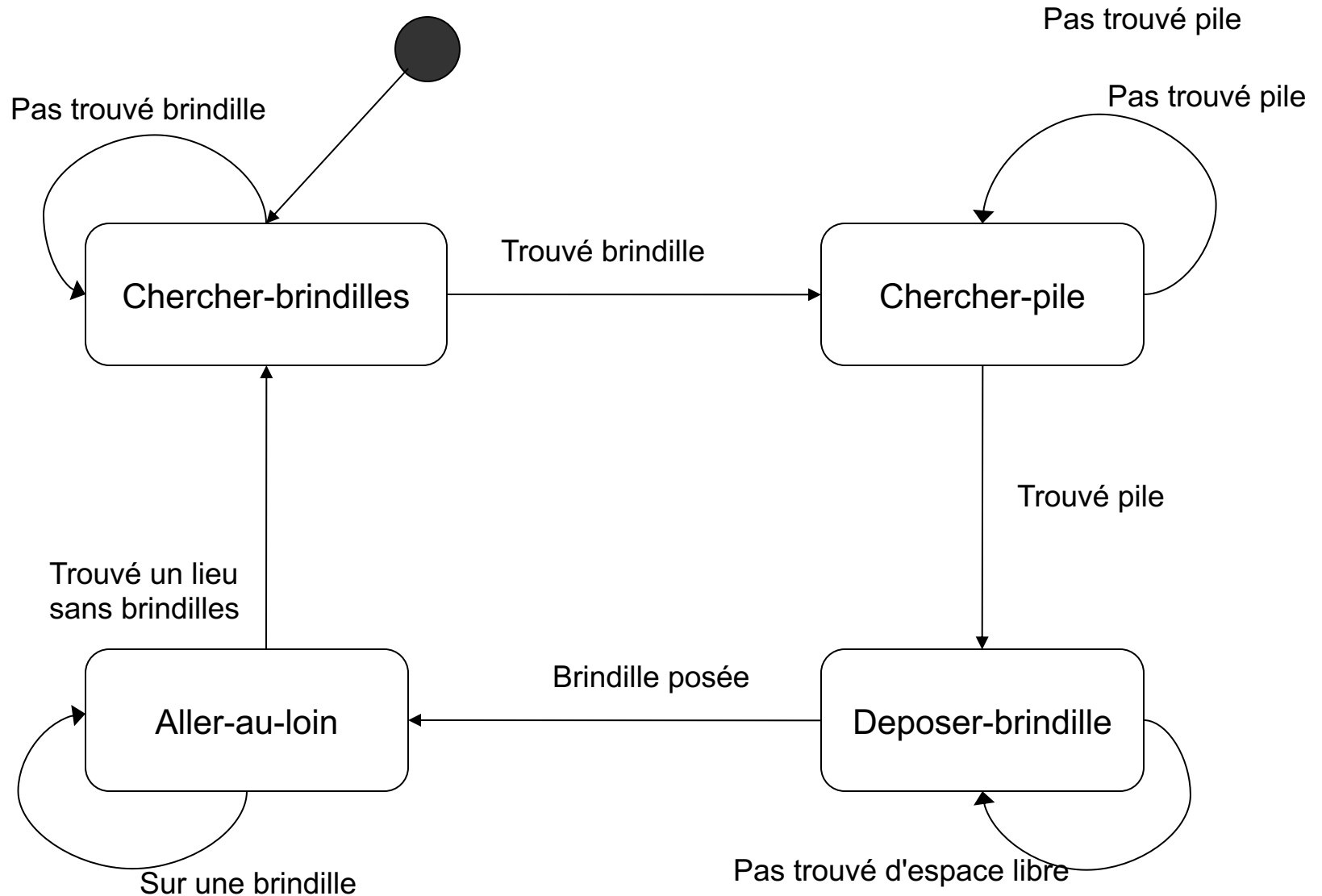


# Autre exemple

## ◆ Un garde dans un jeu d'infiltration



# Les termites en FSM



# Implémentation de FSM #1

```
void Garde::FSM(TypeEtat etat){
    switch(etat){
        case etat_enFuite:
            echapperEnnemis();
            if (sauf())
                changerEtat(etat_Patrouille);
            break;
        case etat_Patrouille :
            patrouiller();
            if (menace()) {
                if (plusFortQueEnnemis())
                    changerEtat(etat_attaque);
                else
                    changerEtat(etat_enFuite);
            } break;
        case etat_attaque :
            seBattre();
            if (ennemisVaincus())
                changerEtat(etat_enPatrouille);
            else if (plusFaibleQueEnnemis())
                changerEtat(etat_enFuite);
            break;
    } //end switch
}
```

## ◆ Coder l'automate directement dans le code

- grand 'switch' en fonction des états

# Termites en FSM: Le code

## ◆ Implémentation en utilisant une variable "ctask"

```
turtles-own [ctask]

to go
  ask turtles
  [run ctask]
end
```

```
to chercher-brindilles
  ifelse pcolor = yellow
  [ set pcolor black
    set color orange
    fd 20
    set ctask "chercher-pile" ]
  [wiggle fd 1]
end
```

```
to get-away
  ifelse pcolor = black
  [ set task "chercher-brindilles" ]
  [wiggle fd 1]
end
```

```
to chercher-pile
  ifelse pcolor = yellow
  [set ctask "deposer-brindille"]
  [wiggle fd 1]
end
```

```
to deposer-brindille
  ifelse pcolor = black
  [ set pcolor yellow
    set color white
    fd 20
    set ctask "aller-au-loin" ]
  [wiggle fd 1 ]
end
```



# Implémentation à l'aide de tables

- ◆ **Construit une table correspondant au système des états**
  - Un interprète va sélectionner l'état courant dans la table et déclencher la chose à faire ensuite
  - Si pas de condition vérifiée on demeure dans le même état

Etat courant	Action	Condition	Etat suivant
enFuite	fuirEnnemis	Sauf	Patrouille
Patrouille	Patrouiller	Menace ET ennemisPlusfort	enFuite
--		Menace Et ennemisMoinsfort	enAttaque
enAttaque	seBattre	ennemisVaincus	Patrouille
--		ennemisPlusFort	enFuite

# Approche Objet

## ◆ Classe Etat

- Chaque activité (état) est implémenté sous la forme d'une classe
- Création ou recherche dans un dictionnaire

```
class Etat{
    abstract void exec(Agent ag);
}

Class EnFuite extends Etat{
    void exec(Agent ag){
        ag.echapperEnnemis();
        if (ag.sauf())
            ag.changerEtat(
                Etat.look("EtatPatrouille"));
    }
}

Class Agent {
    Etat ctask;

    void do(){
        ctask.exec(this);
    }
    void changerEtat(Etat etat){
        ctask = etat;
    }
    boolean sauf(){... }
    void echapperEnnemis() { ... }
}
```

# Améliorer le FSM

## Avoir une machine totalement générique

- Tout est codé dans les états et les transitions..

```
Class Agent {
    Etat etatCourant;

    void go(){
        while (!etatCourant.etatFinal())
            etatCourant.exec(this);
    }
    void changerEtat(Etat etat){
        etatCourant = etat;
    }
}
```

```
class Etat {
    Agent ag;
    List transitions;
    void exec(Agent ag){
        boolean tvalide=false;
        for (Transition x : transitions)
            if x.valide(){
                x.execTransition()
                tvalide=true; break;
            }
        if !tvalide
            this.activite();
    }
    abstract void activite();

    void etatFinal(){
        return false;
    }
}

class Transition
    Agent ag;
    Etat etat;
    void execTransition(){
        ag.changerEtat(etat);
        etat.activite();
    }

    abstract boolean valide();
}
```

