

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^{ère} solution:

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

◆ 2^{ème} solution:

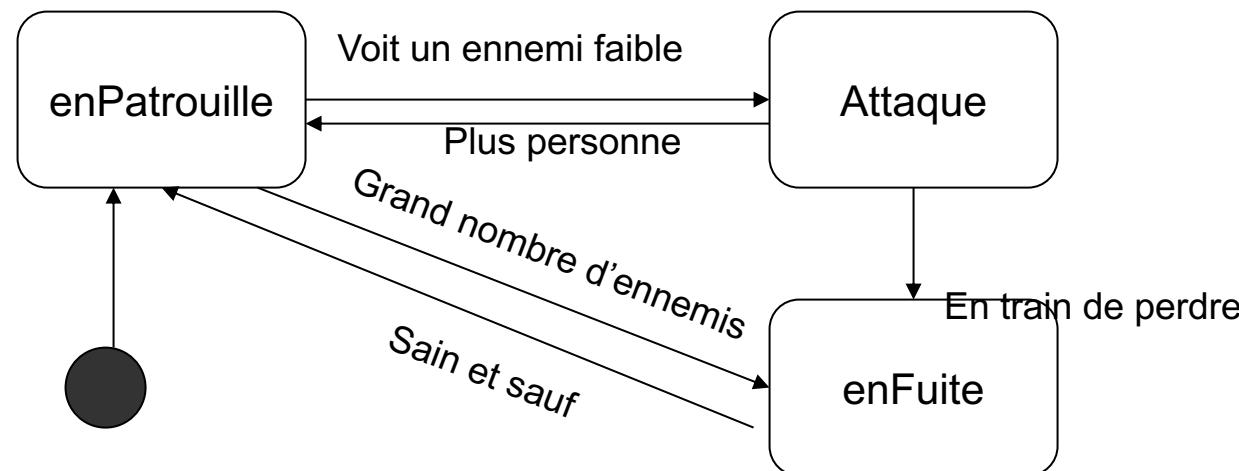
- Identifier des patterns de programmation caractéristiques
 - ☞ Permet d'avoir une approche plus méthodique
- => définit des types d'architectures caractéristiques

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

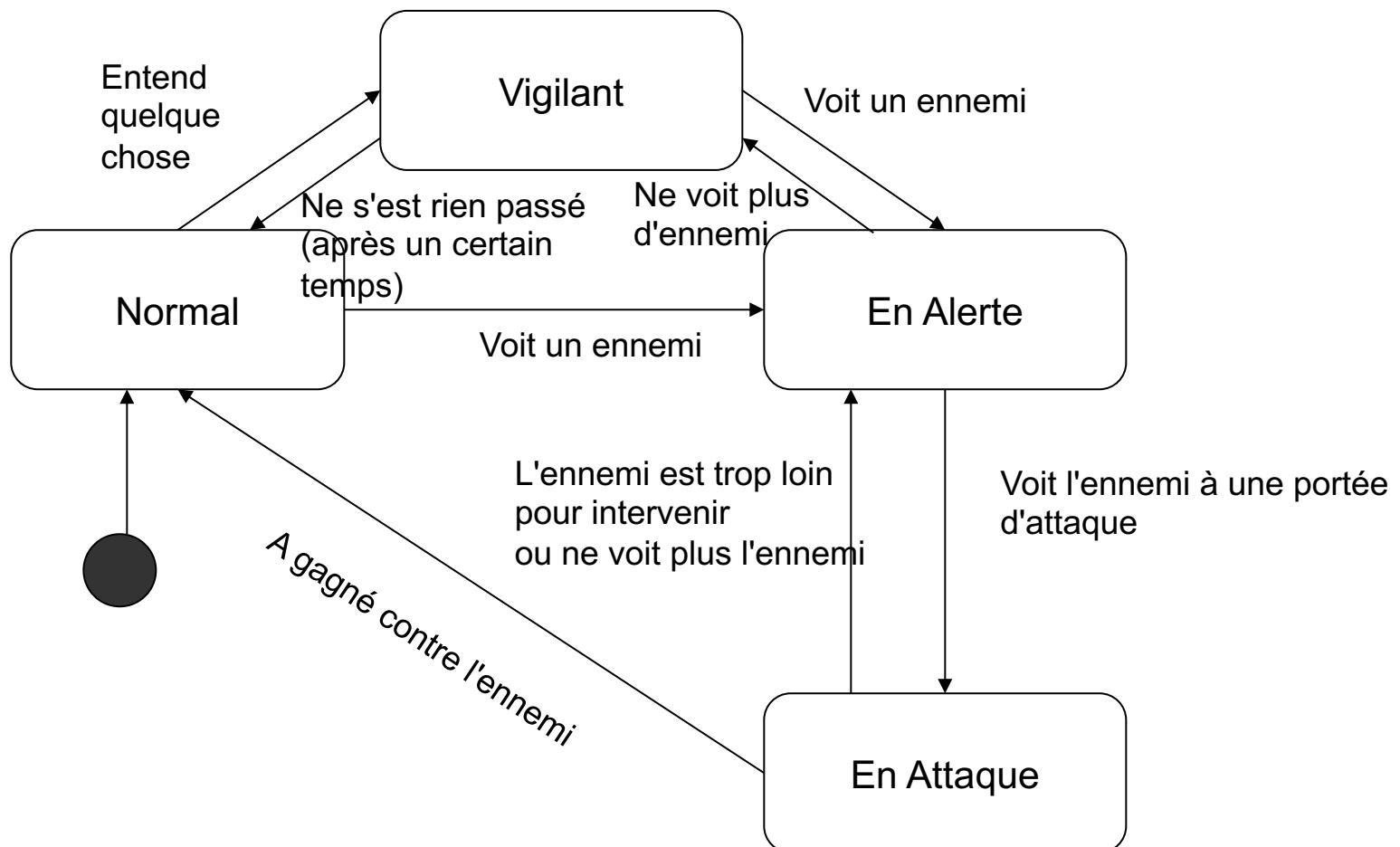
Machines à états finis (FSM, automates)

- ◆ **Etat de l'automate** : une activité de l'agent
- ◆ **Événement**: 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

