

Introduction aux (Multiples) Agents

Jean-Pierre Briot

Thème OASIS

(Objets et Agents pour Systèmes d'Information et Simulation)

Laboratoire d'Informatique de Paris 6
Université Paris 6 - CNRS



Jean-Pierre.Briot@lip6.fr



Objectif (Ambitions)

- Introduire la notion d'agent (ou plutôt les notions d'agents)
- Positionner le concept d'agent dans l'histoire de l'informatique (intelligence artificielle, programmation...)
- classifier les différentes familles (techniques et applications) d'agents
- classifier les notions importantes et les différents niveaux
- positionner la notion d'agent par rapport à la notion d'objet distribué



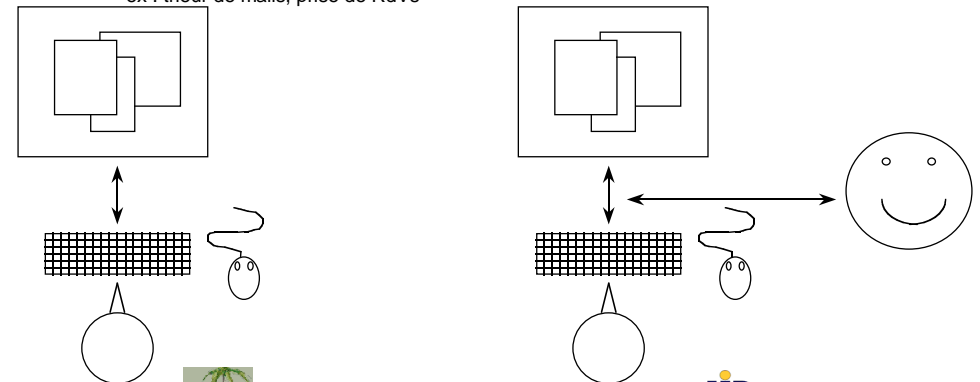
Motivations (inspiré de [Bradshaw 97])

- Complexité croissante des applications informatiques, plus ouvertes, plus hétérogènes, plus dynamiques
 - exemple : le Web et toutes les couches qui le supportent
 - exemple2 : objets communicants, prise de RdVs avec PDAs...
 - comment décomposer, recomposer, interopérer, gérer l'évolution, adaptation, contrôle, négociateur (partage ressources, prise de RdV),...
 - limitations des approches informatiques classiques : statiques, homogènes, interfaces rigides, objets/composants sans initiative propre, client serveur
- Agents logiciels
 - autonomie, initiative, niveau connaissance, adaptation, inter-opérabilité
 - coopératifs (avec autres PDAs, etc.)
 - On parle alors de :
- Systèmes multi-agents
 - protocoles de communication et de coordination, organisations



Motivations (2)

- Limitations des interfaces homme-machine classiques
 - à manipulation directe / explicite
 - rigidité, complexité, ne s'améliore pas à l'usage
- Agents assistants
 - adaptation au profil de l'utilisateur, automatisation de certaines tâches, rappel d'informations utiles, initiative
 - ex : trieur de mails, prise de RdVs



Agents assistants

- Ex : Bargain Finder, Letizia, Firefly (MIT AI Lab)...
- « If you have somebody who knows you well and shares much of your information, that person can act on your behalf very effectively. If your secretary falls ill, it would make no difference if the temping agency could send you Albert Einstein. This issue is not about IQ. It is shared knowledge and the practice of using it in your best interests. »
[Negroponte, Being Digital, 1995]
- Complémentarité (humain - agent)
 - Utilisateur : « lent » en calcul ; agent : « rapide »
 - Utilisateur : peu de mémoire à court terme, mais accès associatif à mémoire à long terme
 - Utilisateur : langage naturel et vision ; agent pas encore...
 - « Tell an agent what to do » vs « Show what an agent what to do »

- Critique : agents of alienation [Lanier, 1995]



Rappel historique (vis à vis de l'IA)

- Concept d'agent rationnel à la base de l'intelligence artificielle (IA)
 - système informatique autonome
 - connaissances, buts, pouvoirs, perceptions, raisonnement/délibération (résolution, planification, déduction, etc.), actions
 - système expert
- Limitation : Autarcie !!
 - autarcie logicielle : difficile à faire collaborer avec d'autres logiciels
 - autarcie sociale : censé remplacer l'homme, pas de collaboration (expert humain en dehors de la « boucle »)
- Réponses
 - agents coopératifs
 - systèmes multi-agents
 - distributed artificial intelligence (DAI versus GOFAI)
 - agents assistants



Rappel historique (vis à vis de la programmation)

- Interview Les Gasser, IEEE Concurrency 6(4):74-81, oct-déc 98
- langage machine
- assembleur
- programmation structurée
- programmation par objets
- programmation par agents !
- concept d'action persistante
- programme qui tente de manière répétée (persistante) d'accomplir quelque chose
- *mission et initiatives pour l'accomplir*



action persistante

- programme qui tente de manière répétée (persistante) d'accomplir quelque chose
 - pas la peine de contrôler explicitement succès, échec, répétition, alternatives...
- description de :
 - (quand) but == succès
 - méthodes alternatives
 - * apprentissage (de nouvelles méthodes)
- ressources :
 - processus
 - itération (tant que)
 - options/solutions (situation -> action)
 - capacité de choix (on line - sélection d'action)
 - recherche (search) -- en cas de nouvelles situations
 - feedback sur le choix