# Application

## ◆ Application à la patrouille

```
class Etat-EnFuite extends Etat{
    void exec(){
        // fuir..
    }
}

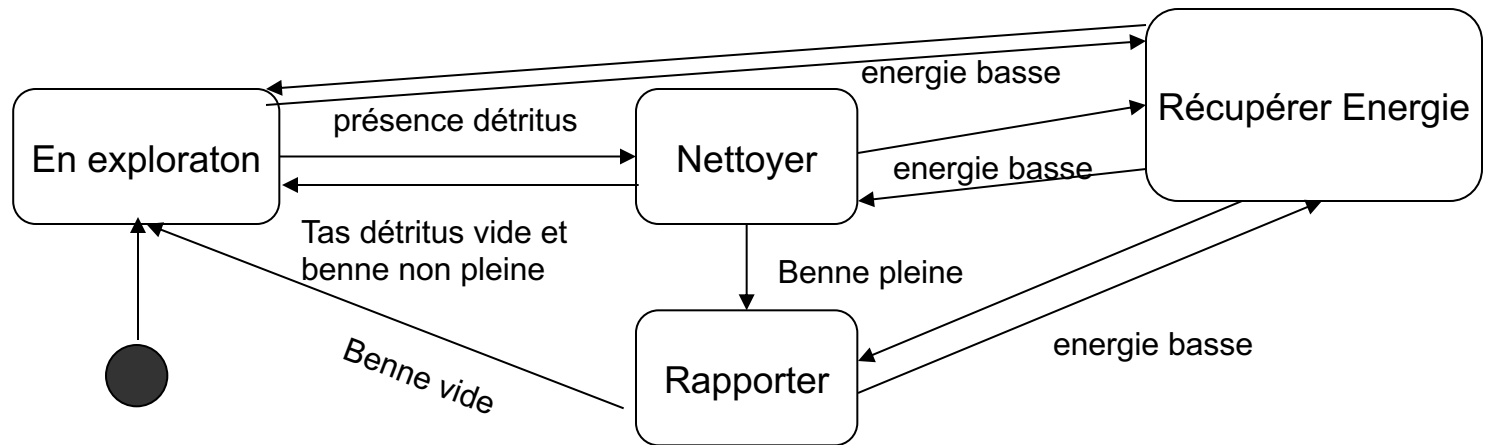
class Etat-EnPatrouille extends Etat{
    void exec(){
        // patrouiller..
    }
}
```

# Machine à états finis hiérarchique

- ◆ Si l'on a besoin de caractériser des "modes" comportementaux différents, exprimés de manière hiérarchique

- Ex:

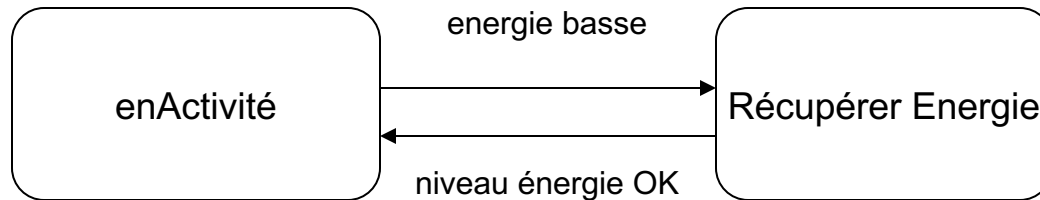
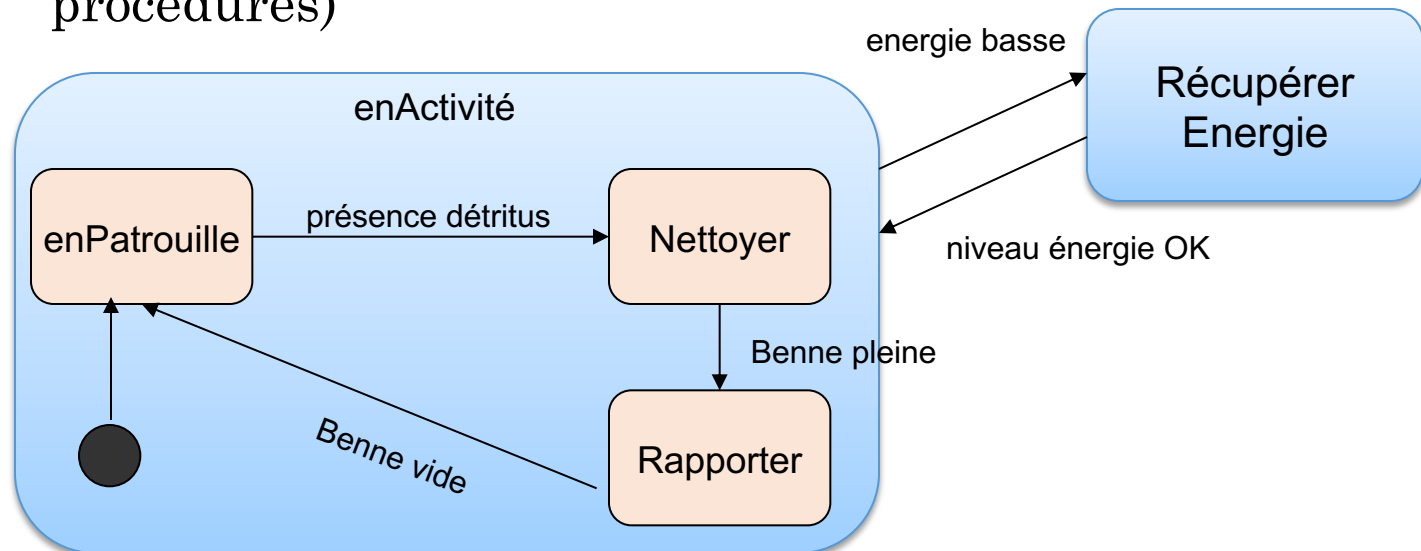
☞ Un robot doit récupérer de l'énergie quoi qu'il fasse par ailleurs



# FSM hiérarchique

## ◆ Construction d'activités correspondant à un automate

- Nécessite d'implémenter une pile (fonctionnement des procédures)



Mode 'enActivité'

Mode 'Récupérer énergie'