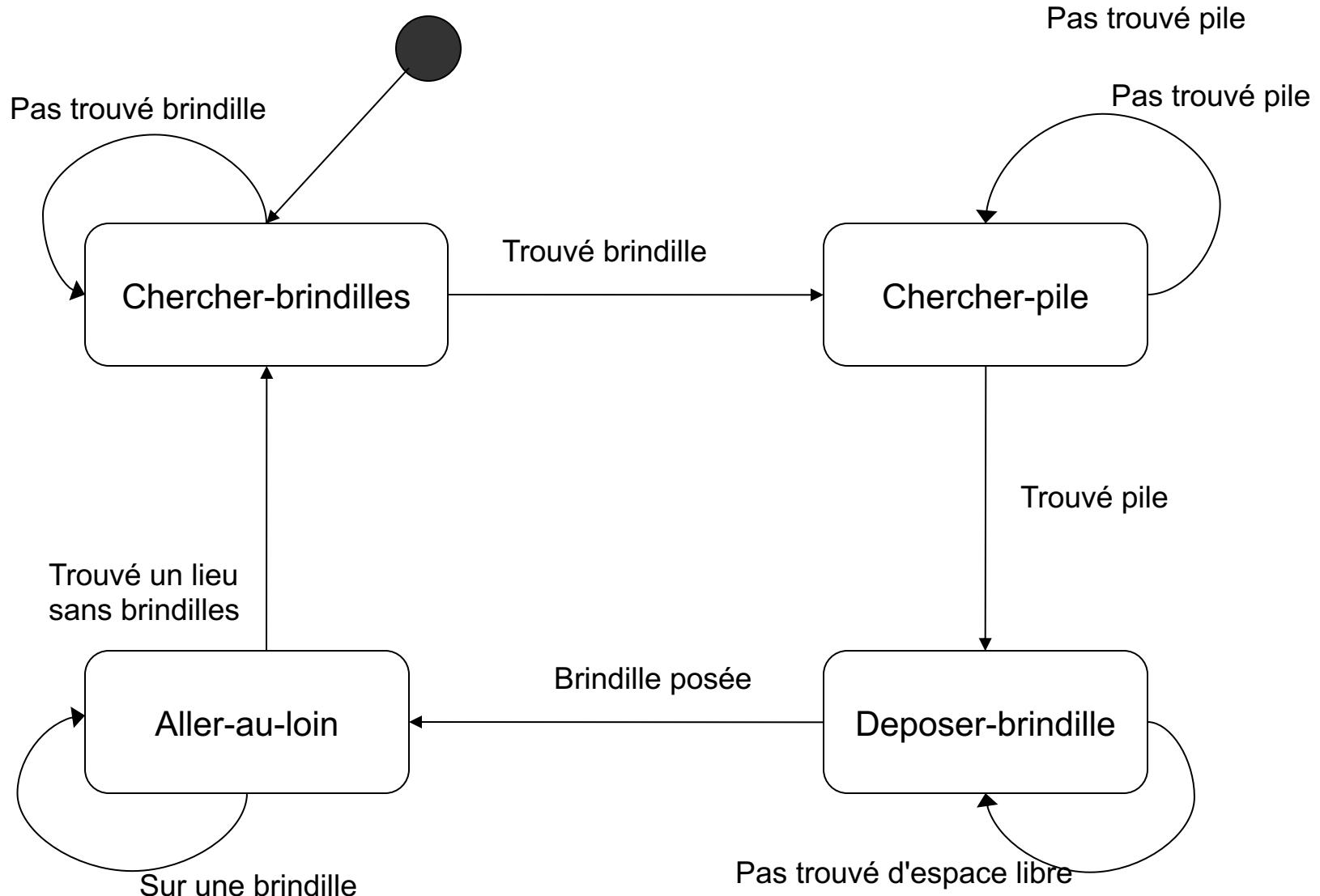


Autre exemple

◆ 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"

```
turles-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	ennemisVincus	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

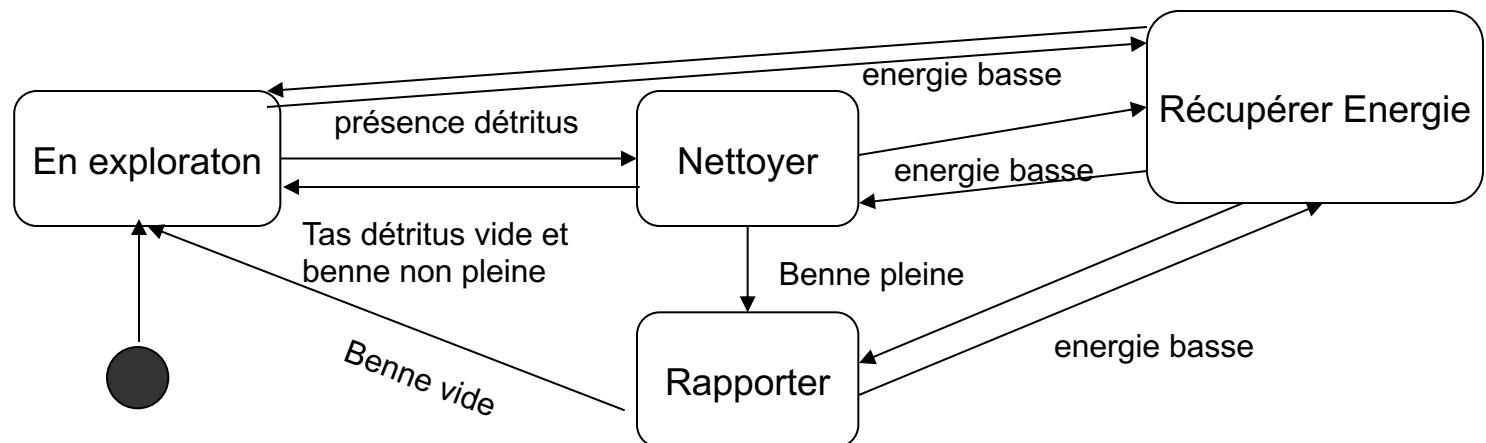
```
class Etat-EnFuite extends Etat{
    void exec(){
        // fuir..
    }
}

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:

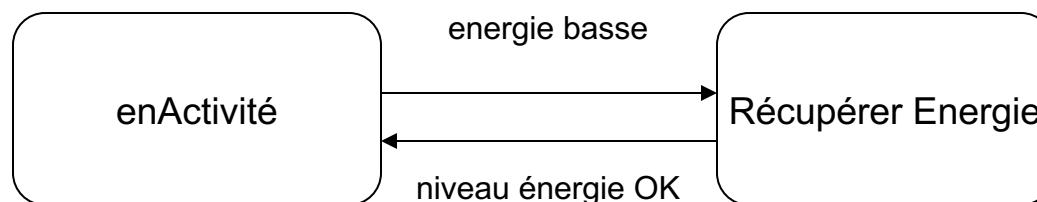
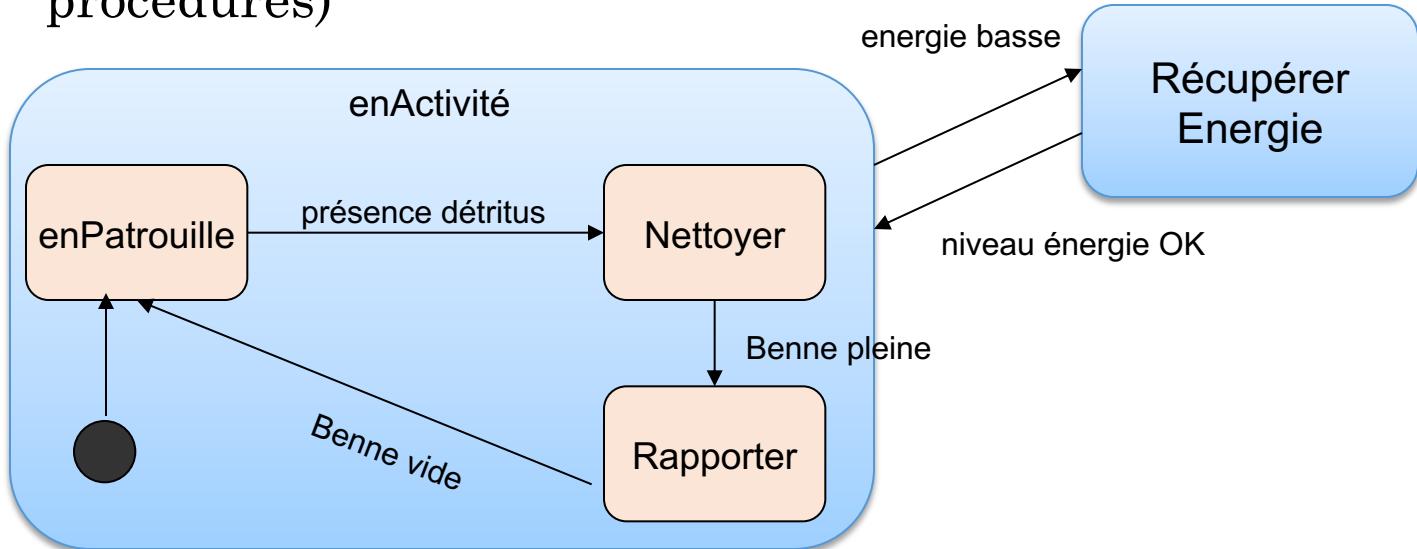
👉 Un robot doit récupérer de l'énergie quoi qu'il fasse par ailleurs



