

Introduction aux systèmes multi-agents :

*Du paradigme à la technologie pour la conception
de systèmes intelligents*

Amal El Fallah Seghrouchni

Amal.Elfallah@lip6.fr

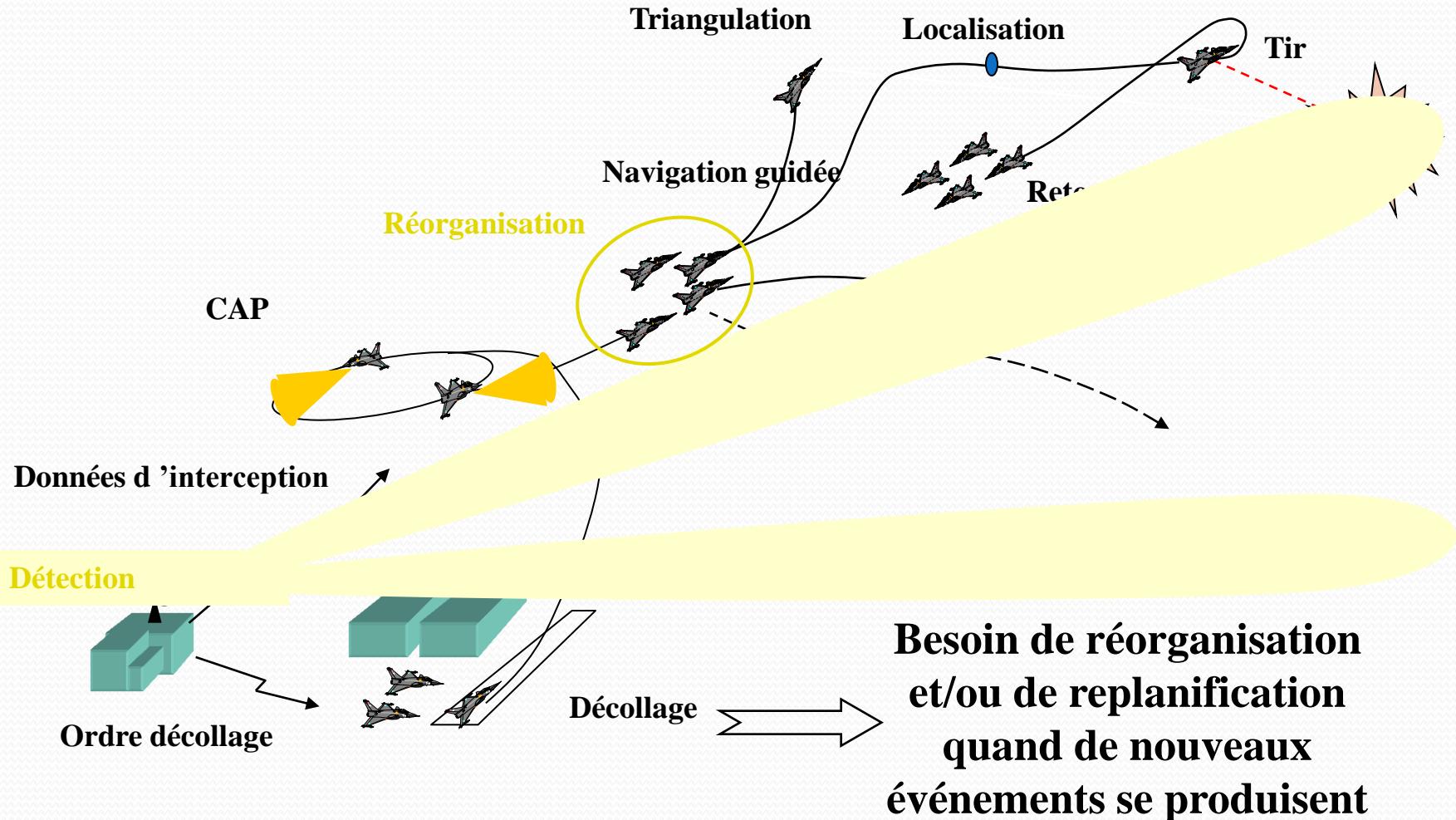




Pour commencer

Un exemple de mission aérienne

Une Mission d'Interception



Ce transparent est la propriété intellectuelle de la société Dassault Aviation. Il ne peut être utilisé, modifié, reproduit ou communiqué sans son autorisation. Dassault Aviation proprietary data.

Plan de la présentation

- Exemple
- Introduction aux SMA
 - Fondements du paradigme multi-agents
 - Applications cibles
- Positionnement scientifique des SMA
- Modèles et architectures
- Environnement
- Exemple agentifié

Pourquoi les agents ?

- Approche méthodologique pour la conception
 - Modélisation intuitive qui prend en compte les différents acteurs dans leur aspect statique et dynamique
 - Modélisation multi niveaux (macro et microscopique)
 - Intégration des opérateurs humains : interaction et outil d'aide à la décision
 - Conception modulaire et incrémentale
- Outils de conception et/ou simulation
 - Agents stationnaires ou mobiles
 - Protocoles d'interaction avec l'humain : haut niveau, explication et argumentation
 - Langages de programmation
 - Plateformes de simulation, de développement ou de déploiement

Domaines d'applications

Jeux vidéo
Jeux sérieux
Web 2.0
Simulation
...



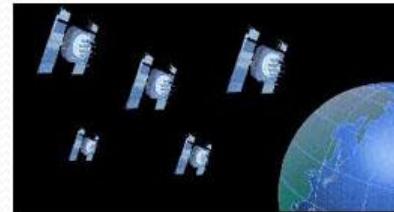
AAVs



Smart Cockpit



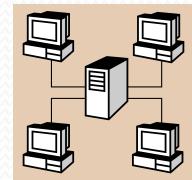
SoftBots



Spacecraft



Smart Home/Office



Networks



Robot Teams

Introduction aux agents

Qu'est ce qu'un agent (1)

- [Ferber 95] :
 - Un agent est une entité réelle ou virtuelle, évoluant dans un environnement, capable de le percevoir et d'agir dessus, qui peut communiquer avec d'autres agents, qui exhibe un comportement autonome, lequel peut être vu comme la conséquence de ses connaissances, de ses interactions avec d'autres agents et des buts qu'il poursuit.
- Un système multi-agents (SMA) et une organisation d'agents (société)

Qu'est ce qu'un agent (2)

- [Demazeau 96] :
 - Un agent est une entité réelle ou virtuelle, dont le comportement est autonome, évoluant dans un environnement, qu'il est capable de percevoir, sur lequel il est capable d'agir et d'interagir avec les autres agents.
- [Woolridge 98] :
 - Un agent est un système informatique capable d'agir de manière autonome et flexible dans un environnement.
 - Flexibilité signifie réactivité, pro-activité, adaptativité et capacités sociales.

Qu'est ce qu'un agent (3)

- [Wooldridge, Jennings, Sykara]

“An agent is a computer system situated in some environment and that is capable of flexible autonomous action in this environment in order to meet its design objectives.”

Propriétés de l'agent

- Réactivité
 - Percevoir l'environnement et répondre, *en temps réel*, aux changements
- Proactivité
 - Capacité de prendre l'initiative / comportement orienté but
- Sociabilité
 - Capacité d'interagir avec d'autres agents ou utilisateurs
- Autonomie

Autonomie : notion relative mais centrale

- Objectif de l'autonomie : la robustesse
 - Vision partielle du monde
 - Partage de l'environnement avec d'autres
 - Coopération ou compétition
- Besoins
 - Capacité d'agir sans l'intervention humaine directe
 - Auto-Contrôle de son état et actions

Un agent autonome

Prendre ses décisions « soi-même »

Avoir le pouvoir de dire non !

Ne pas dépendre des autres (au moins pour ses décisions)

→ **Un concept très « humain »**

?? Et si l'agent est un programme ??

Une définition opérationnelle de l'autonomie

De quelle manière sont prises les décisions ?

A est autonome par rapport à B ssi

=> B ne peut pas prédire à coup sûr les décisions de A

A décide lui-même de s'engager vis à vis de B

A doit rester “conscient”

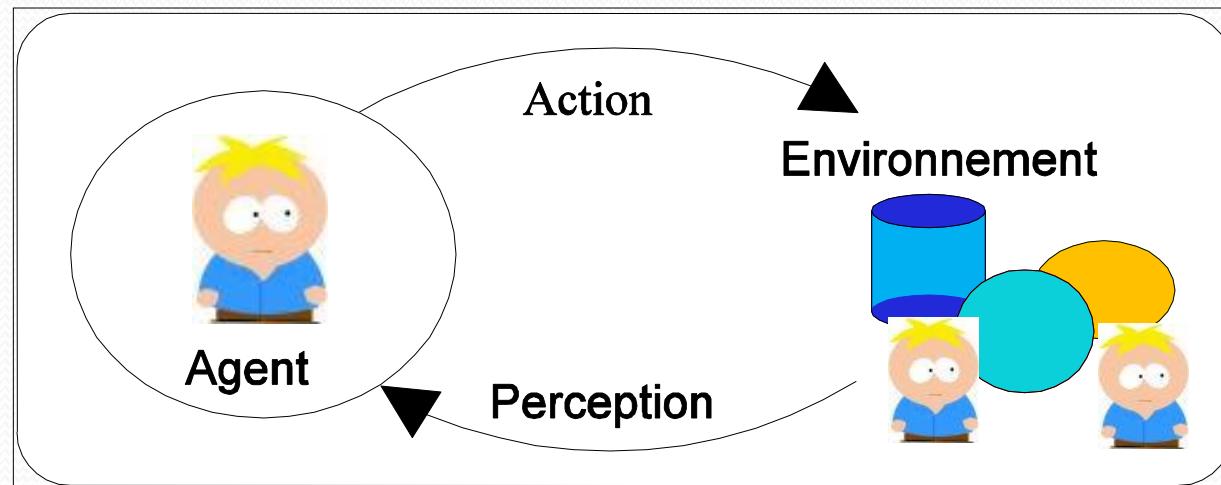
Exemples : conséquences de l'autonomie

- Un agent peut décider de ne pas traiter un message
 - En raison de sa charge de travail
 - Parce que des buts plus importants doivent être satisfaits
- Les engagements ne sont que des promesses
 - Les agents doivent anticiper le non respect des engagements