# Exemple de FSM hiérarchique

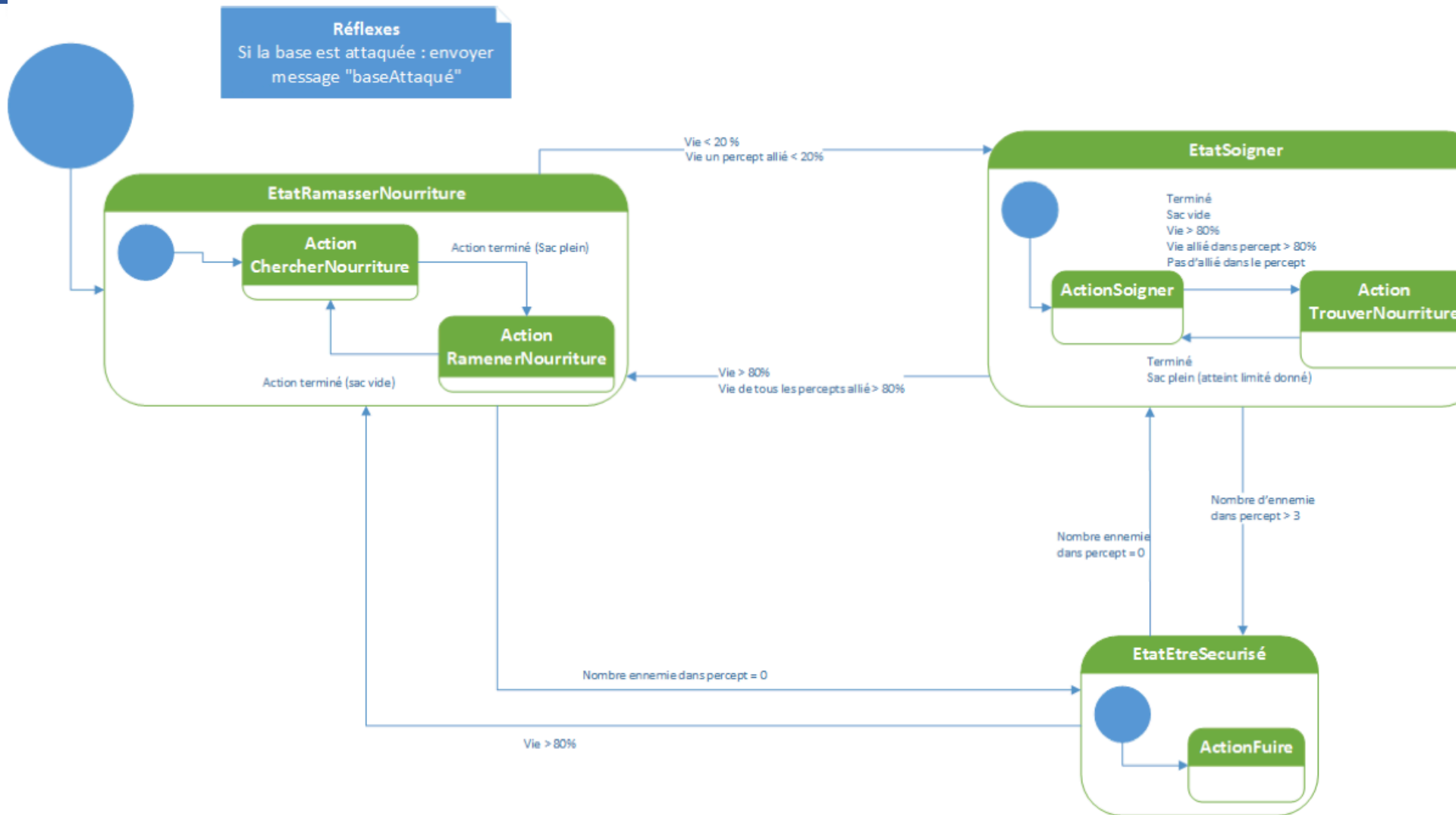


Diagramme d'états-transitions - Exemple de comportement pour un WarExplorer

Exemple dans vvarbot

# FMS Hiérarchique

- ◆ **Nécessite d'implémenter une pile d'états**
  - Pour conserver l'état d'où l'on est parti
  - Fonctionnement standard des appels de procédures
- ◆ **Nécessite d'implémenter des mécanismes d'exception**
  - Quel que soit l'état situé dans le FSM de "enActivité", il faut dépiler le FMS courant



# Noyau d'une FSM hiérarchique

```
turtles-own [stack ctask]

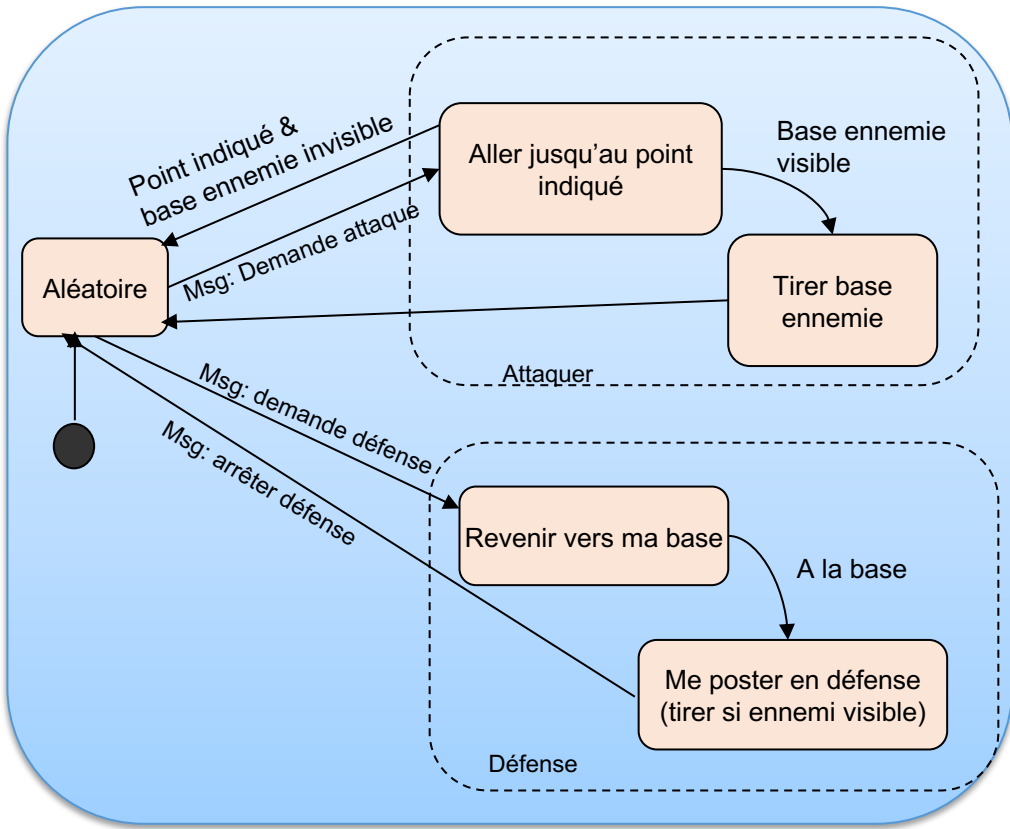
;; penser à initialiser l'agent
;; dans le setup:
  set stack []
  set ctask "<proc initiale>"

to go-mode [mode] ;; en fait la proc initiale du mode
  if ctask != mode [
    set stack fput ctask stack ; push l'état ancien
    set ctask mode
  ]
end

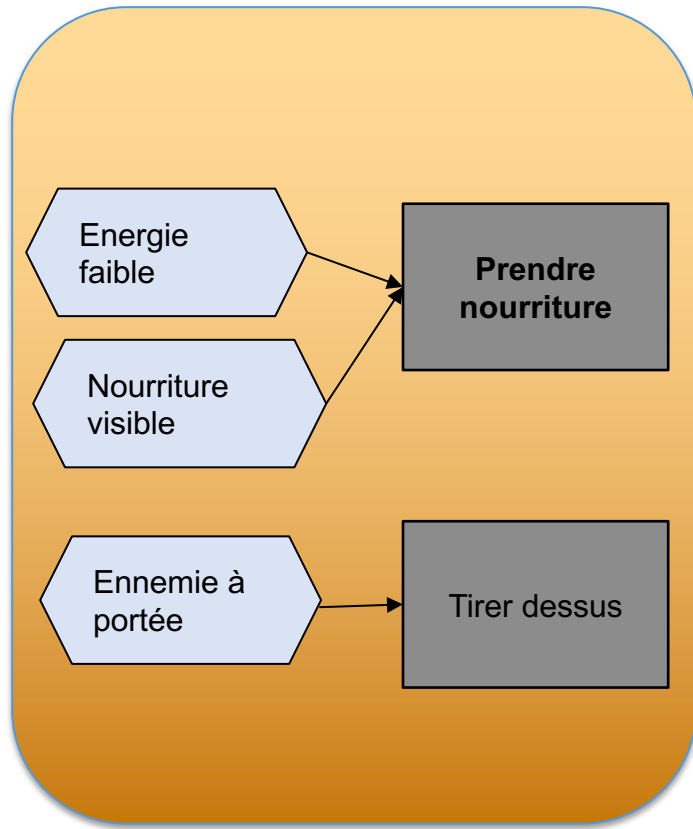
to return-mode
  ifelse empty? stack
    [;; s'arreter ]
    [set ctask first stack
     set stack bf stack ]
end

to go
  ask turtles [run ctask]
end
```

# FSM + réflexes



FSM



Réflexes

# FSM hiérarchique à réflexes

```
turtles-own [stack ctask]
```

```
;; autres procédures de changement de mode comme poru la FSM
```

```
;; hierarchique
```

```
to go
```

```
  ask turtles [
```

```
    reflexes
```

```
    deliberer ;; pour changer de mode prioritaire
```

```
    run ctask
```

```
  ]
```

```
end
```

```
to deliberer
```

```
  ... ;; c'est ici qu'on trouve le passage à des modes plus prioritaire
```

```
  ;; ex: if (energie < energie-min) and not inBase? [
```

```
  ;;           go-mode "revenir-base"
```

```
  ;;   ]
```

```
  ;;
```

```
end
```

```
to reflexes
```

```
  ... ;; on décrit les reflexes à cet endroit...
```

```
end
```

# Différence réflexe - mode

- ◆ **Les réflexes correspondent à une action élémentaire qui peut être faite à chaque tick et qui se termine à chaque tick**
  - Ce n'est pas une activité
- ◆ **Implémentation des modes sous la forme de FMS hiérarchique**
  - Retour à l'endroit de l'appel
- ◆ **Implémentation des réflexes au début du 'go', du comportement de l'agent**

# Implémentation des réflexes

```
turtles-own [ctask]

;; penser à initialiser l'agentset ctask "<proc initiale>"

to go
  ask turtles [
    do-reflexes ;; gère les actions réflexes.
                ;;Peut aussi changer la tâche courante
    run ctask
  ]
end

to do-reflexes
  .... ;; les réflexes
end
```

# Architectures à partir de perceptions

- ◆ **Considérer que pratiquement toute l'info se trouve dans l'environnement**
  - Action situées
- ◆ **Dirigée par les événements (percepts)**
- ◆ **Donner une grande importance à l'environnement**
  - Buts et obstacles sont dans l'environnement
  - Communication par dépôt de marques (indices et chemins)

# Actions situées

## ◆ Comportement est lié aux événements (percepts)

- Pas de mémorisation de l'environnement
  - ☞ Pur: perception immédiate (pas de mémoire)
  - ☞ Impur (avec apprentissage): mémorisation uniquement des états internes passés..