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

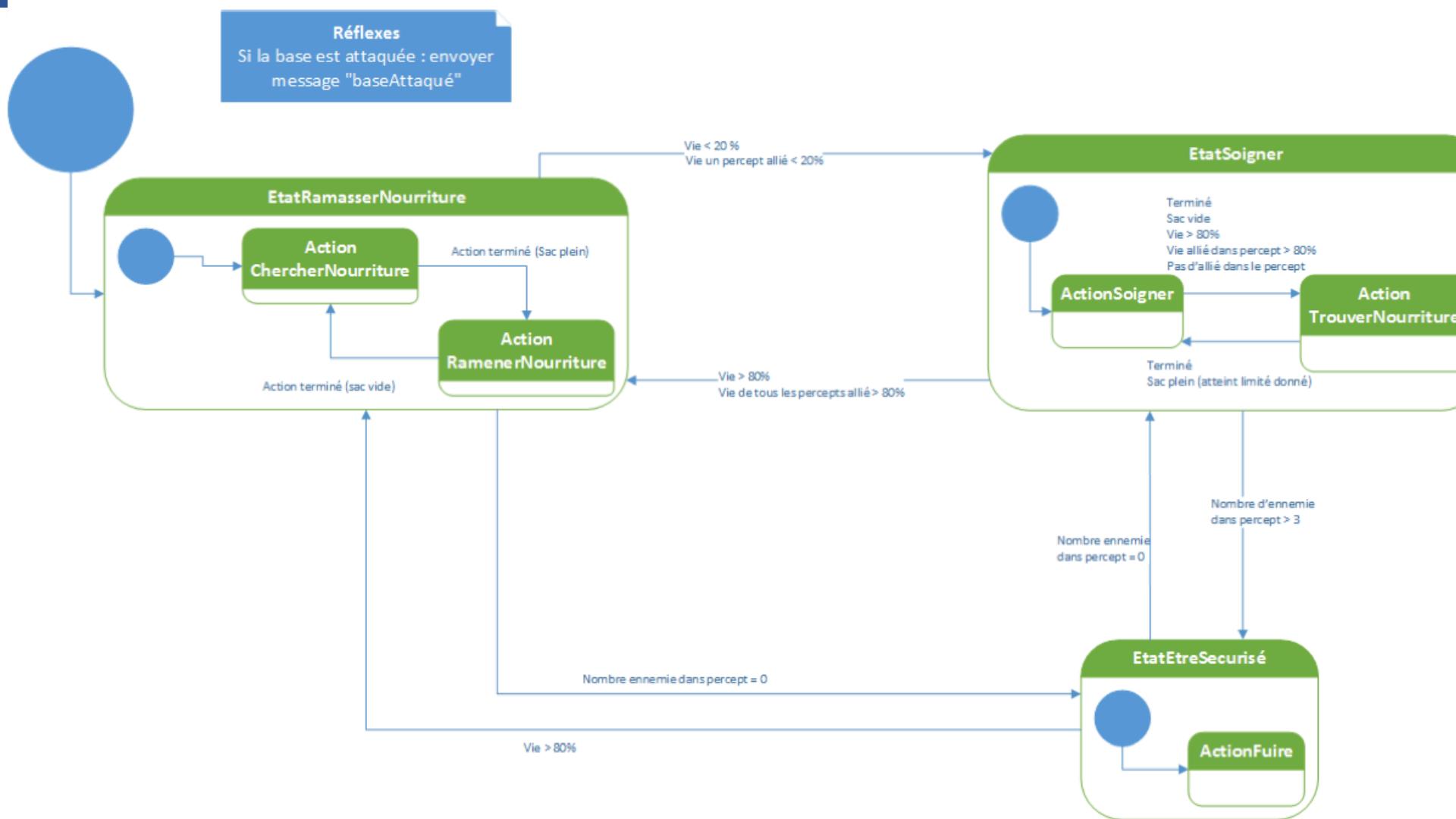


Diagramme d'états-transitions - Exemple de comportement pour un WarExplorer
Exemple dans vvarbot

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>"

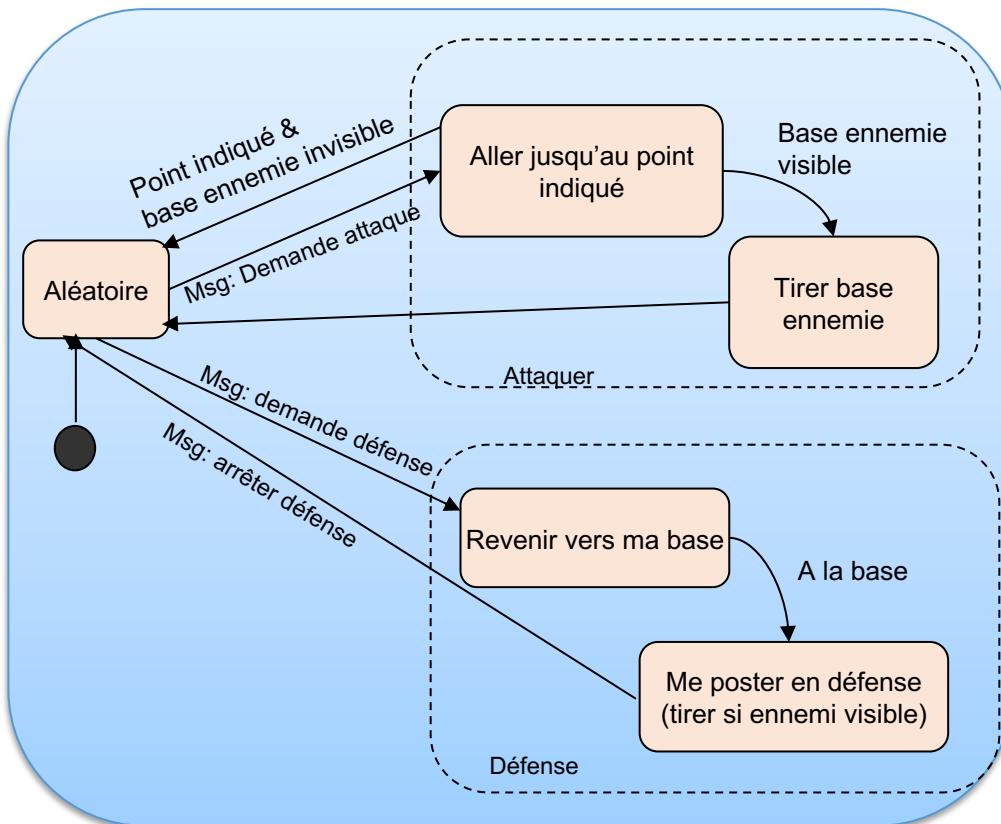
to go-mode [mode] ;; en fait la proc initiale du mode
  if ctask != mode [
    set stack fput ctask stack ; push l'état ancien
    set ctask mode
  ]
end