Cycles d'agents

Cycle de base d'un agent

- Perçoit l'environnement
- Peut agir sur l'environnement



Agents réactifs

- Pas de représentation explicite
 - architectures simples
 - stimulus -> réponse
- Organisation implicite/induite
 - auto-organisation, ex : colonie de fourmis
- Communication via l'environnement
 - ex : perception/actions sur l'environnement, phéromones de fourmis
- Grand ou très grand nombre d'agents
 - redondance
 - robustesse
- Emergence
- Validation expérimentale

Cycle de contrôle d'un agent réactif

Exemple implementé sous forme d'un ensemble de règles de type condition/action

condition-action rules

set of percepts

do {

percepts := see();

state := interpret_input(percepts);

rule := match(state,rules);

execute(rule[action]);

} while (1);

Agents cognitifs

- Représentation explicite
 - Soi
 - Connaissances (knowledge) ou croyances (beliefs)
 - Buts (intentions)
 - Tâches, plans
 - Engagements, intentions
 - Compétences
 - Environnement
 - Autres agents
- Architectures complexes, souvent modèle logique (ex : BDI, Agent0)
- Organisation explicite
 - allocation et dépendances tâches
 - partage des ressources
 - protocoles de coordination/négociation
- Communication explicite, point à point, élaborée (ex : KQML)
- Petit/moyen nombre d'agents
- Certaines validations formelles possibles

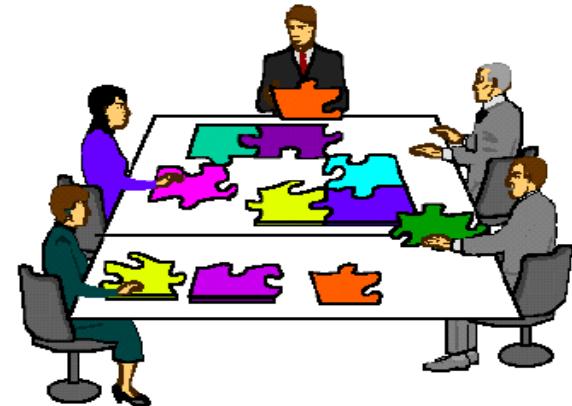
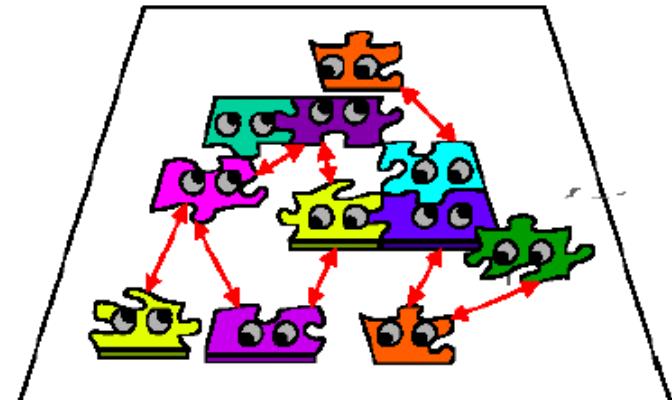
Cycle d'un agent délibératif (minimal)

- Exemple

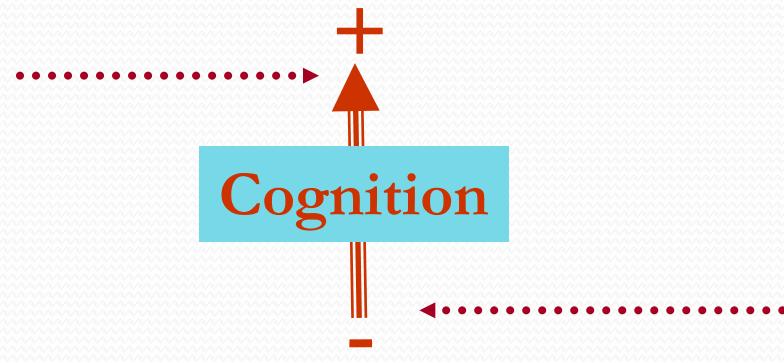
```
s : state,  
eq : event queue  
s := initialize();  
do {  
    options := option_generator(eq,s);  
    selected := deliberate(options, s);  
    s := update_state(selected,s);  
    execute(s);  
    eq := see();  
} while(1);
```

Architectures d'agents

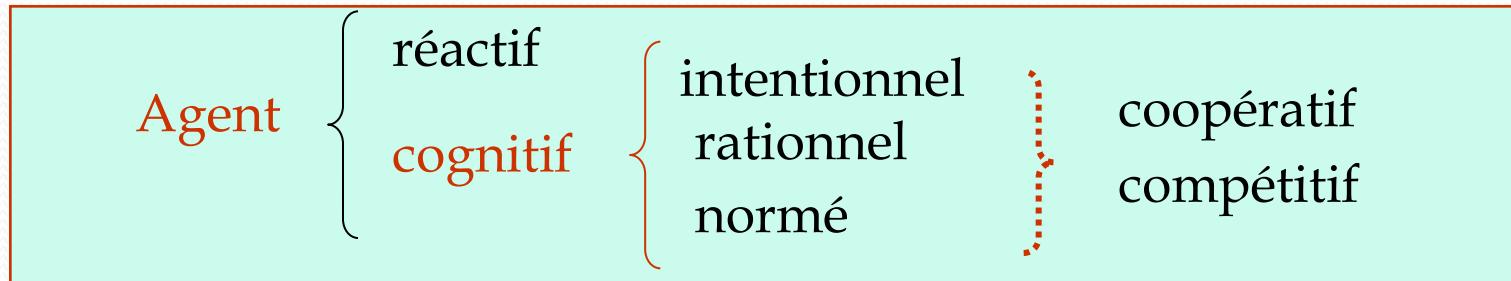
- Agents réactifs
 - agents : parties du problème lui-même
 - décomposition structurelle
 - approche ascendante
 - comportement collectif émergent
- Agents cognitifs (**délibératifs**)
 - agents : experts, solveurs
 - multi-expert
 - décomposition fonctionnelle
 - approche descendante
 - coordination explicite
- Architectures hybrides



Agent cognitif *versus* Agent réactif

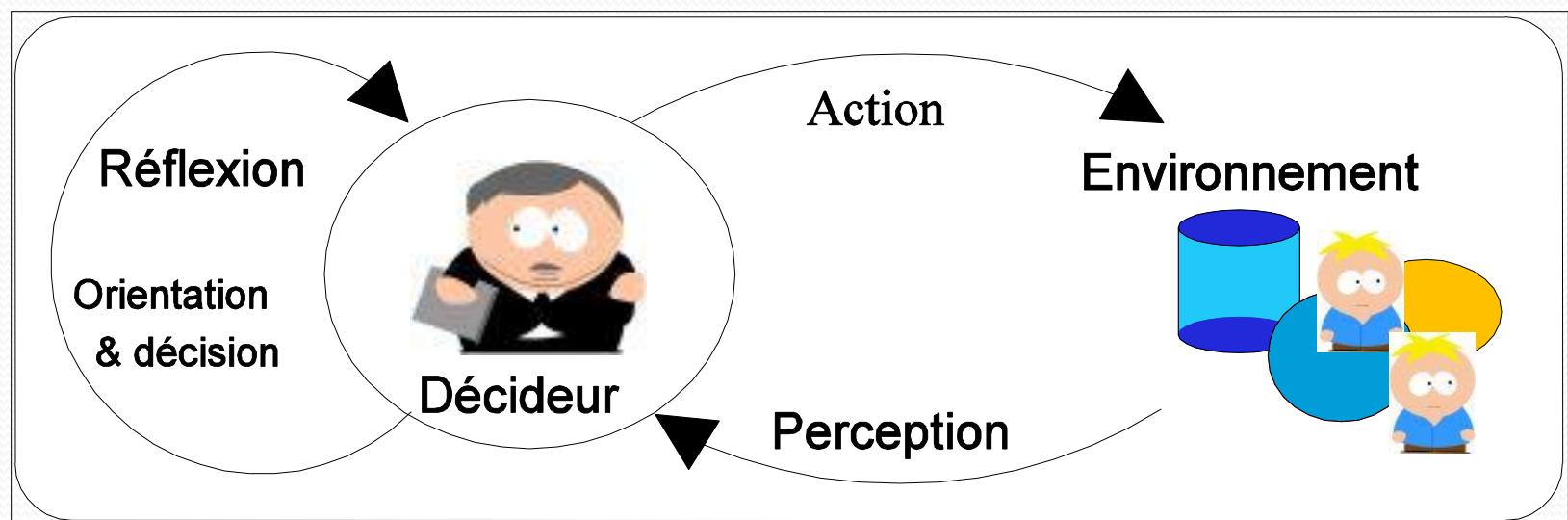


- Représentation du monde
 - Symbolique
 - Comportement
 - Orienté but
 - Fondements
 - I.A.
 - Denett, Bratman..
-
- Représentation du monde
 - Sub-symbolique (perceptions)
 - Comportement
 - Réflexe
 - Fondements
 - Inspiration éthologique, biologique ,...
 - Brooks



Agent rationnel délibératif

- Perception
- Analyse
- Décision
- Action



Agent intentionnel BDI

Rationalité pratique

Plusieurs architectures, langages de programmation et plateformes commercialisées