## ◆ Règles d'action

- Si <état interne> and <état perçu> alors <action>

R1

Si j'ai soif et  
je vois de l'eau sur la table et  
je suis loin de la table  
alors je m'approche  
de la table

R2

Si j'ai soif et  
je vois une bouteille d'eau sur la table et  
je suis près de la table,  
alors je prend la bouteille et je bois

# Actions situées

## ◆ Et si je dois déboucher la bo-uteille ???

R2-A

Si j'ai soif et  
je vois une bouteille d'eau sur la table et  
je suis près de la table,  
alors je prend la bouteille

R2B

Si j'ai soif et j'ai une bouteille d'eau dans la main  
Et la bouteille est décapsulée  
Alors je bois

R2-C

Si j'ai soif et j'ai une bouteille d'eau dans la main  
Et la bouteille est n'est pas décapsulée,  
Alors je la décapsule



# Différence actions situées-FMS

- ◆ **FSM: l'important c'est l'état (l'activité en cours). Et les perceptions contribuent à modifier l'activité**
  - **Avantages:** permet de caractériser un comportement procédural (faire ça, puis ça) qui est déclenché en fonction de conditions extérieures
  - **Inconvénient:** difficultés à prendre en compte ce qui n'est pas décrit pas l'automate
- ◆ **Actions situées: l'important ce sont les perceptions**
  - **Avantages:** permet de prendre en compte l'état immédiat tel qu'il est, là maintenant
  - **Inconvénient:** difficulté à caractériser des suites d'action

# Codage des actions situées

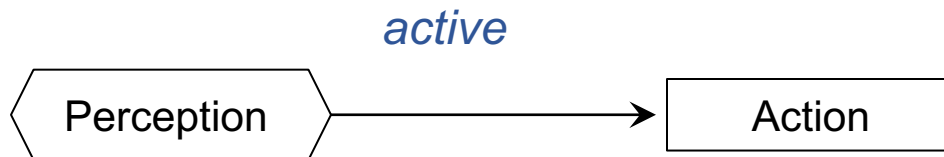
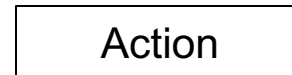
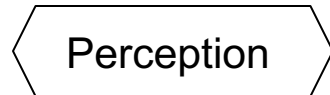
## ◆ Perceptions

- Perceptions externes (vision, ouïe, radars, etc..)
  - ☞ Eventuellement issues d'une phase de reconnaissance.  
Ex: si je perçois un ennemi...
- Capteurs sur des données corporelles du robot..
  - ☞ Ex: si j'ai faim, si mes points de vie < valeur, etc..

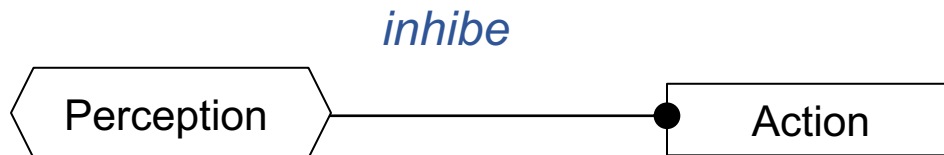
## ◆ Actions (ou tâches)

- Actions élémentaires
  - ☞ Avancer, reculer, fuir, aller vers la perception, etc..
- Actions composites
  - ☞ Rapporter nourriture