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

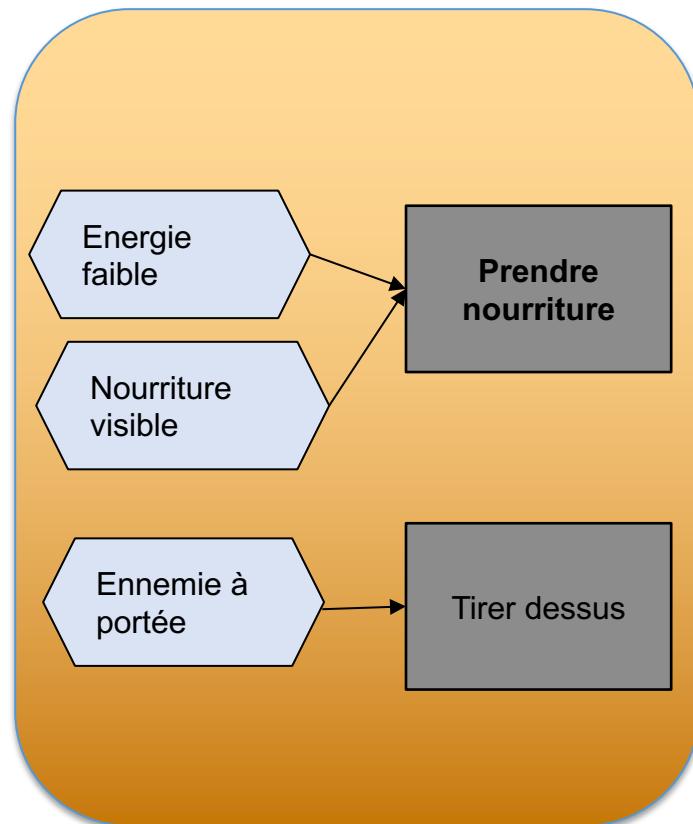
end

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 hiérachique**
 - 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