Humain



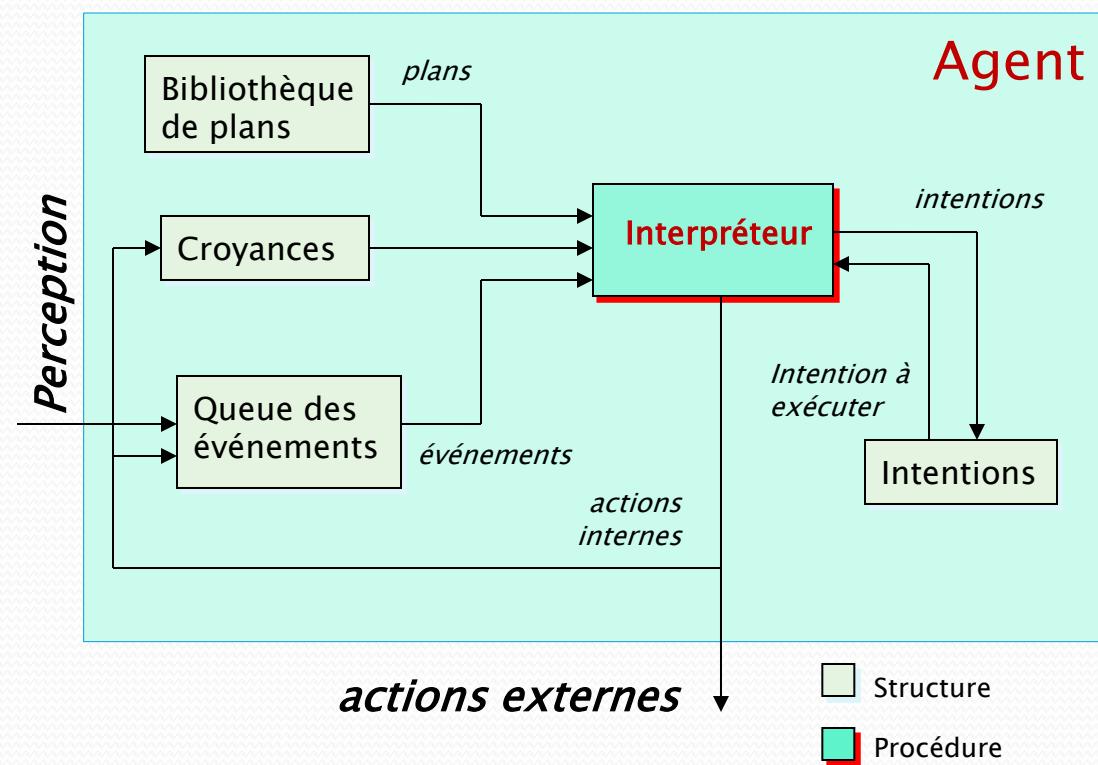
(Belief, Desire, Intentions) Agent

Croyances – Perception et connaissances du monde



Buts
(ou désirs)

Expérience et comportements accumulés



Cycle de contrôle d'un agent BDI

- b : beliefs, g : desires, i : intentions, eq : event queue

$(b,g,i) := \text{initialize}();$

repeat

$\text{options} := \text{option_generator}(eq, b, g, i);$

$\text{selected} := \text{deliberate}(\text{options}, b, g, i);$

$i := \text{selected} \cup i;$

$\text{execute}(i);$

$eq := \text{see}();$

$b := \text{update_beliefs}(b, eq);$

$(g,i) := \text{drop_successful_attitudes}(b, g, i);$

$(g,i) := \text{drop_impossible_attitudes}(b, g, i);$

forever

Introduction aux SMA

SMA cognitifs

Agent cognitif

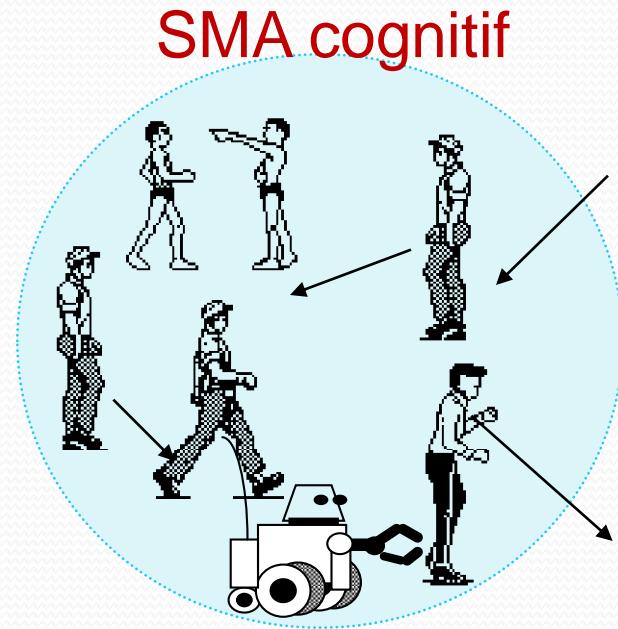


De l'individuel au collectif



I.A. vers I.A.D.

Définition : Entité autonome, physique ou virtuelle, capable d'agir, située dans un environnement avec une certaine persistance temporelle, pour satisfaire ses buts ou objectifs en fonction de ses ressources et compétences.



Ensemble d'agents cognitifs
Autonomes en interaction

**SMA Cognitifs : accent mis sur l'action, la décision et l'interaction dans un contexte collectif (*inspiration socio-mimétique*)
Capacités d'apprentissage et d'adaptation à l'environnement**

Systèmes multi agents

- Un SMA : collection organisée d'agents
- Propriétés :
 - Chaque agent a des informations et des capacités limitées pour résoudre un problème
 - Pas de système central de contrôle
 - Données décentralisées
 - Calcul asynchrone
- Besoin d'interaction

Interaction

- Mise en relation dynamique de 2 ou plusieurs agents par le biais d'un ensemble d'actions réciproques
- Interaction
 - Directe
 - Indirecte
 - A travers l'environnement
- Différentes situations d'interaction
 - Coopération ou compétition : buts, ressources et compétences

Communication support de l'interaction

- Support de l'interaction
- Communication :
 - Indirecte
 - Directe
 - Point à point
 - Multi-cast
 - Broad-cast
 - Synchrone
 - Asynchrone

Communication multi-agents

- Actes de langage [Austin, Searle]
 - « Dire c'est faire »
 - Trois composants de la communication
 - Locutoire : message
 - Illocutoire :
 - réalisation de l'acte de langage
 - Plusieurs types de performatifs
 - Perlocutoire : effet sur les destinataires

Classification des actes de langage

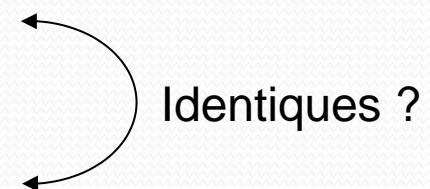
Austin (62), Searle (69), Vanderveken (88)

● Définition

Parler, c'est modifier l'état mental de ses interlocuteurs,
donc c'est agir.

● Trois aspects (ou actes) d'un énoncé

- Locutoire : l'action de dire
- Illocutoire : l'action que souhaite l'auteur
 - Notion de performatifs (*to perform*)
- Perlocutoire : les conséquences réelles



Identiques ?

Actes de langages

● Cinq catégories d'actes de langage:

- Assertifs faits/connaissances : pere(pierre,marie)
- Directifs ordres : faire(action)
- Promissifs engagements : fait(situation/date)
- Expressifs sentiments de l'agent : heureux (singe)
- Déclaratifs énoncé d'un fait : la séance est ouverte...
- Autres actes (conditions, interrogations...)

● Exemple : « Je serai là demain »

- Locutoire (l'action de dire l'énoncé) ⇒ assertif (je dis que...)
- Illocutoire ⇒ assertif (je serai là), promissif (engagement)
+ éventuellement expressif (joie)
- Perlocutoire ⇒ + expressif (menace)

Notion de performatif

- En SMA, on s'intéresse le plus souvent à l'aspect illocutoire
- Contenu illocutoire : **F(P)** (Searle, 69)
 - Force illocutoire (*performatif*)
 - Contenu propositionnel

Ex : Affirmer(**IIPleut**), Questionner(**IIPleut**), etc.

- Performatifs pour les SMA
 - Exercitifs (demandes d'actions, délégations...)
 - Assertifs (état, valeurs...)
 - Promissifs (engagements)
 - Expressifs (croyances, savoir-faire)
 - Interrogatifs (demandes d'état, valeurs...)

Langages de communication

- KQML [Finin, Labrou]
 - Plusieurs performatives
 - Un message:
 - Contenu
 - Langage (Java, XML, etc.)
 - Performative
 - Ontologie
- FIPA-ACL
 - Approche similaire
 - Sémantique formelle
 - Protocoles de communication (CNP, etc.)