# Notation graphique des actions situées

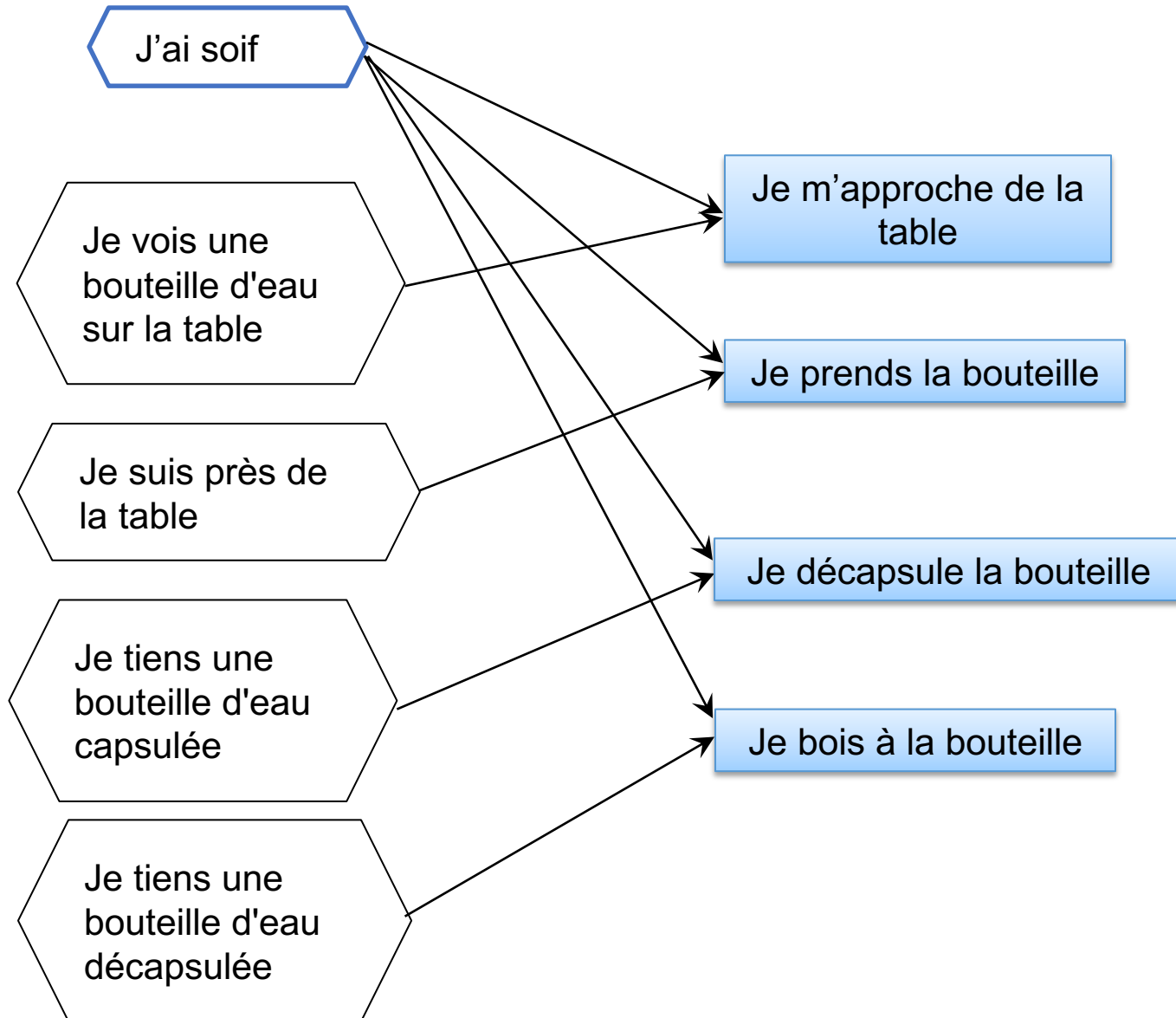


*Si perception alors action*



*Si perception alors  $\neg$ action*

# Exemple de la bouteille d'eau



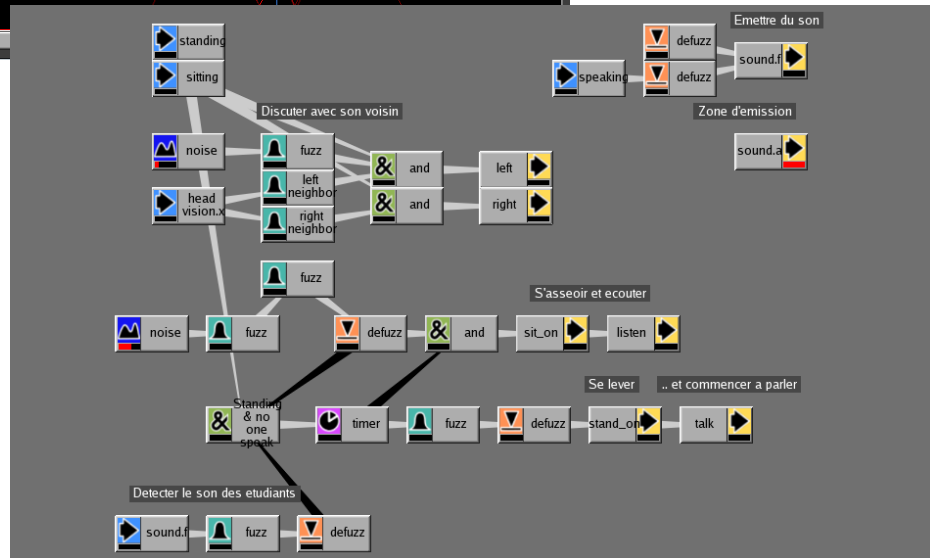
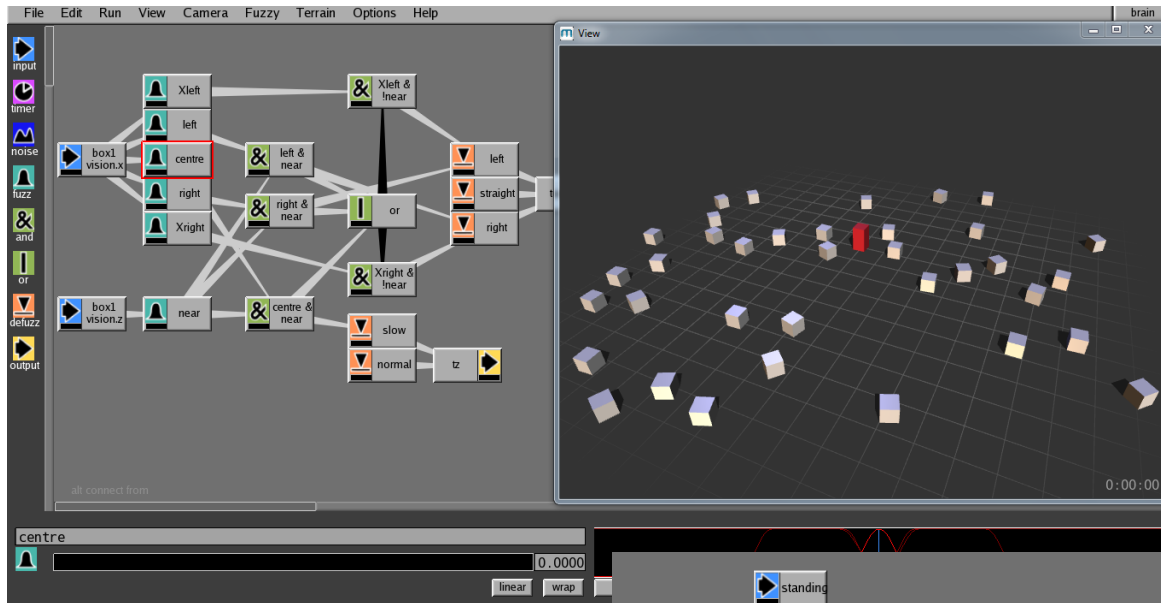
# Ex: architecture de Massive

The image displays the Massive software interface, which is used for creating and managing large-scale virtual worlds. The main window is titled "man" and contains a menu bar with options: File, Edit, Run, View, Camera, Fuzzy, Terrain, and Options. On the left side, there is a vertical toolbar with icons for input, timer, noise, fuzz, rule, or, defuzz, and output. The central area is a complex rule editor for a fuzzy logic system. It features a network of nodes and connections. The nodes include input variables (vision 1, vision 2), fuzzy membership functions (L or near, center or near, R or near), logical operators (&, &), and output actions (stop, slow, go, left, right, no bars, walk, speed, walk to, walk to speed, and, speed, walk to speed, L, R, no 45, 45). The right side of the interface shows a 3D view of a character (a simple humanoid figure) walking through a maze-like environment with various colored walls and obstacles. A small inset window shows a top-down view of the character's path. At the bottom of the interface, there is a control panel with a "source" field, a "pos" field, a "speed" field, and a "range" field with values 0.0000 and 1.0000. The bottom right corner of the interface has a "stopped" status indicator and a "0:00:20" timer. A "CLOSE" button with a mouse cursor icon is located in the bottom right corner of the overall image.