Perception

Action

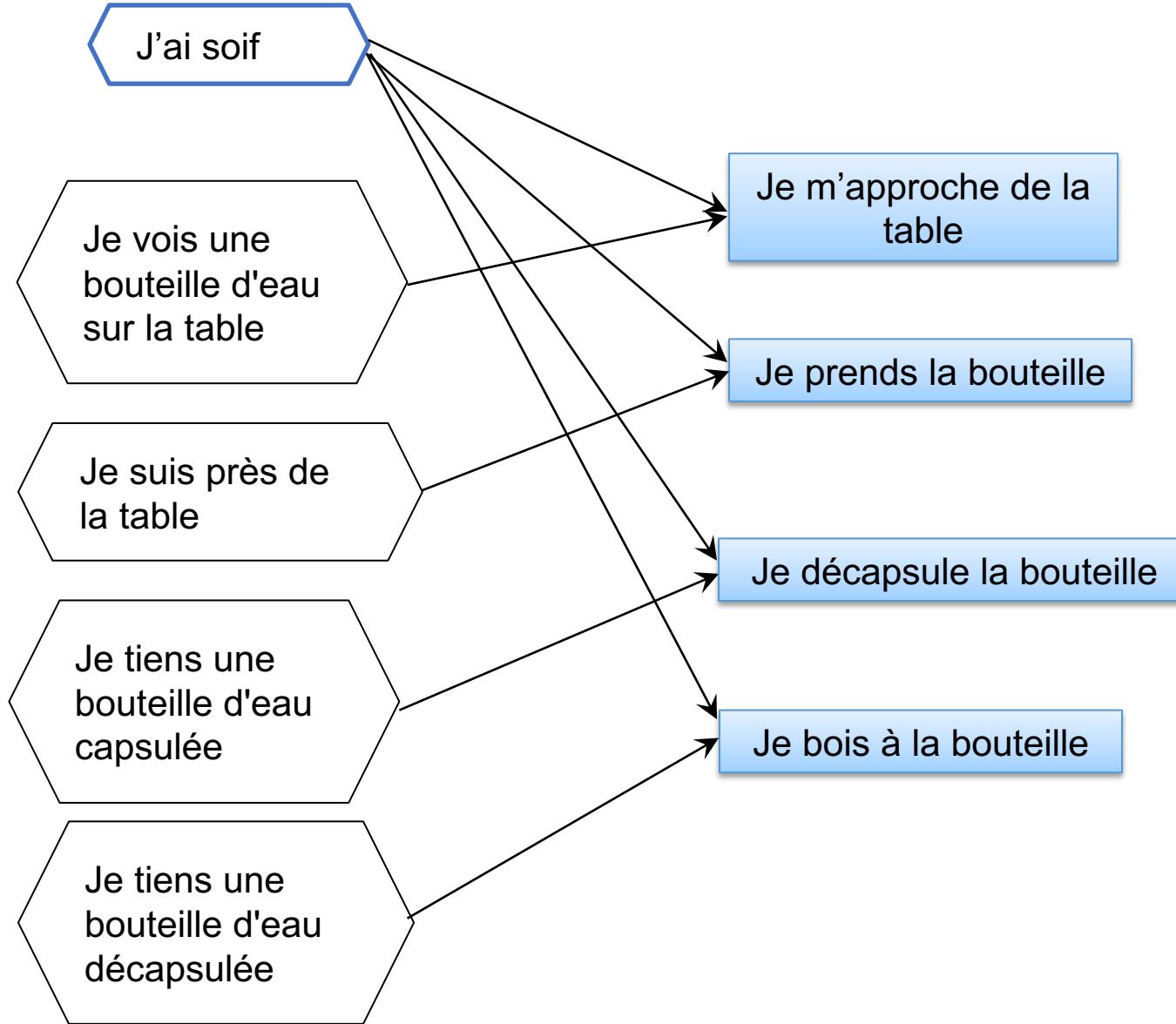


Si perception alors action



Si perception alors \neg action

Exemple de la bouteille d'eau



Ex: architecture de Massive

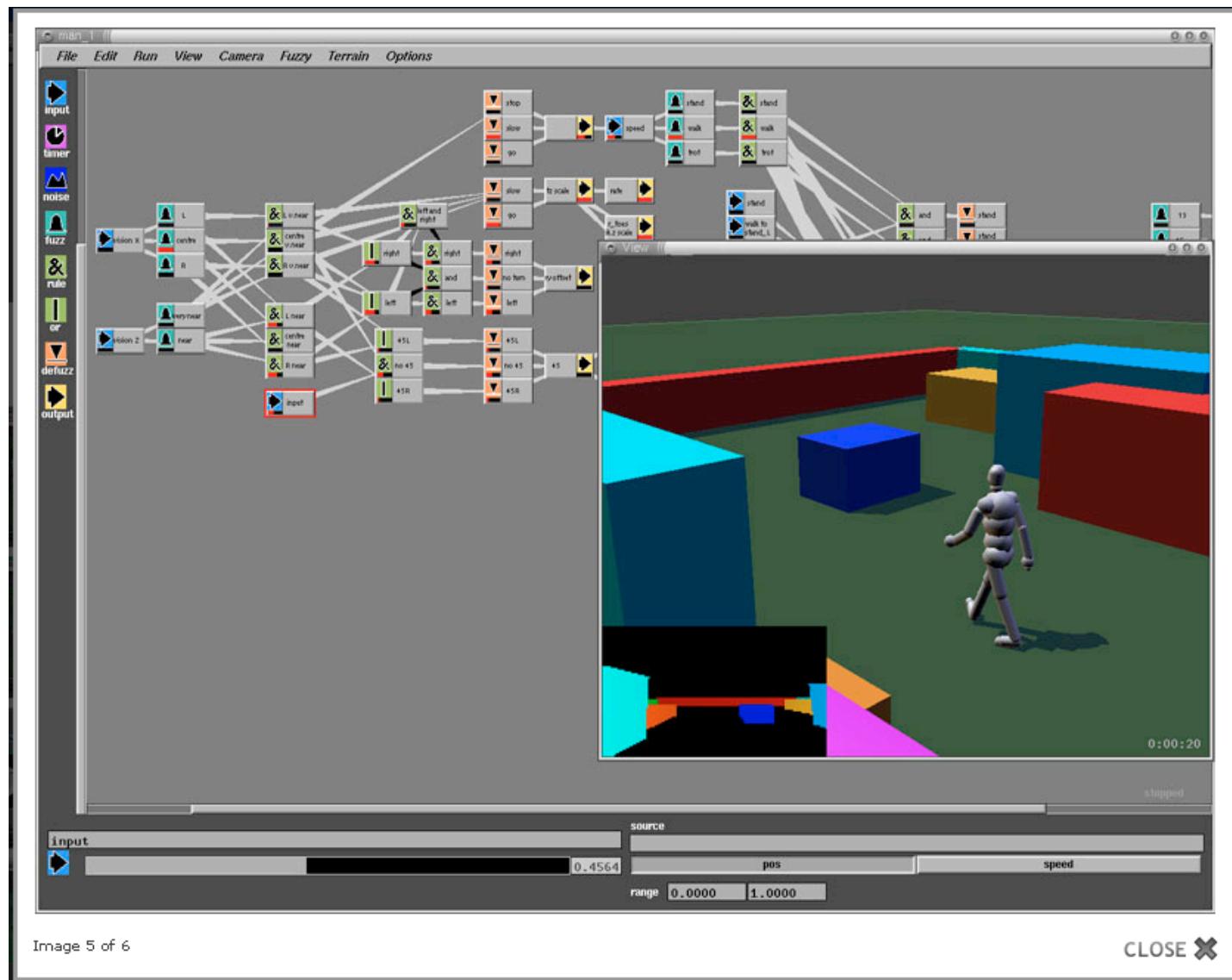
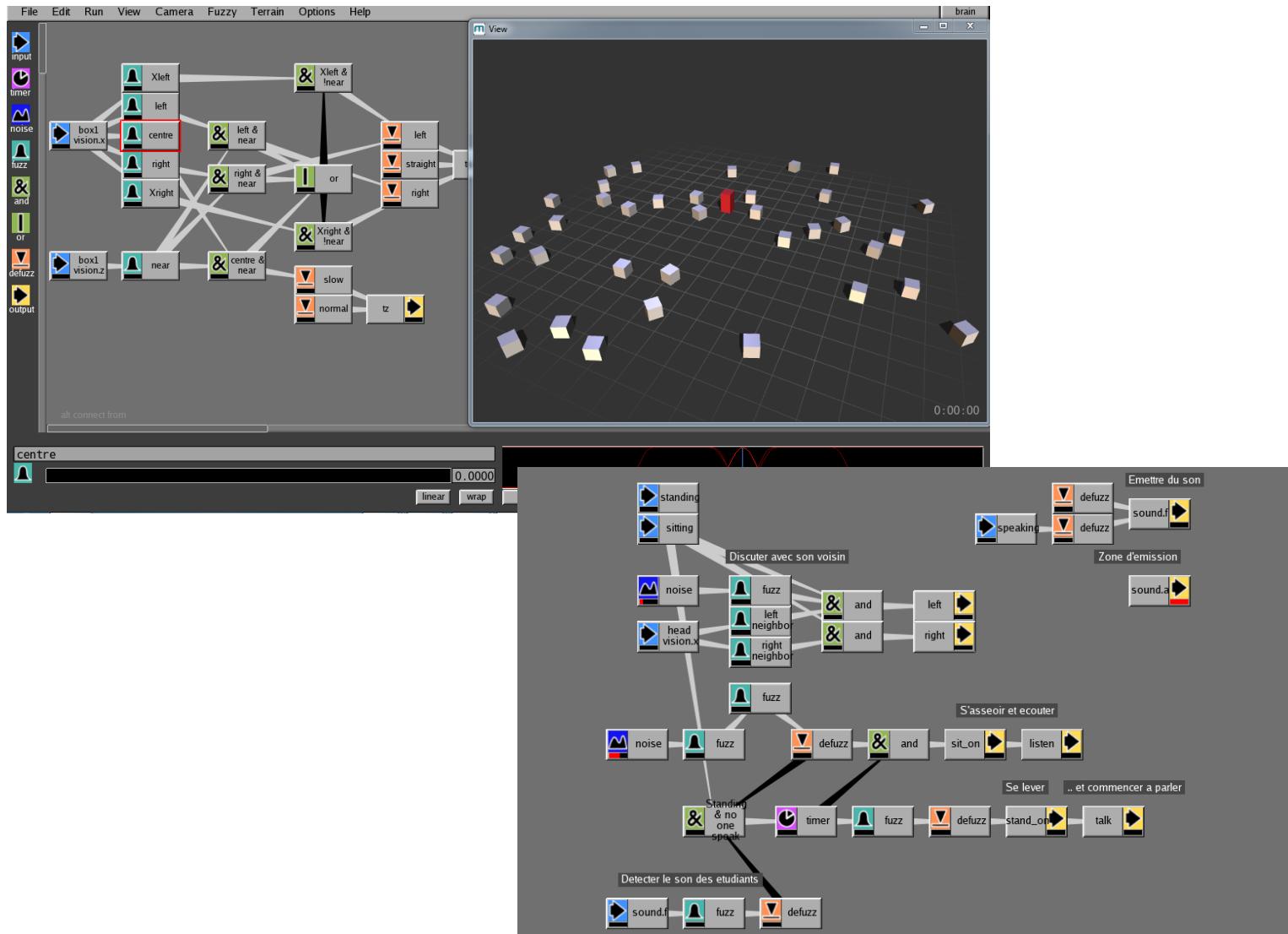