ACL : exemple

Performatif : ask, ask-one, broadcast, advertise...

```
↓  
(tell  
  :sender B  
  :receiver A  
  :language KIF  
  :ontology motors  
  :reply-with s3  
  :in-reply-to s1  
  :content  
    (= (torque m1) (scalar 12 kgf))  
)
```

La syntaxe des messages KQML et FIPA-ACL est la même

Exemple d'applications cibles -

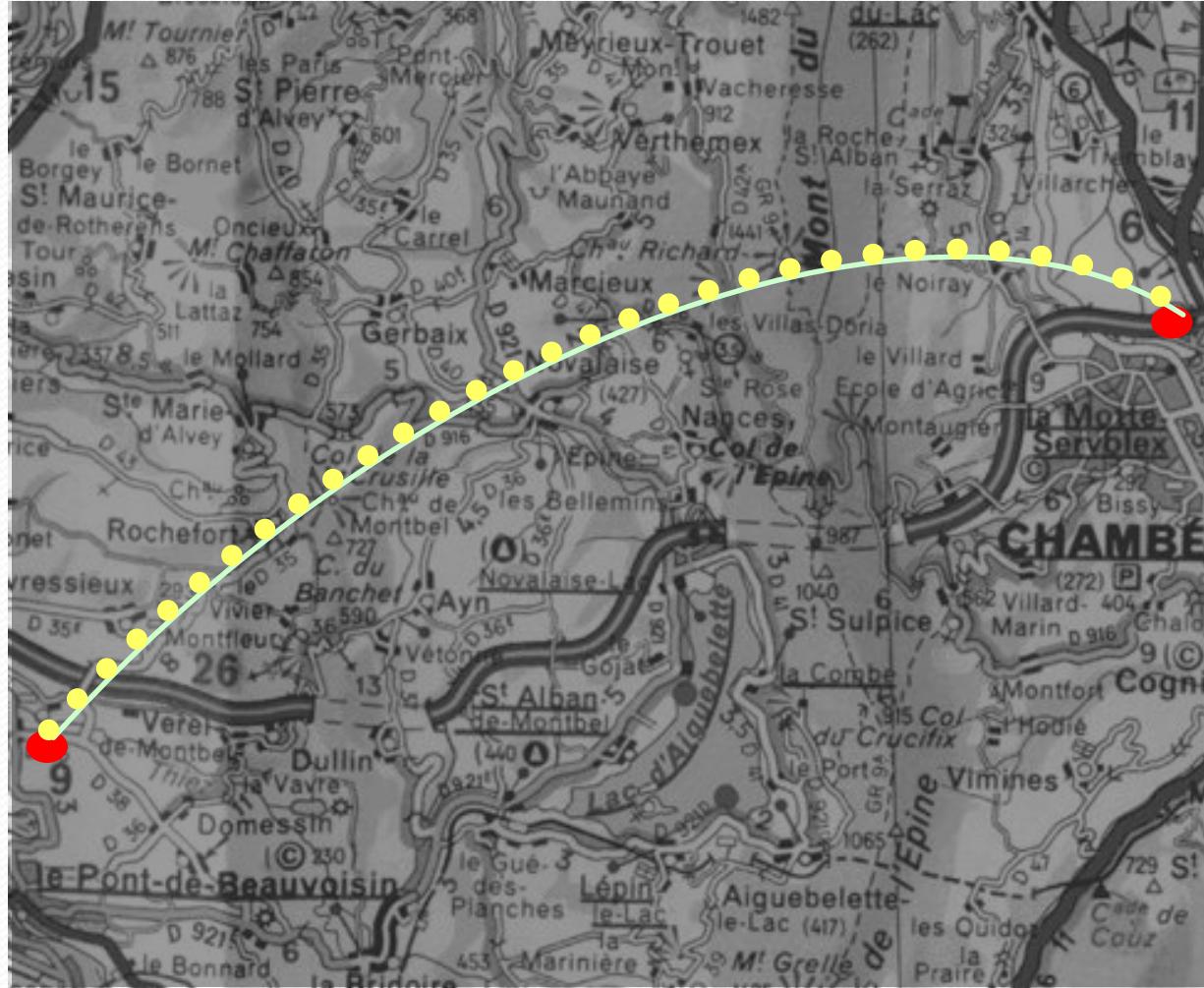
Applications (diverses et variées)

- Gestion des processus métier
- Télécommunications
- Gestion et extraction de données
- Contrôle du transport
- E-commerce
- Interfaces homme machine
- Simulations d'environnements sociaux et écosystèmes
- Divertissement
- Applications médicales
- Intelligence ambiante
- ...

Résolution de problèmes

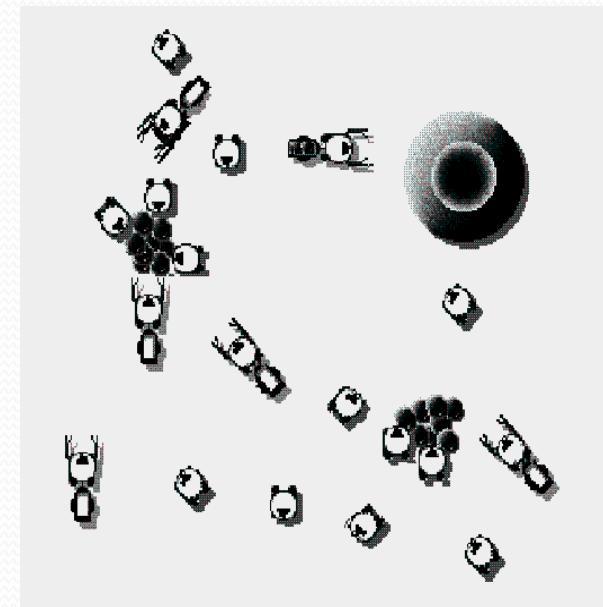
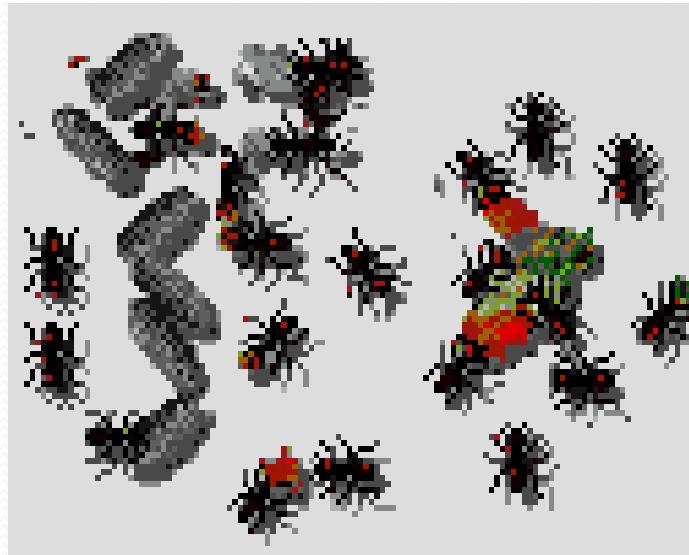
Exemple

[Ferrand 97]



Simulation multi-agent

pour :



**Comprendre, Expliquer
Découvrir, ..., Aider,**

Simulation multi-agent

<http://www.massivesoftware.com/>



The Return of the King (2003)
The Two Towers (2002)
The Fellowship of the Ring (2001)



I, Robot
(2004)
Ratatouille
(2007)



..., Divertir

Conversational Zeno Robot
<http://hansonrobotics.com/>

Caractérisation des applications SMA

- Absence de stratégie globale, de méthode globale de résolution
- Interaction entre stratégies locales, entre méthodes locales de résolution
- Solution est le résultat de l'interaction de multiples points de vue locaux (points de vue, décisions, buts, motivations, ...)
- Fonctionnement et évolution continuels

Caractérisation des applications SMA (suite)

- Exigences principales :
 - Décentralisation, ouverture
 - Environnement partagé, dynamique
 - Emergence de la solution

Intégration, Interopérabilité

- Globalisation des industries, des services, des applications informatiques
 - A l'intersection de multiples réseaux
 - La connaissance est au centre des *collaborations* et des *coopérations*
 - Internet, Web, Internet des objets sont les plate-formes supports sous-jacentes
- Inscription des industries, des services, des applications informatiques dans un environnement en évolution permanente et imprévisible
 - Combiner efficacité de la mise en œuvre des processus au cœur de l'organisation des entreprises et services
 - Tout en assurant flexibilité et agilité des processus
- Place de plus en plus centrale des utilisateurs au sein de ces réseaux de coopération et de collaboration

Coordination de services

(1) Emergency Assistance



(3) Shopping Mall



(2) Telemonitoring & e-Inclusion



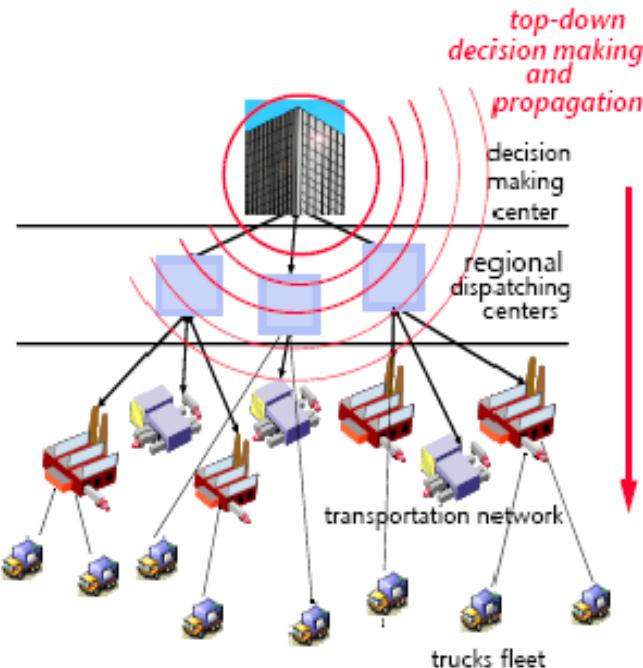
Thèse de Miniar

Source : CASCOM

FP6-IST-2



Adaptation et optimisation



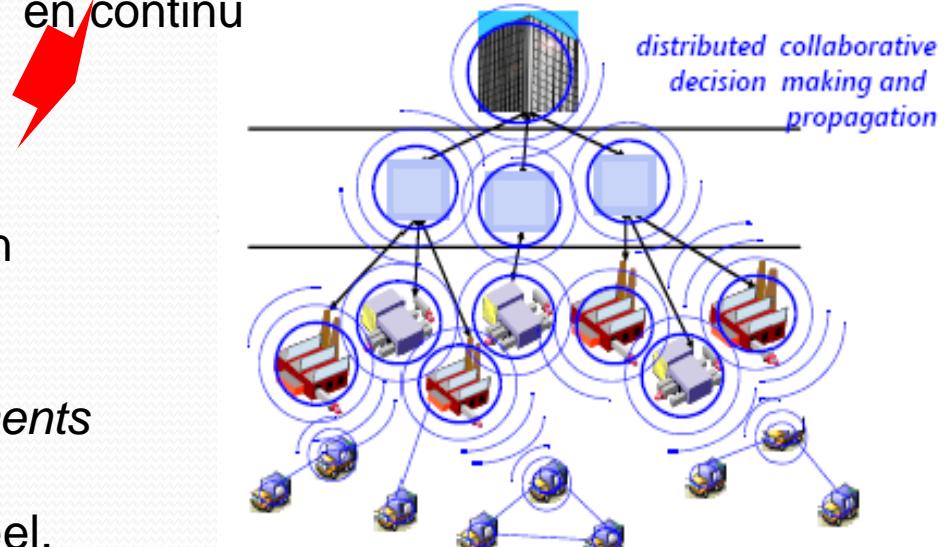
Planification, coordination, optimisation selon une approche descendante :

- Centralisation de la collecte et du traitement des informations et événements
- Propagation des plans et décisions
- Pas de prise de décision en temps réel.