Image 5 of 6

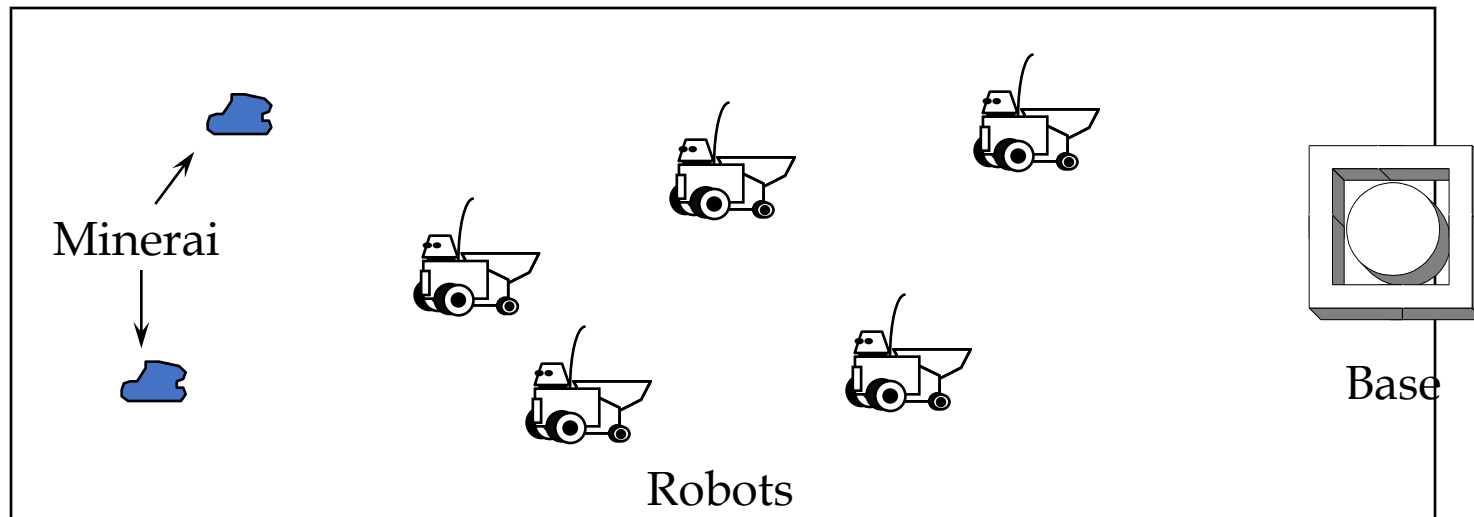
CLOSE ✕

# Massive - Brain

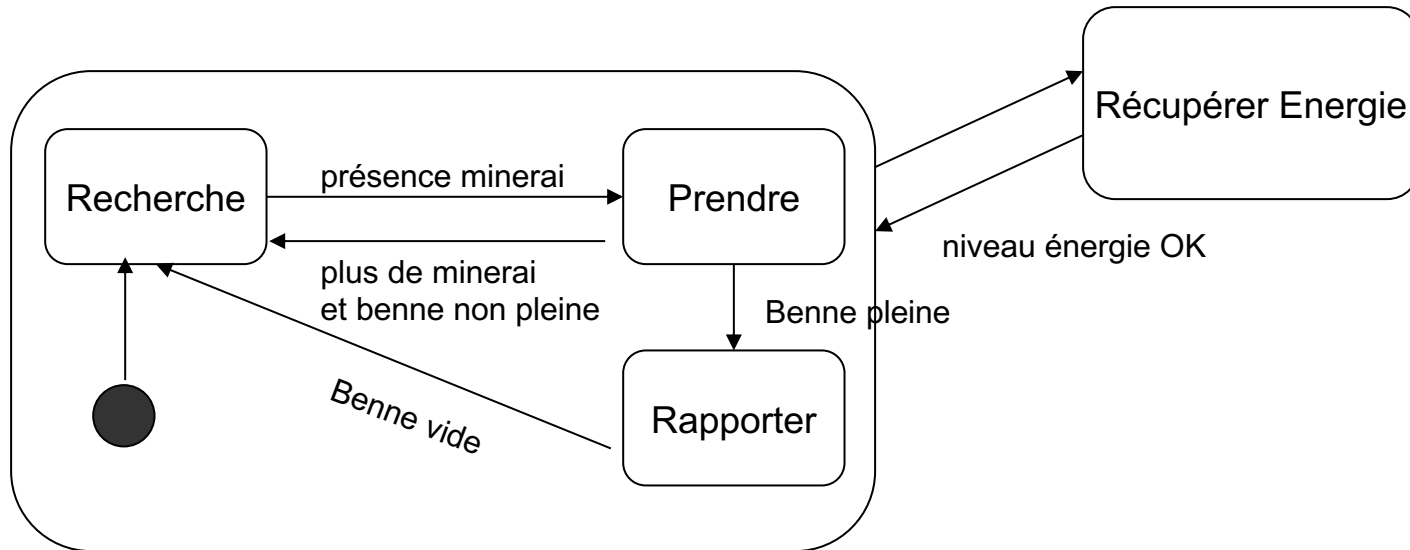


# Robots (fourmis) explorateurs

- ◆ **Un ensemble de robots doivent collecter et ramener des échantillons de minerai à la bases** (identique au pb du fourragement des fourmis)
- ◆ **Problème:** comment décrire leur comportement et leur technique de coordination afin qu'ils remplissent leur mission.
- ◆ **Hypothèses:**
  - ◆ Ils ne peuvent pas s'envoyer des messages par radio.
  - ◆ Les robots sont tous similaires (totipotence)



# Solution à base de FSM





# Règles d'action situées:

## *Premières règles*

### Règle d'exploration

si je ne porte rien  
et je ne perçois pas de minerai  
alors marche aléatoire

### Règle rapporter

Si je porte du minerai  
et je ne suis pas à la base  
alors retourner à la base

### Règle trouver

Si je ne porte rien  
et je perçois du minerai  
alors je prends du minerai

### Règle déposer

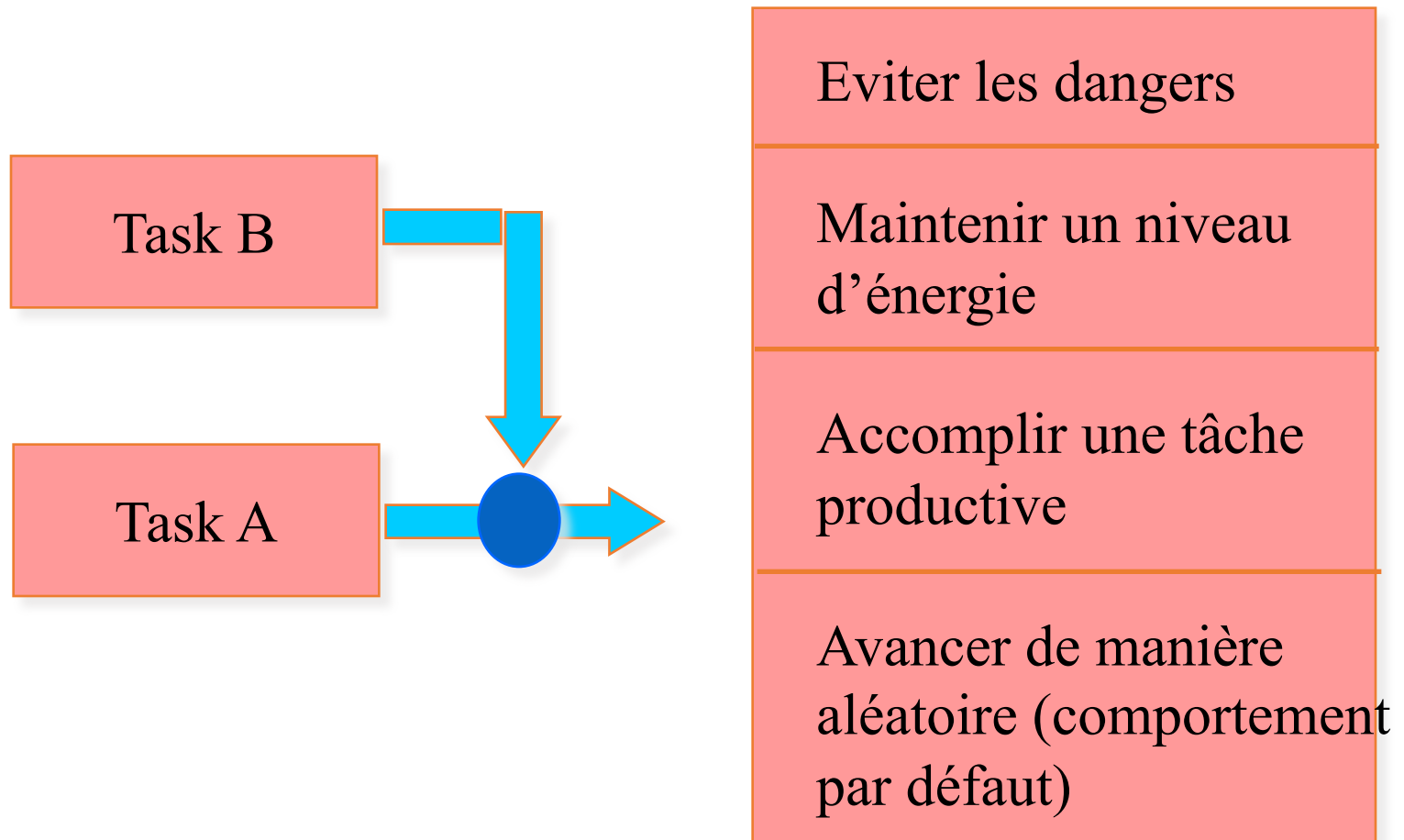
Si je porte du minerai  
et je suis à la base  
alors déposer du minerai

# Comment organiser un ordre dans toutes les règles?

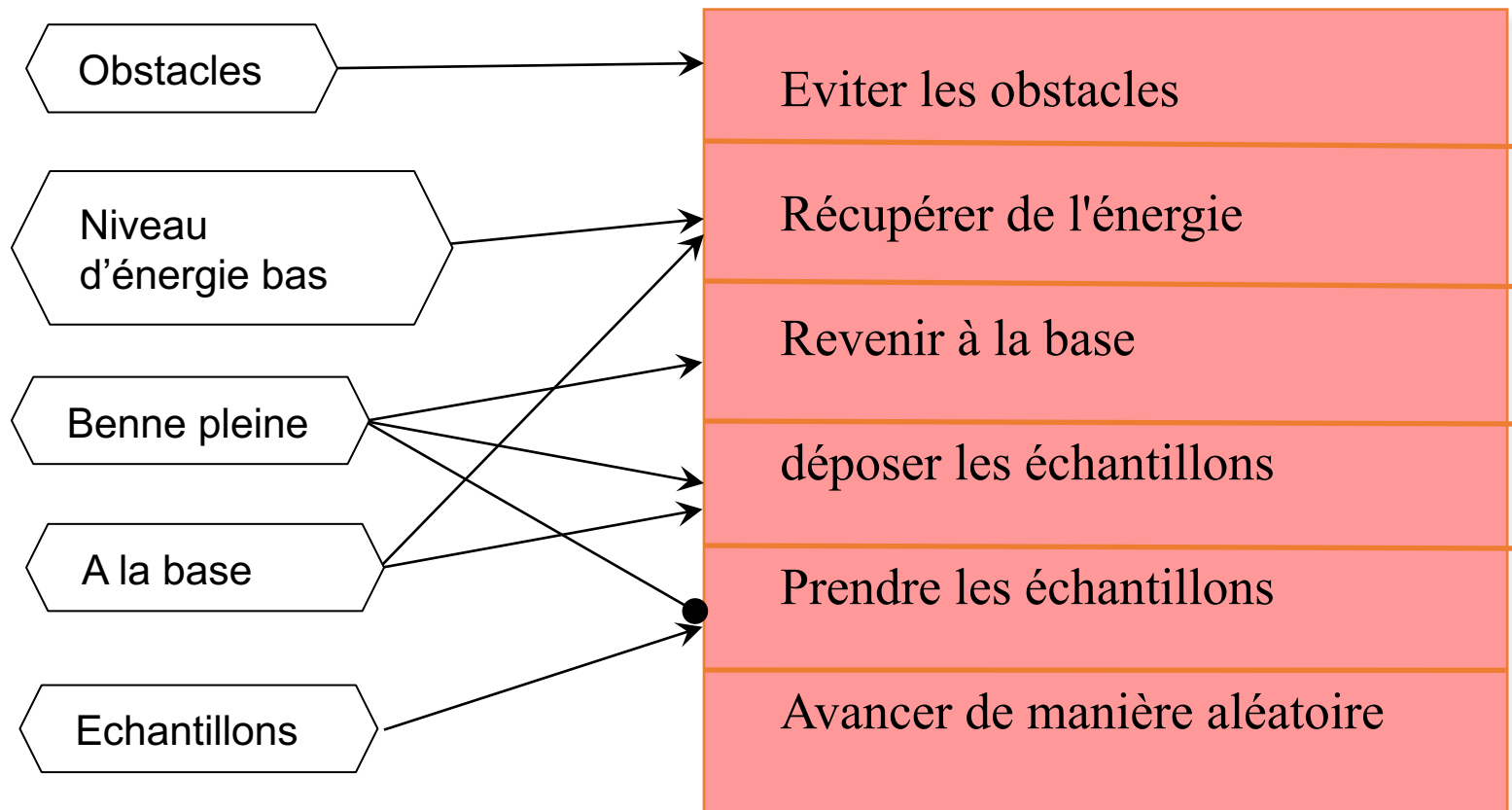
- ◆ **Réponse: utiliser une architecture qui hiérarchise les règles**
  - Règles réflexes ou de survie
  - Règles liées à la fonction de l'agent
  - Règles par défaut