Image 5 of 6

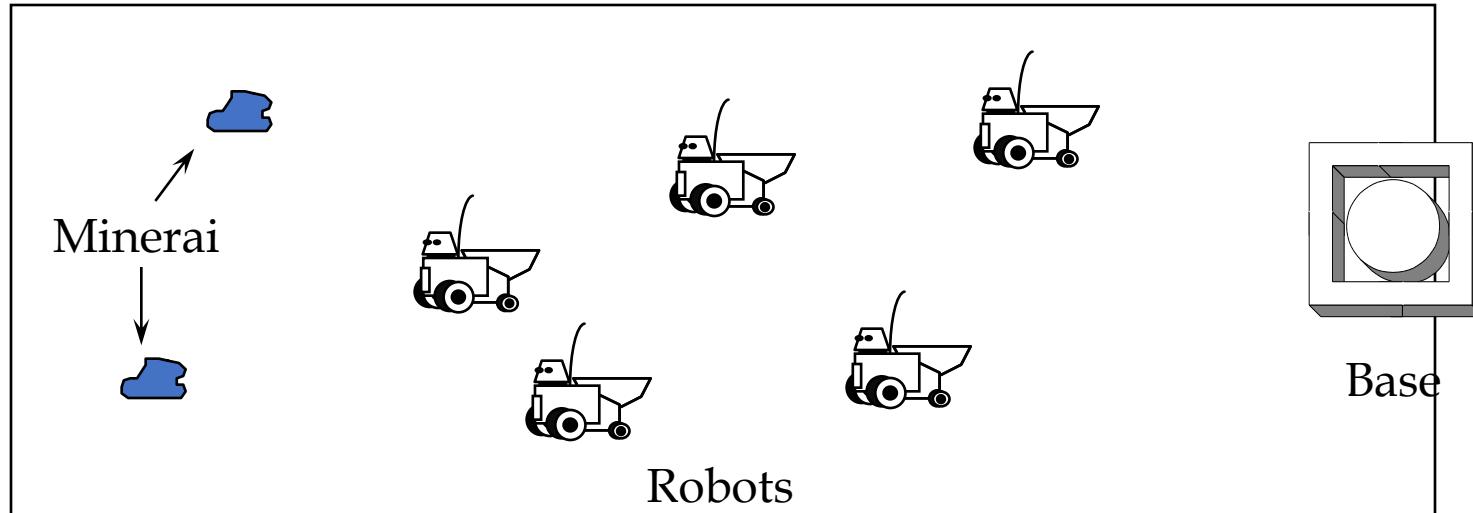
CLOSE X

Massive - Brain

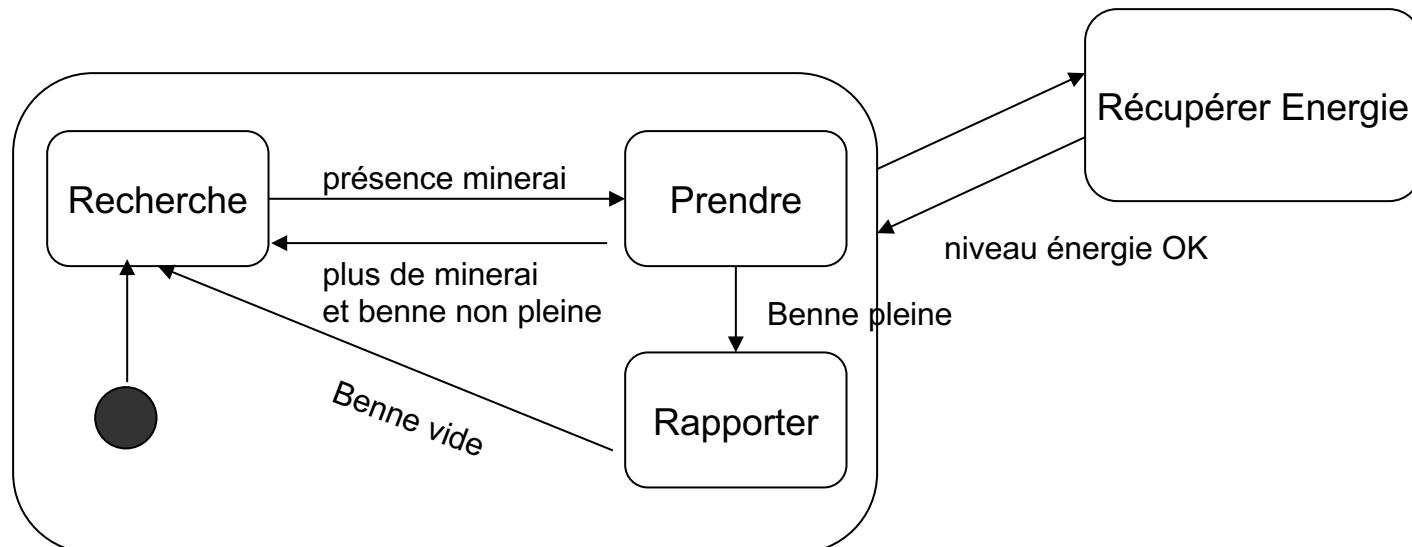


Robots (fourmis) explorateurs

- ◆ Un ensemble de robots doivent collecter et ramener des échantillons de mineraï 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 trouver

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

Règle rapporter

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

Règle déposer

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

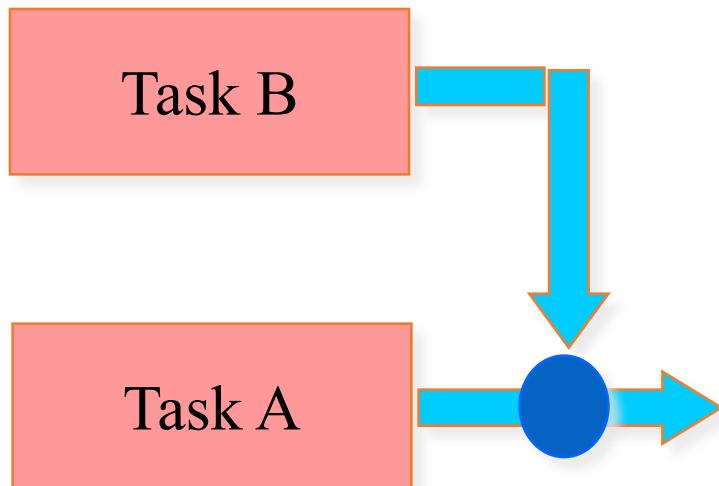
Comment organiser un ordre dans toutes les règles?