Source Whitestein Agent Technology Conference 2004

Planification, coordination, optimisation selon une approche ascendante

- Délégation de la responsabilité
- Communication entre les nœuds
- Détection et réaction aux changements en temps réel
- Adaptation aux changements et optimisation en continu



... mais il n'y a pas de magie !

- Un système développé en utilisant les agents aurait probablement pu être développé avec des technologies plus conventionnelles
- L'approche agent peut :
 - simplifier la conception pour certaines classes de problèmes
 - Faire émerger des solutions « surprenantes »
- Les agents sont des logiciels (presque comme les autres)
 - Techniques de plus en plus (é)prouvées
 - Ne pas oublier les aspects génie logiciel (analyse de besoins, spécification, conception, vérification, tests...)
 - Ne pas oublier les aspects concurrence/répartition
- Trouver la bonne granularité
- Importance de la structure (organisations, protocoles, connaissances...)

Bibliographie sur les agents

- J. Ferber, « Les Systèmes Multi-Agents », InterEditions
- J. Bradshaw, « Software Agents », AAAI-Press, MIT-Press
- G. Weiss, « Multi-Agent Systems », MIT-Press
- J.-P. Briot et Y. Demazeau, « Principes et Architecture des Systèmes Multi-Agents », Hermès
- M. Wooldridge, « An Introduction to Multi Agent Systems »
- A. El Fallah Seghrouchni et J.-P. Briot (2009) "Technologies des systèmes multi-agents et applications industrielles". IC2 Series, Hermès Lavoisier
- R. H. Bordini, M. Dastani, J. Dix, A. El Fallah Seghrouchni « Multi-Agent Programming: Languages, Tools and Applications » (Multiagent Systems, Artificial Societies, and Simulated Organizations), Springer 2009.

Bibliographie sur les agents

- Ressources WEB
 - <http://sma.lip6.fr> (Le site du collège SMA)
 - <http://www.multiagent.com>
 - <http://www.aaai.org/>
 - <http://www.agentlink.org>
- Standardisation
 - <http://www.omg.org/> (The Object Management Group)
 - <http://www.auml.org/> (The Agent Unified Modelling Language)
 - <http://www.fipa.org/> (Foundation for Intelligent Physical Agents)

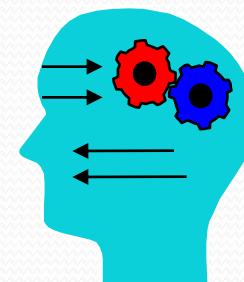
Positionnement scientifique des SMA

Origine - I.A.

- Concept d'agent à la base de l'Intelligence Artificielle
- [Wiener 48] : Approche cybernétique
 - Le contrôle de la machine ou le contrôle par la machine ?
- [Turing 56] : « Can a machine think ? »
 - Connaissance de la machine ou connaissance par la machine ?

→ Deux points de vue sur la machine :
L'approche traditionnelle et l'approche I.A.

Objet et
Processus

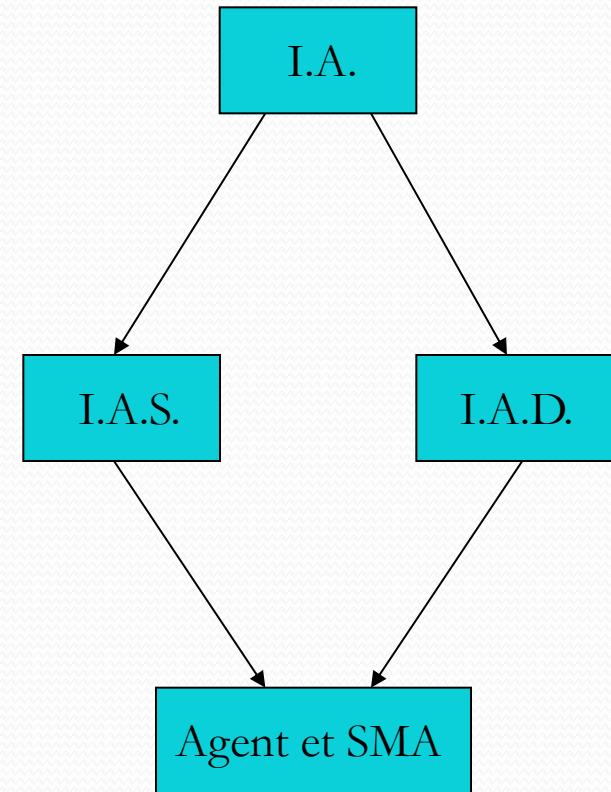


Agent (?)

L'I.A.D.

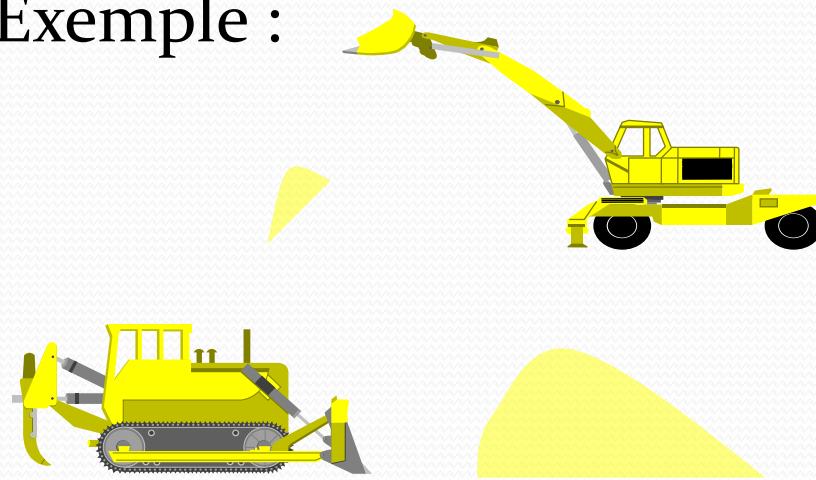
Limites de l'I.A.

- Paradigme I.A. = « le penseur isolé »
 - Exemple type : un système expert
- Deux limitations de l'I.A. classique :
 - L'ancrage des symboles
 - **I.A.S.** : Intelligence Artificielle Située
 - Relation agent / environnement
 - Adaptation, apprentissage
 - La distribution des problèmes
 - **I.A.D.** : Intelligence Artificielle Distribuée
 - « La société de l'esprit » [Minsky 88]
 - Coopération entre agents, SMA



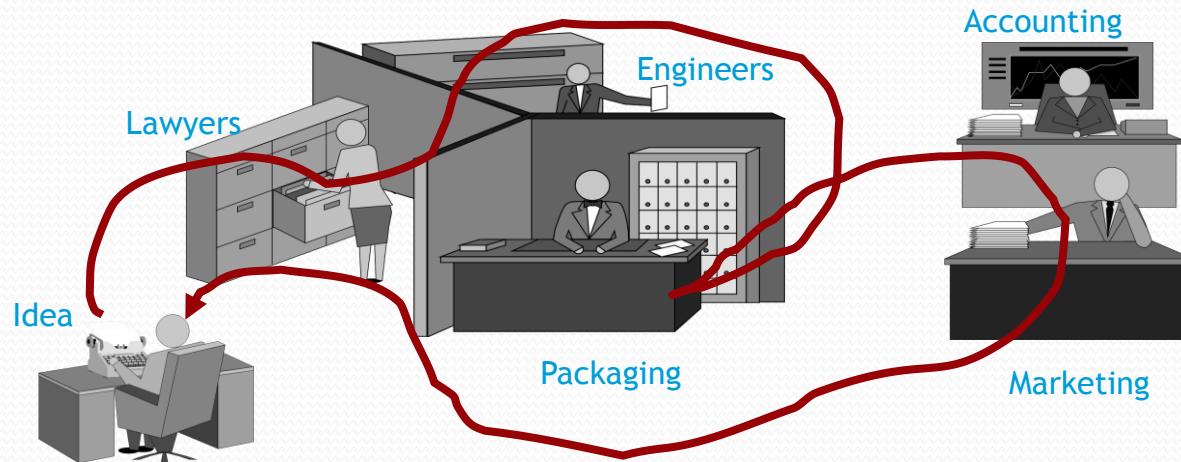
I.A.D. – Pourquoi distribuer ?

- La plupart des applications ou problèmes réels font intervenir des systèmes physiquement et fonctionnellement distribués.
- Exemple :



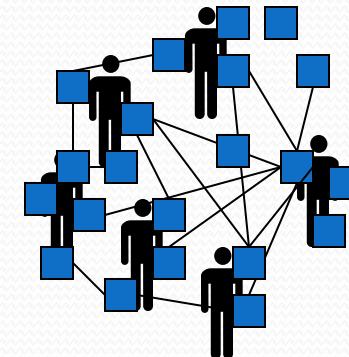
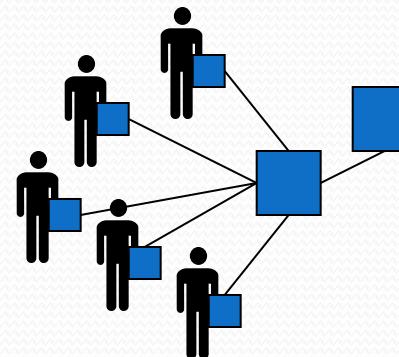
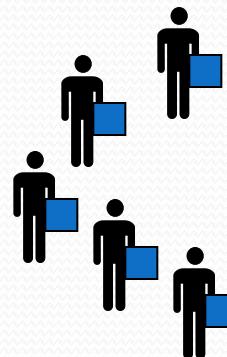
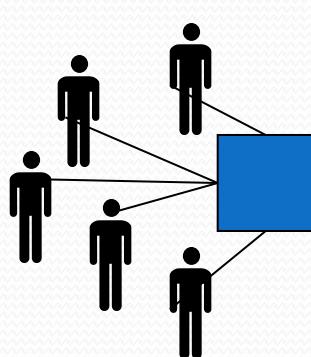
I.A.D. – Pourquoi distribuer ?