# Architectures d'agents réactifs #2

## ◆ Subsumption architecture (R. Brooks)



# Exemple: les robots fourrageurs



# Implémenter architecture de subsumption

Récupérer toutes les infos (percepts)

si obstacle() alors éviterObstacle(); break

si niveau Energie < seuil et alabase()

alors récupérerEnergie; break

si bennePleine et alaBase() alors viderBenne(); break

si bennePleine alors revenirBase(); break

si presenceMarques() alors suivreMarques(); break

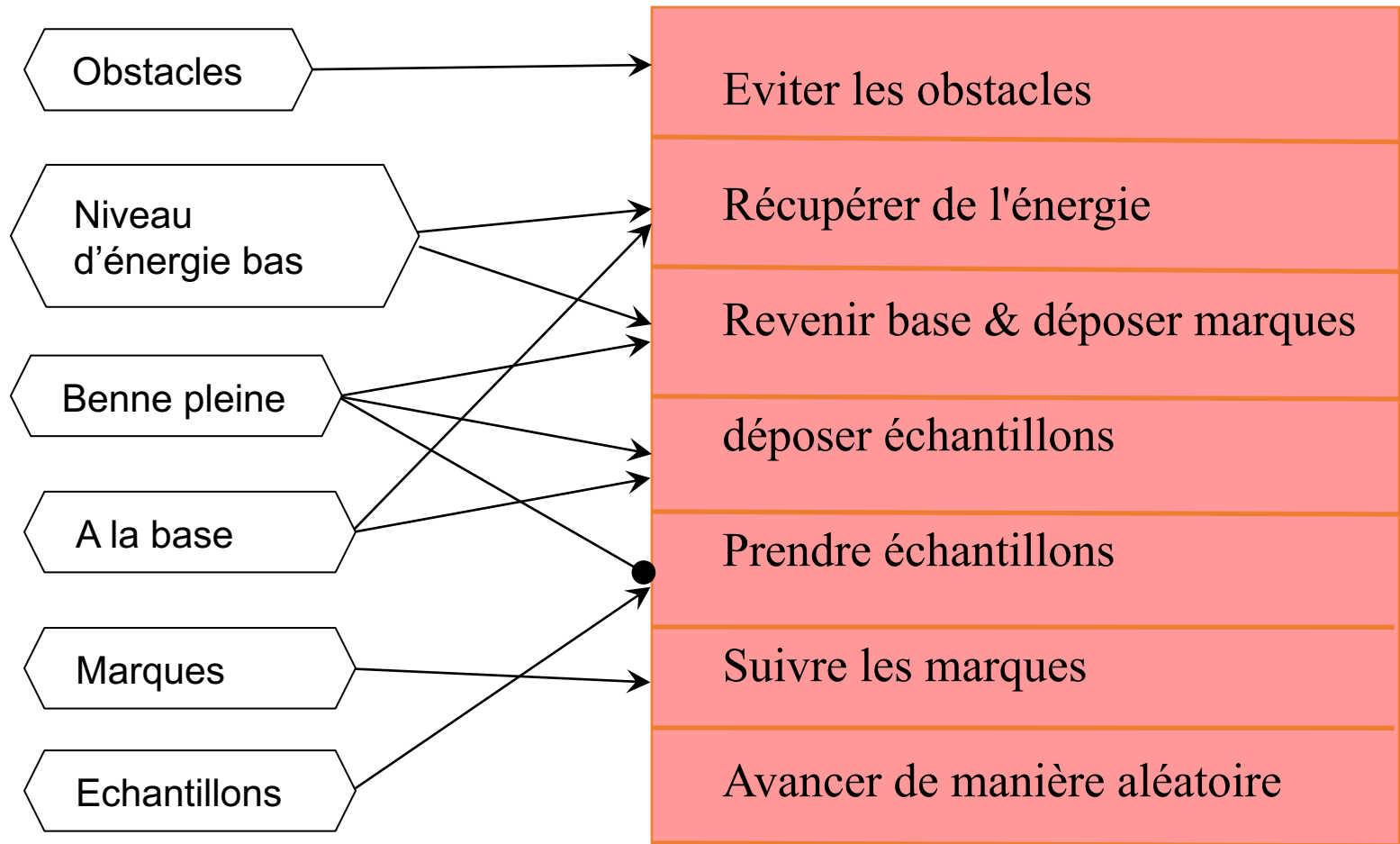
avancerAleatoire()

*On récupère les informations, et on hiérarchise les décisions*

# Intégrer une mémoire (collective)

- ◆ **Les agents n'ont pas de mémoire**
  - Mais les tâches ont parfois besoin d'agir en fonction d'informations mémorisées
- ◆ **Idée: utiliser l'environnement pour inscrire la mémoire => idée d'objet intermédiaire**

# Exemple: les robots fourrageurs



# Problème

- ◆ **Que faire quand de nombreuses choses doivent être faites sans hiérarchie a priori**
- ◆ **Exemple pour un animal :**
  - Trouver de la nourriture et de l'eau
  - Echapper aux prédateurs et aux événements
  - Maintenir un niveau de chaleur
  - Dormir
  - Se reproduire
- ◆ **Exemple pour un personnage dans un jeu video:**
  - Aller chercher des ressources
  - Attaquer la base ennemie
  - Défendre
  - Construire
  - Explorer l'espace