◆ 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)



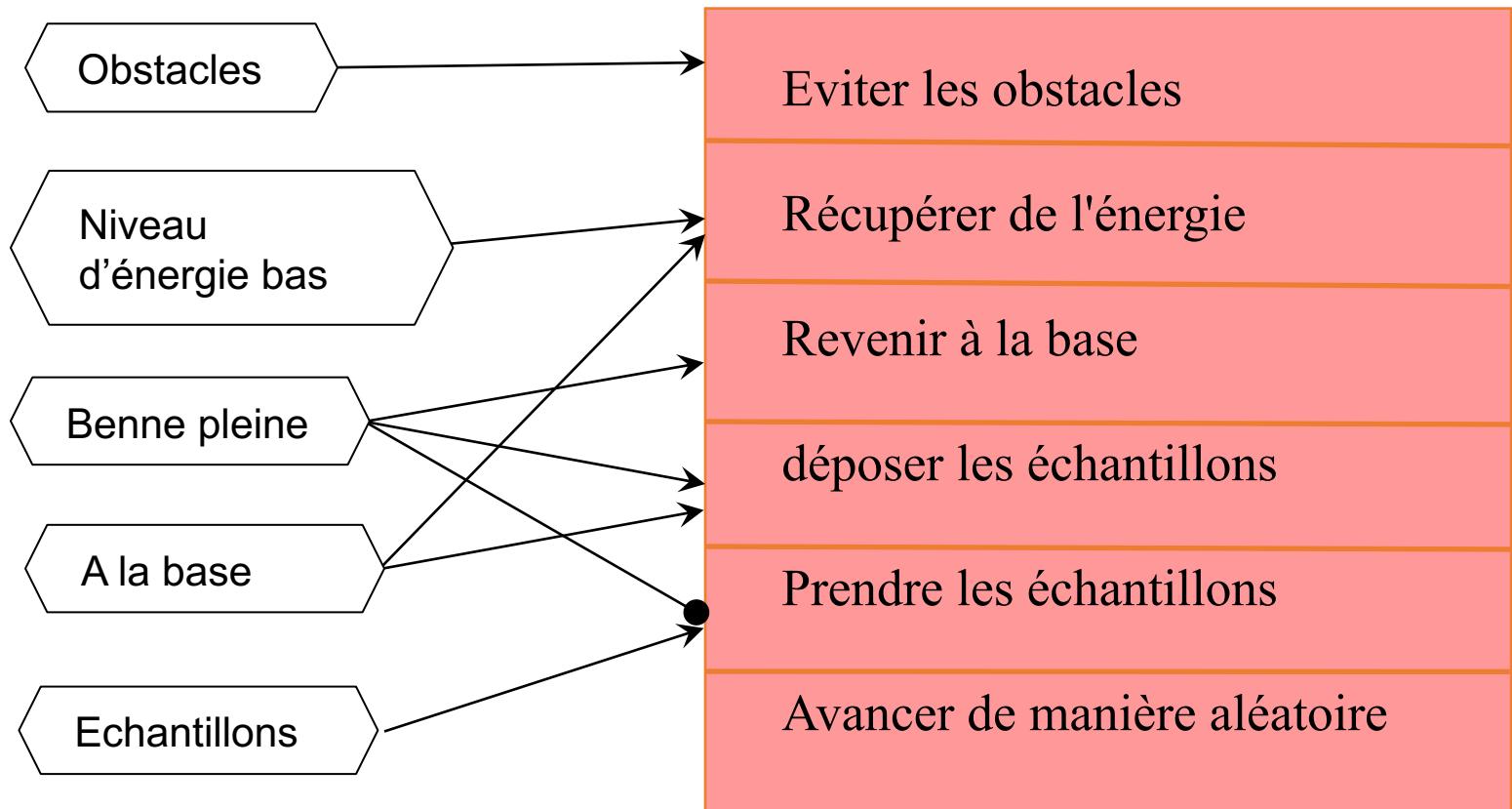
Eviter les dangers

Maintenir un niveau
d'énergie

Accomplir une tâche
productive

Avancer de manière
aléatoire (comportement
par défaut)