- Distribution fonctionnelle dans les activités humaines (comme la conception d'un produit, par exemple) :
 - Décomposition du problème en fonction des spécialités



I.A.D. – Pourquoi distribuer ?

- Évolution de l'informatique vers le « Pervasive Computing » (informatique diffuse)

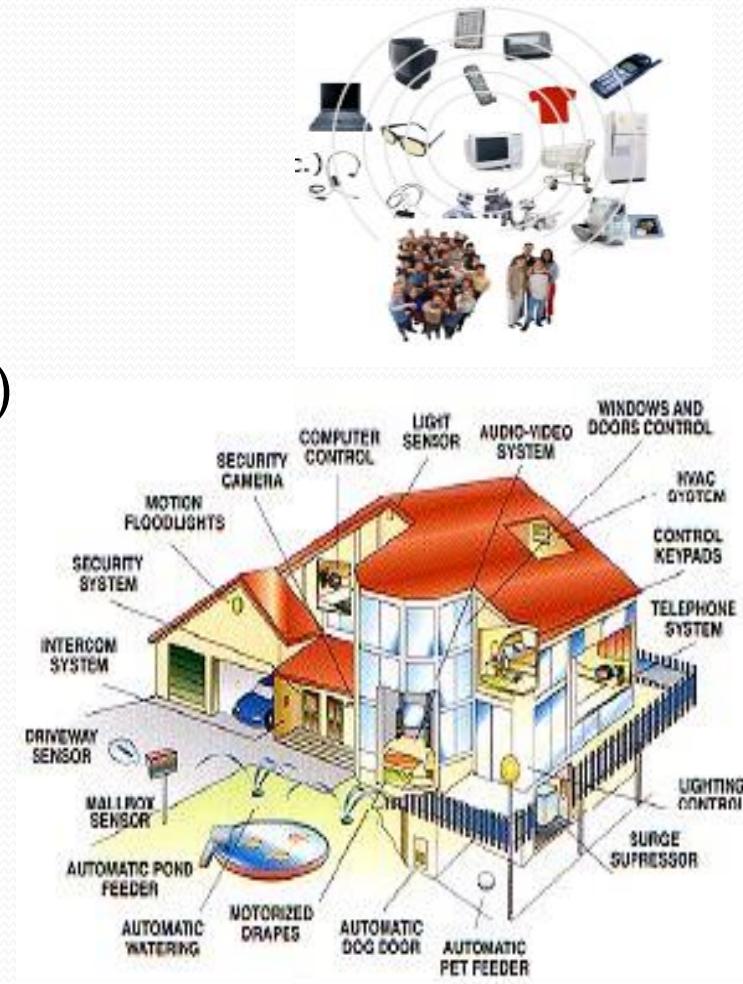


1950: Mainframe 1980: Micro-ordinateur 1990: Internet 200?: Informatique diffuse

- Nouveaux « systèmes » informatiques (amorphous computing)
 - Construits de façon ascendante,
 - Logiciels et matériels hétérogènes,
 - Aucune contrôle global possible,
 - Configurations et fonctionnalités évolutives,
 - Situés dans des environnements dynamiques

Exemple : Intelligence ambiante

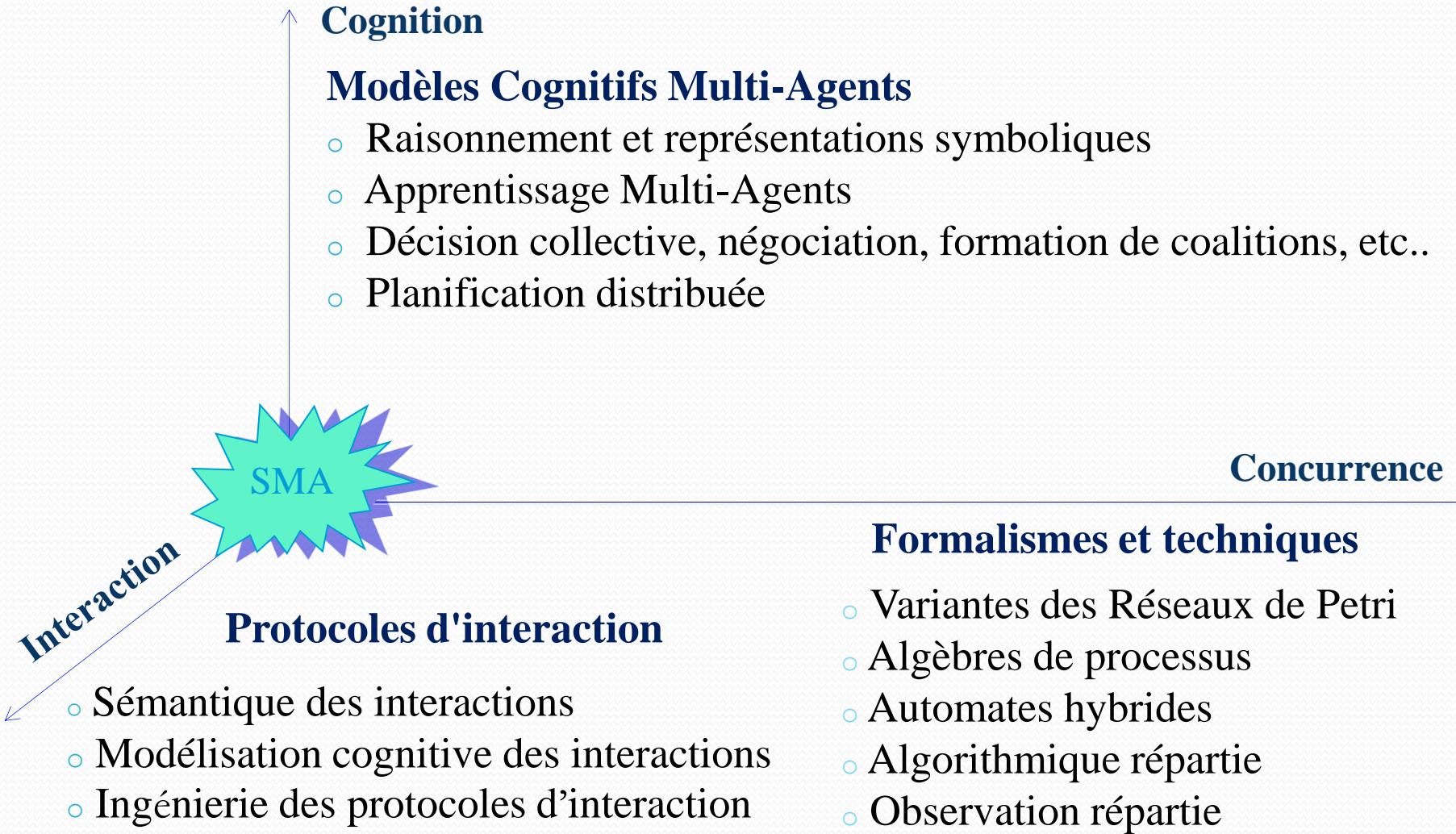
- Objets usuels dotés de capteurs, microprocesseurs, logiciels embarqués
 - Mobiles ou pas
 - Communicants (Wifi, BlueTooth)
 - (Semi-) autonomes (par nécessité)
 - Sensibles au contexte
 - Interfaces utilisateur avancées (multi-modales : voix, gestes, etc.)