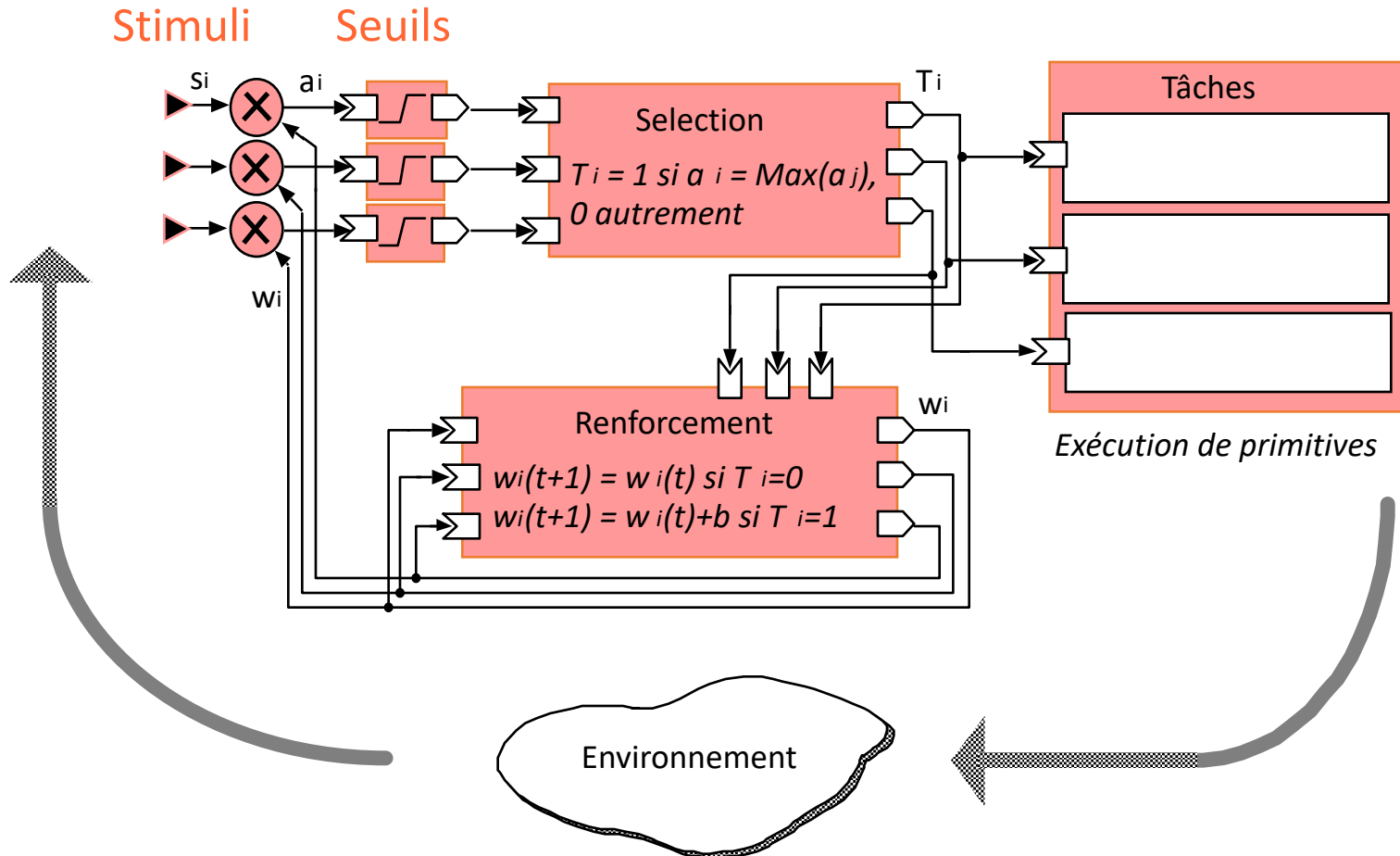
# Tâches en compétition

- ◆ **Permet de prendre en compte plusieurs activités possibles**
  - Création d'une notion de rôle: plus on fait quelque chose plus on a tendance à faire la même chose...
- ◆ **Principe: ce sont l'intensité des signaux perçus (stimuli) qui vont décider de l'action à entreprendre**
  - Ex: robot fourrageur (trouver des ressources) vs robot infirmier qui va réparer d'autres robots.
  - Si le robot reçoit un signal fort pour réparer des robots, alors il lancera l'activité d'infirmier
  - S'il reçoit un signal fort de demande de ressources, alors il lancera l'activité d'aller chercher des ressources

# Engagement

- ◆ **Nécessité de s'engager dans une tâche:**
  - S'il oscille entre soigner et récupérer des ressources, rien ne se fera.
  
- ◆ **Besoin de "s'engager dans une tâche",**
  - c'est-à-dire, pour un agent de se spécialiser

# Architectures à base de tâches en compétition



# L'importance du système de renforcement

- ◆ **Tout fonctionne à partir de renforcements**

$$\text{niveau}[i] = \text{poids}[i] * \text{stimulus}[i]$$

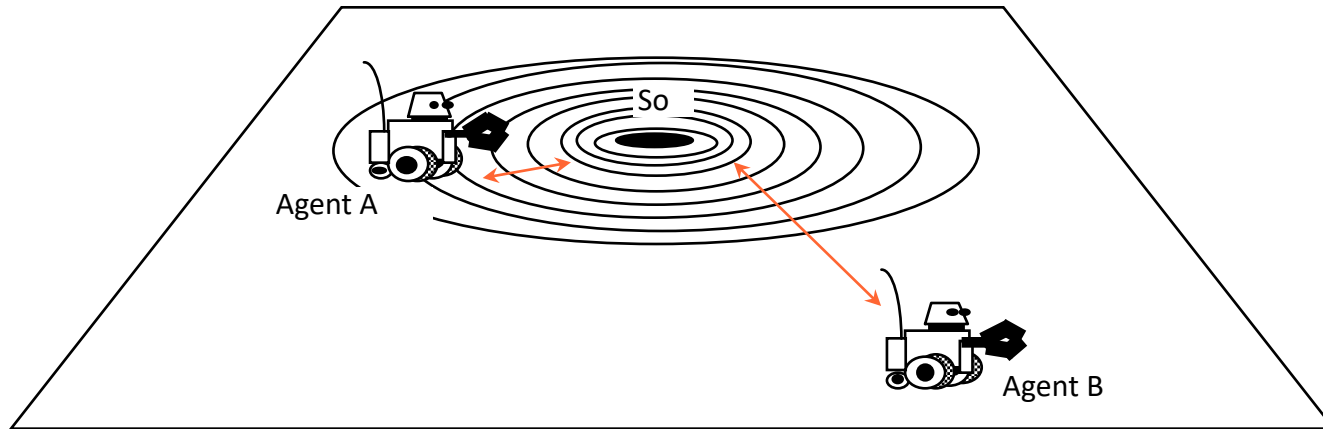
si  $\text{niveau}[i] < \text{seuil-min}$  then -1 (ou 0 = valeur qui indique une non prise en compte de la tâche)

- ◆ **Sélectionne la tâche i dont le niveau est le plus élevé**

Tache-courante = tache[i] tq  $\text{niveau}[i] = \max(\text{niveau}[j], \text{pour tout } j)$

- ◆ **On peut y ajouter une fonction de « lassitude » pour éviter les « addictions »**

# Distance et signaux



L'émetteur envoie un signal qui se propage dans l'environnement. L'intensité du signal décroît en fonction de la distance (et du temps):

$$V(x) = V(x_0)/\text{dist}(x,x_0)$$

# Implémenter l'architecture de tâches en compétition en NetLogo #1

```
<breed>-own [ctask triggers weights tasks]

to go-wolf
  set triggers compute-trigger 1 []
  decide ;; and reinforce
end

to-report get-pheronome [i]
  if i > 1 [report 0]
  ifelse i = 0
    [report <smell1>] ;; fonction ad-hoc malheureusement...
    [report <smell2>]
end

;; compute the list of thresholdss
;; trigger = weight * stimulus
;; if trigger below a specific threshold then we put -1 in the list..
to-report compute-trigger [i lst]
  ifelse (i < 0)
    [report lst]
    [let trigger get-pheronome i * item i weights ;; compute trigger
      ifelse trigger < min-threshold
        [report compute-trigger (i - 1) fput -1 lst]
        [report compute-trigger (i - 1) fput trigger lst]]
end
```

# Implémenter l'architecture de tâches en compétition en NetLogo #1

```
;; returns the index where the value is maximal in the list lst..  
;; Uses terminal recursion  
to-report select-max [lst i val index]  
  if (empty? lst)[report index]  
  ifelse (first lst > val)  
    [report select-max (bf lst) (i + 1) (first lst) i]  
    [report select-max bf lst (i + 1) val index]  
end
```

```
;; decision function  
to decide  
  let index select-max triggers 0 min-threshold -1  
  ifelse (index >= 0)  
    [reinforce index  
     run item index tasks]  
    [set color red wiggle ]  
end
```

```
;; reinforcement function of the ith weight  
to reinforce [i]  
  ;; a definir...  
end
```

# Architectures réactives

## ◆ FSM:

- permet de bien décrire des comportements lié à des activités bien réglées..
- Pb: trop d'engagement.. Nécessite des techniques particulières pour gérer les réflexes et besoins de survie.

## ◆ Actions situées et Subsumption

- Permet de décrire des comportements fluides liés aux perceptions
- Pb: pas assez d'engagement... Les agents perdent ce qu'ils sont en train de faire...

## ◆ Compétition entre tâches

- Intégrer les FSM (les tâches) et les perceptions (déclenchement sur les actions).