Exemple: les robots fourrageurs



Implémenter architecture de subsomption

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()
```

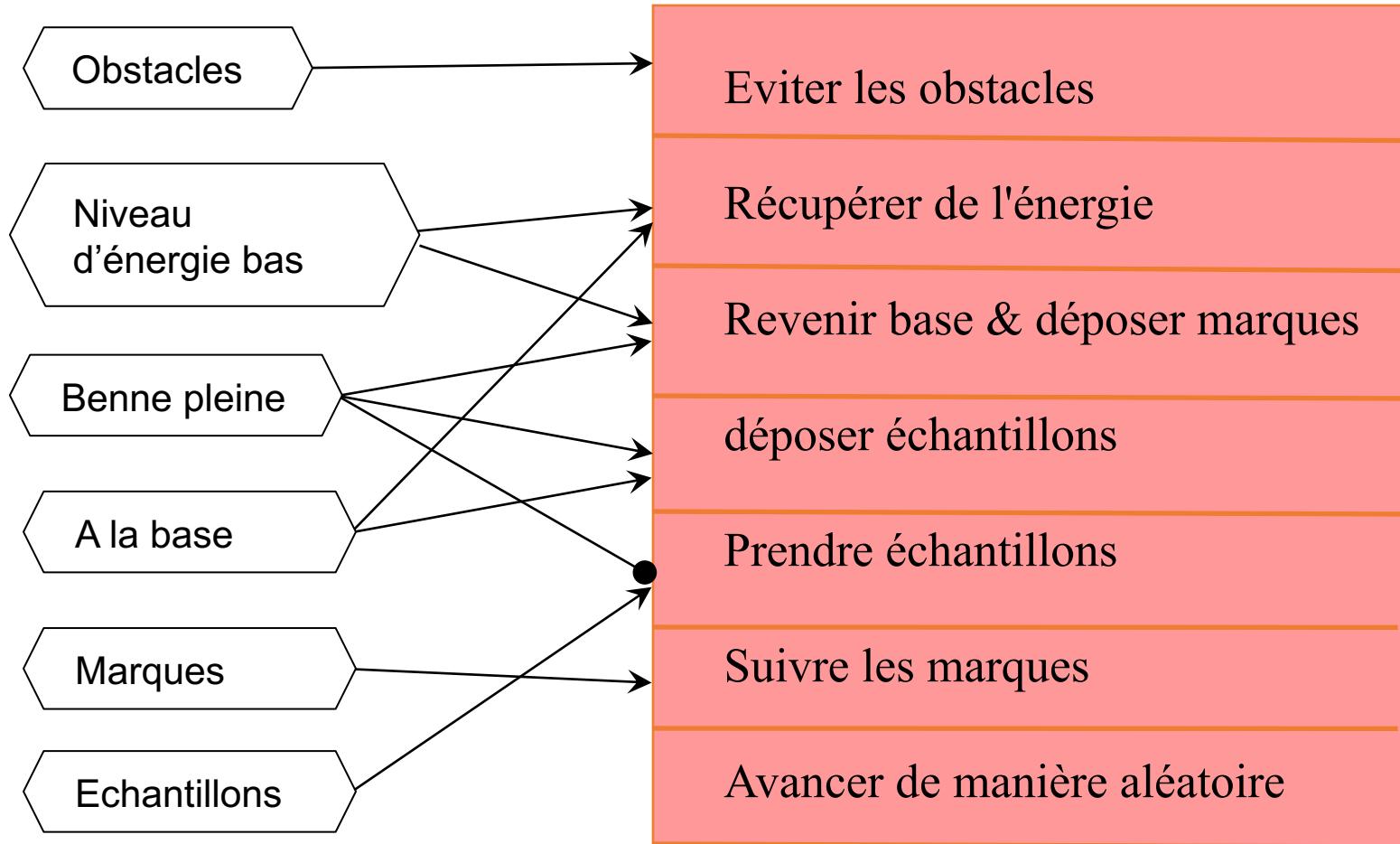
On récupère les informations, et on hiérarchise les décisions

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 vidéo:

- 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

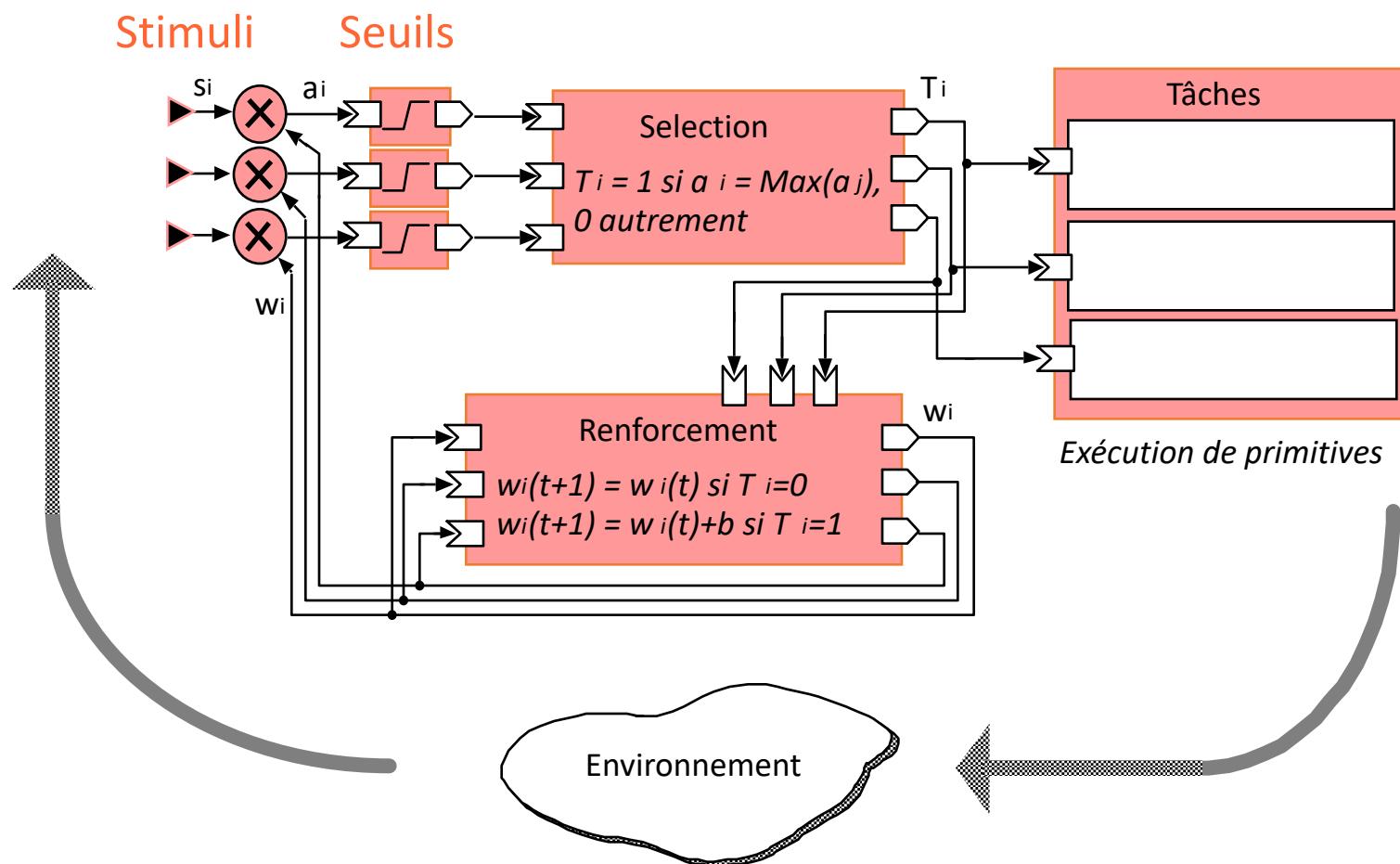
◆ Nécessité de s'engager dans une tâche:

- 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**

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

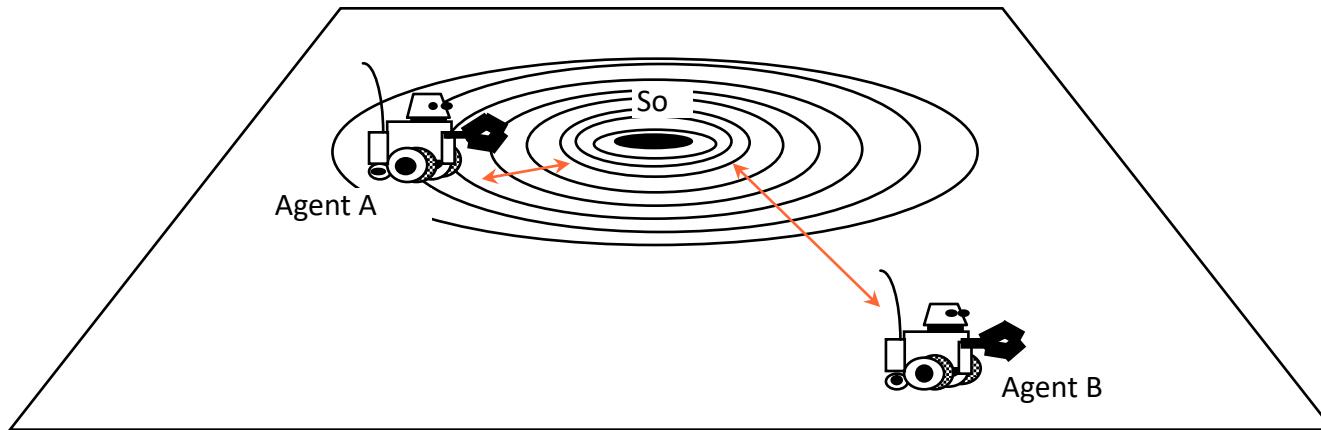
si $\text{niveau}[i] < \text{seuil-min}$ then -1 (ou 0 = valeur qui indique une non prise en compte de la tâche)

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

Tache-courante = tache[i] tq $\text{niveau}[i] = \max(\text{niveau}[j],$
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-pheromone [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-pheromone 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 Subsomption

- 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).