Positionnement des SMA

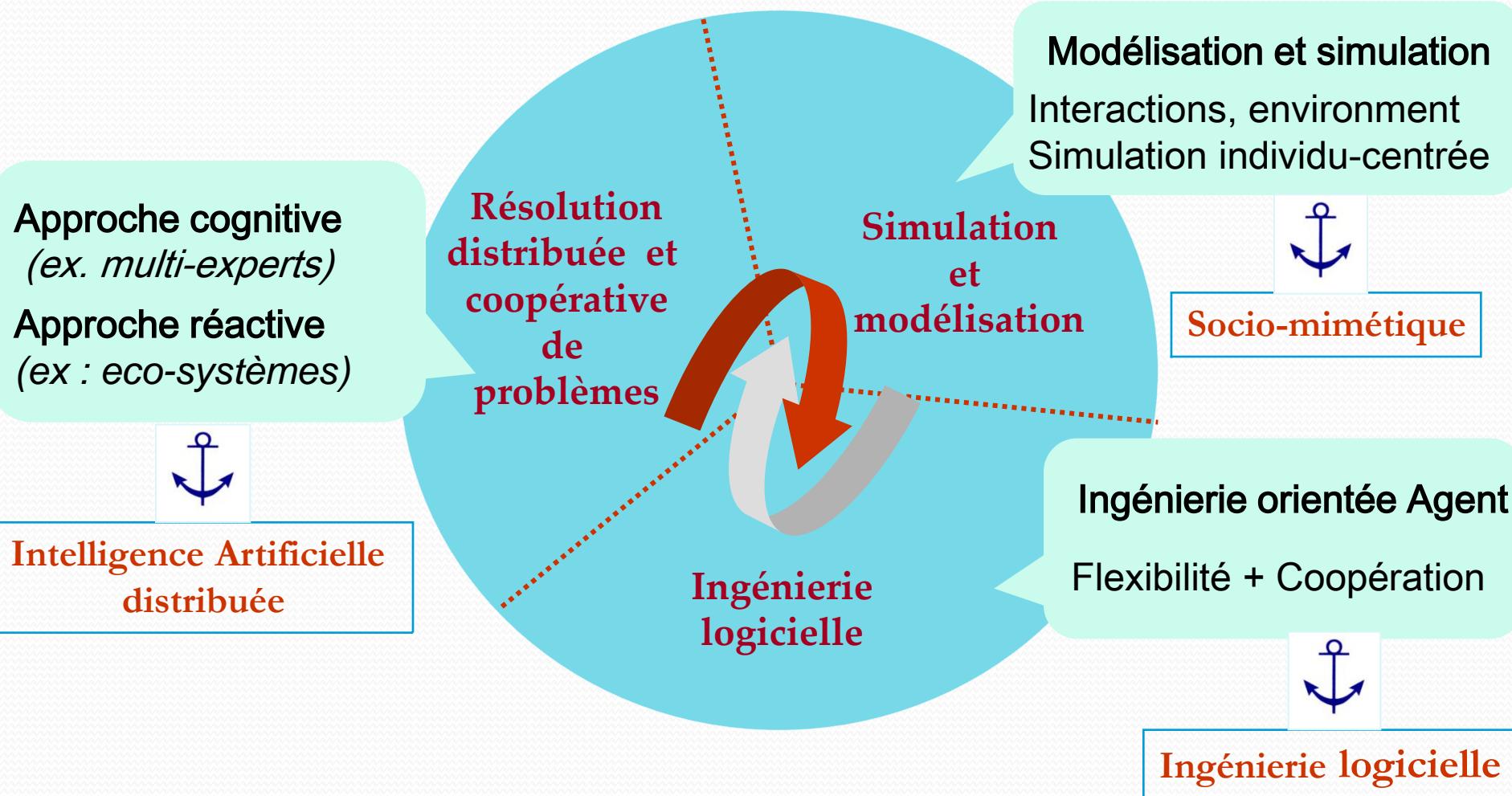
- Le domaine SMA vient de l'IA
 - Domaine relativement général
 - Fédère plusieurs domaines techniques de l'IA (planification, coordination, négociation, décision, apprentissage)
- Recoupe l'informatique distribuée
- Rejoint le génie logiciel
- Le domaine SMA porte son attention plus particulièrement sur les systèmes :
 - Hétérogènes
 - Ouverts
 - Mixtes (machines et humains)

Espace SMA cognitifs



SMA : 3 classes de problèmes scientifiques

[Action Spécifique du CNRS : SMA, 2004-2005]



Domaines de recherche (technologiques)

- Programmation orientée agent
 - Agent-o
 - 3APL
 - AgentSpeak et Jason
 - Claim
- Méthodologies de conception orientée agent
 - AUML
 - Gaia
 - Aalaadin
 - Cassiopeia
- Plateformes d'agents
 - Jade
 - Jack
 - Zeus
 - Sympa

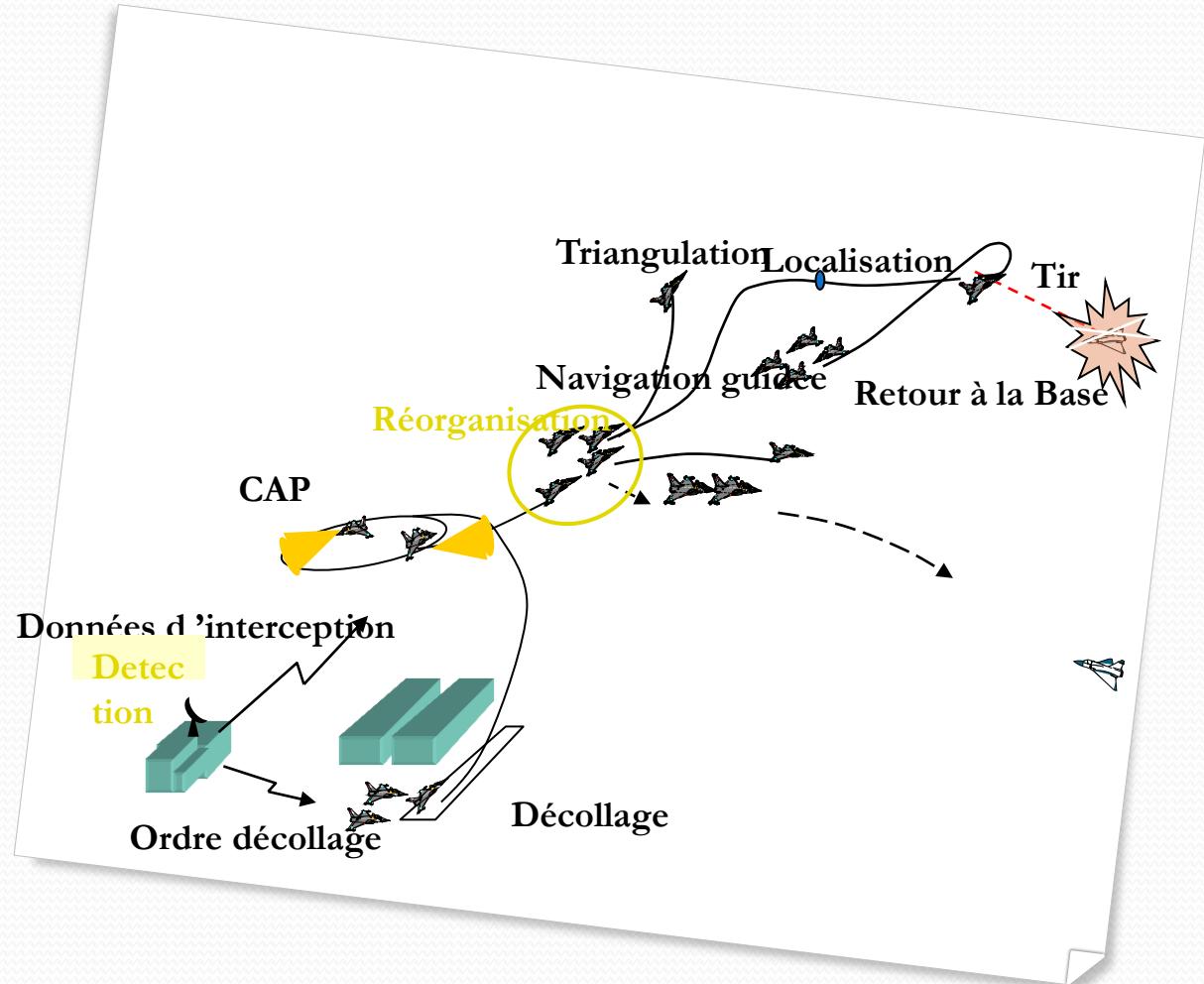
Domaines de recherche (théoriques)

- Résolution distribuée de problèmes
- Simulation multi-agents
- Planification multi agent et/ou distribuée
- Collaboration et coordination
- Structures organisationnelles
- Décision collective et négociation
- Apprentissage multi-agents
- Etc..

Planification de mission aérienne

En collaboration avec
Frédéric Marc et Irène
Degrymencyan-Cartault

Dassault-Aviation



Agentification de la mission

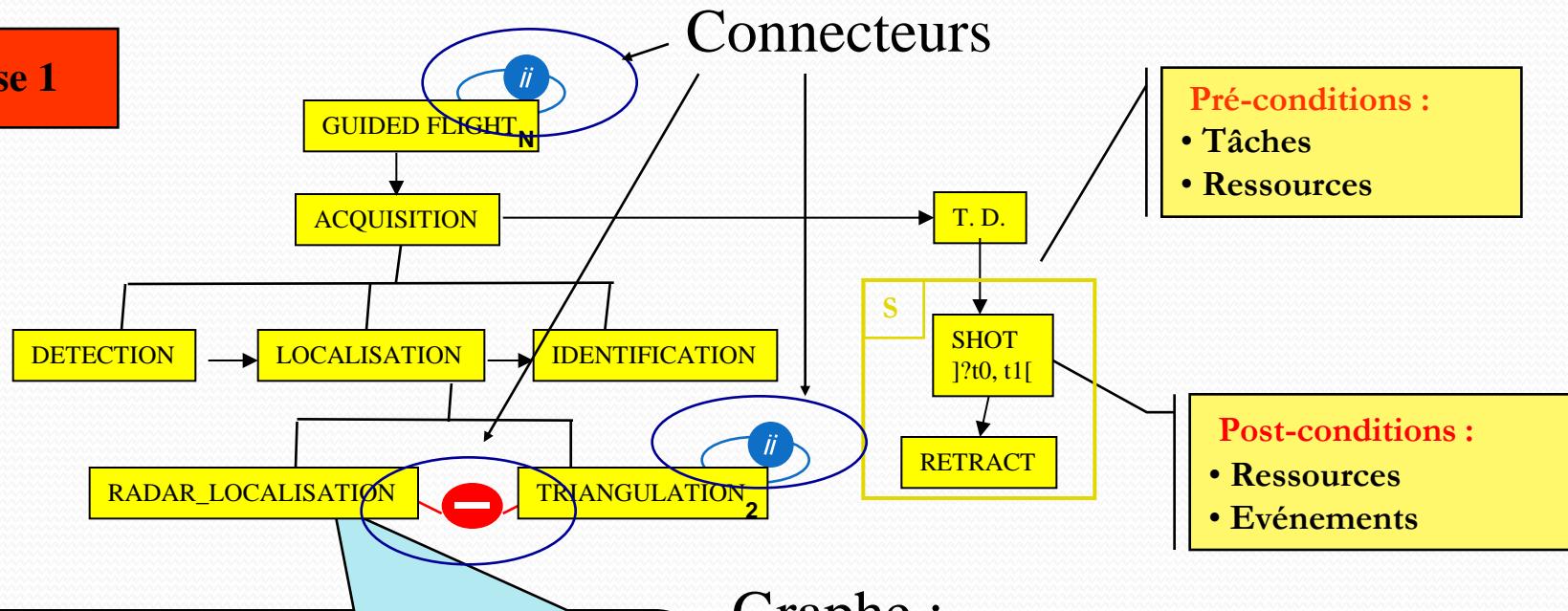
- Hypothèses
 - Une mission : ensemble de dépendances fonctionnelles
 - Agents autonomes : pilotes avec vision partielle de l'environnement
 - But global partagé : la mission
 - Contraintes fonctionnelles et contraintes sur les ressources
- Démarche
 - **Comportement : plan d'actions**
 - Représentation et manipulation de plans individuels et collectifs
 - Formalisme permettant la gestion des contraintes temporelles et des ressources (continues et discrètes)
 - **Adaptation des plans dans un contexte dynamique**
 - Opérations sur les plans pour la (re-)planification, la synchronisation et la coordination (*e.g.* ressources, actions)
 - **Contrôle et validation des plans sous contraintes**
 - **Mise en œuvre : intégration dans des outils de simulation**

Approche en cinq phases

1. Graphe de Dépendances Fonctionnelles – **Formalisation**
2. Allocation des tâches du GDF aux agents selon les contraintes entre les tâches - **Consensus entre agents**
3. Planification Individuelle - **Génération automatique de plan**
(Modélisation des plans individuels par des automates hybrides)
4. Planification multi-agent
 - Plan Multi-Agent : **réseau d'automates hybrides synchronisés**
(envoi/réception de messages, variables partagées, etc.)
 - Protocole multi-agent de validation
 - Model Checker HYTECH (propriété d'atteignabilité, synchronisations)
5. Replanification

Définition du graphe des dépendances fonctionnelles

Phase 1

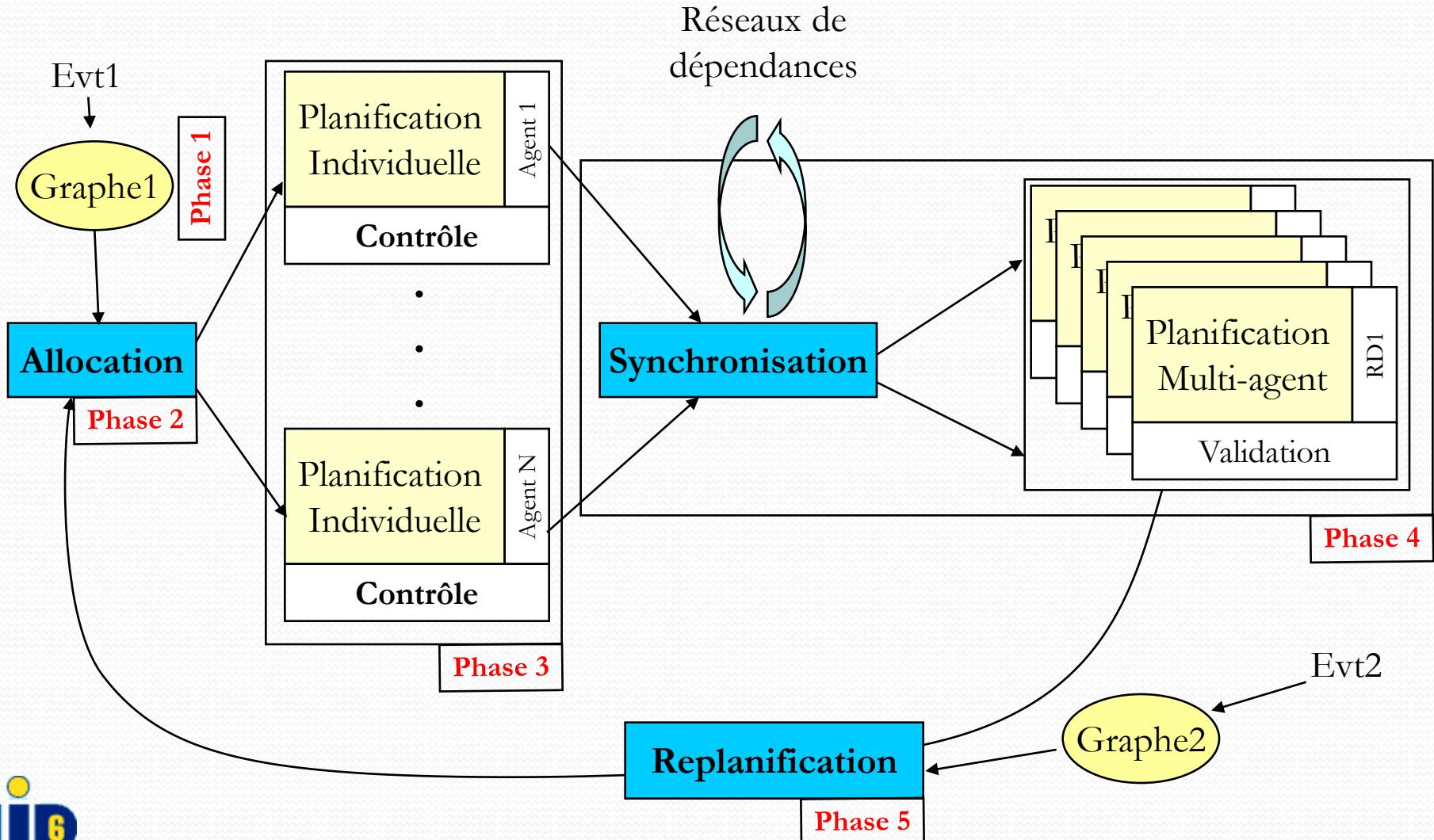


- Capacités requises et niveau de spécification
- Nombre d'agents
- Parallélisme
- Exclusion
- Allocation de contraintes
- Interruptibilité

Graphe :

- Tâches
- Contraintes fonctionnelles entre les tâches : Seq, Sstart, Send, Exc, Chains
- Objectifs temporels

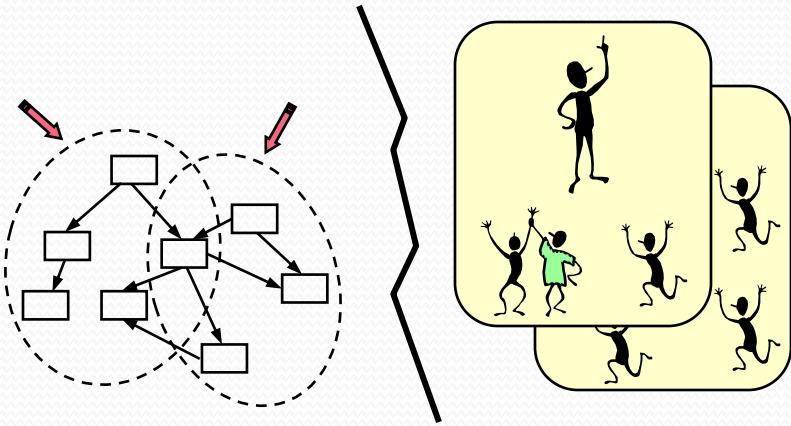
Cycle d'élaboration d'un plan faisable



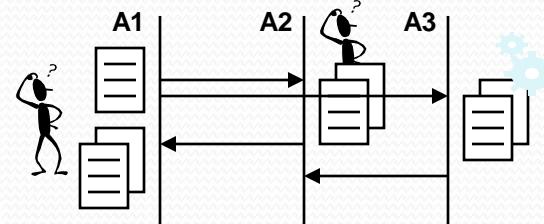
Logiciel SCALA

Niveau d'abstraction

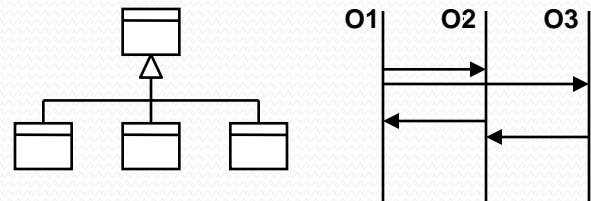
SCALA



JACK

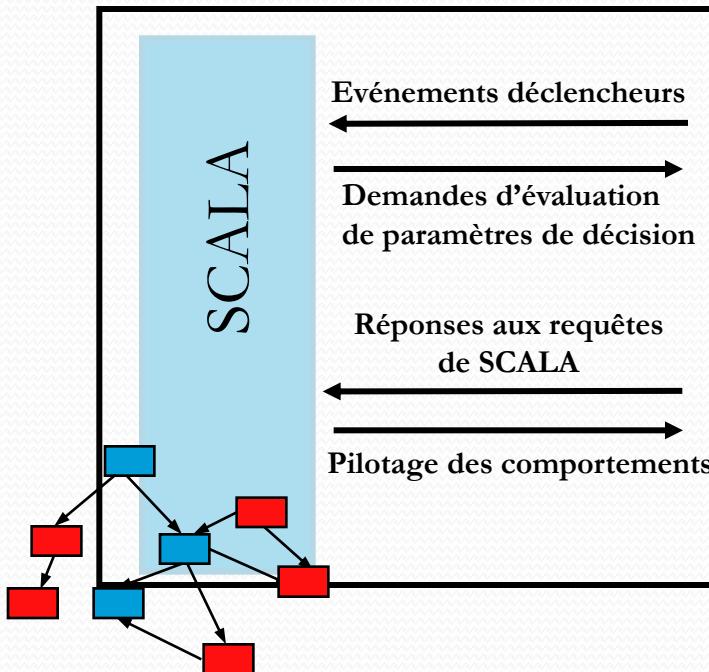


JAVA



JACK : Plateforme d'agents BDI

Apports Applicatifs



1. Connexion et Adaptation

2. Intégration :

Structure d'Automates, Modules

Simulateur 2

Simulateur 1

Définition des scénarios
Simulateur de théâtre opérationnel



- Flexibilité, Rejet facile
- Découplage modèle physique des capacités de raisonnement,
- Comportement d'entités autonomes contrôlé et validé