Une vision différente du logiciel

- Pour un système (logiciel) complexe, impossible de prédire au moment de la conception toutes les interactions potentielles
- Ceci est rendu encore plus difficile si l'on considère l'évolutivité du logiciel ainsi que celle de son environnement (autres logiciels)
- Composants logiciels « adaptables »
 - Organisations (cf architectures logicielles) explicites (entités de première classe)
 - Les interactions non prévues deviennent la norme et non plus l'exception [Jennings 1999]
 - Le couplage entre composants est abordé au niveau des connaissances et non plus au niveau des types de données (sûr mais rigide)



(Autres) Exemples

- Contrôle de sonde/vaisseau spatiale
 - Distance avec le contrôle au sol -> temps de réaction
 - -> Nécessité d'un contrôle local : autonomie
 - capacités de prises de décision en cas de situations non prévues : initiative
- Recherche d'information sur Internet
 - Processus long et difficilement prédictible
 - (attente, découverte, pannes...)
 - -> Délégation du cahier des charges : autonomie et initiative



Qu'est-ce qu'un agent ?

- Petit Robert :
 - De agere « agir, faire »
 - « Celui qui agit (opposé au patient qui subit l'action) »
 - « Ce qui agit, opère (force, corps, substance intervenant dans la production de certains phénomènes) »
 - De agens « celui qui fait, qui s'occupe de »
 - « Personne chargée des affaires et des intérêts d'un individu, groupe ou pays, pour le compte desquels elle agit »
 - « Appellation de très nombreux employés de services publics ou d'entreprises privées, généralement appelés à servir d'intermédiaires entre la direction et les usagers »
- American Heritage Dictionary :
 - « one that acts or has the power or authority to act... or represent another »
 - « the means by which something is done or caused; instrument »



Qu'est-ce qu'un agent ?

- [Ferber 95]
 - on appelle agent une entité physique ou virtuelle
 - qui est capable d'agir dans un environnement,
 - qui peut communiquer directement avec d'autres agents,
 - qui est mue par un ensemble de tendances (sous la forme d'objectifs individuels ou d'une fonction de satisfaction, voire de survie, qu'elle cherche à optimiser),
 - qui possède des ressources propres,
 - qui est capable de percevoir (mais de manière limitée) son environnement,
 - qui ne dispose que d'une représentation partielle de cet environnement (et éventuellement aucune),
 - qui possède des compétences et offre des services,
 - qui peut éventuellement se reproduire,
 - dont le comportement tend à satisfaire ses objectifs, en tenant compte des ressources et des compétences dont elle dispose, et en fonction de sa perception, de ses représentations et des communications qu'elle reçoit.



typologie (Babel agents) 1/3

- agents rationnels
 - IA, comportement délibératif, perceptions, croyances, buts
 - ex : systèmes experts
- systèmes multi-agents
 - résolution distribuée (décentralisée) de problèmes
 - coordination, organisation
 - ex : robotique collective
- agents logiciels
 - ex : démons Unix, virus informatiques, robots Web
- agents mobiles
 - code mobile -> objet mobile -> agent mobile (processus)
 - motivations : minimisation communications distantes, informatique nomade
 - technologie en avance sur les besoins
 - problèmes de sécurité, coquilles vides



typologie (Babel agents) 2/3

- agents assistants
 - secrétaire virtuelle (trie le mail, gère les RdVs...)
 - < logiciel utilisateur + assistant >
 - filtrage collaboratif
 - computer-supported cooperative work -> communityware (pour citoyens)
 - agents « émotionnels »
- agents robotiques
 - architectures de contrôle de robots
 - sélection de l'action
 - robotique collective (ex : RoboCup, déminage...)
- vie artificielle
 - alternative à l'IA classique
 - modélisation/simulation des propriétés fondamentales de la vie (adaptation, reproduction, auto-organisation...)
 - importation de métaphores biologiques, éthologiques...
 - ex : algorithmes à base de fourmis (agents) pour routage de réseaux



typologie (Babel agents) 3/3

- simulation multi-agent
 - simulation centrée individu vs modèle global (ex : équations différentielles)
 - + modèle de comportement arbitrairement complexe
 - + interactions arbitrairement complexes (ex : sociales, irrigation parcelles)
 - + niveaux hiérarchiques (ex : bancs de poissons)
 - + différentes échelles de temps
- agents de loisir
 - virtuels (ex : jeux vidéo)
 - virtuels-physiques (ex : Tamagotchi)
 - physiques (ex : Furby, robot-chien Aibo de Sony)



Welcome newcomers!

Register
It's free and fun

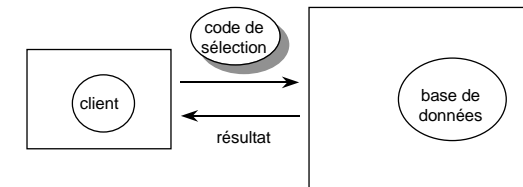
Sell
your item

Chat about
Furbies

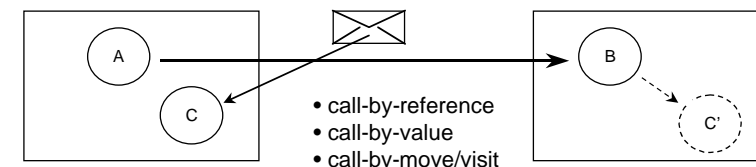


Code/objets/agents mobiles

- Code mobile
 - rapprocher (code) traitement des données
 - ex : SQL

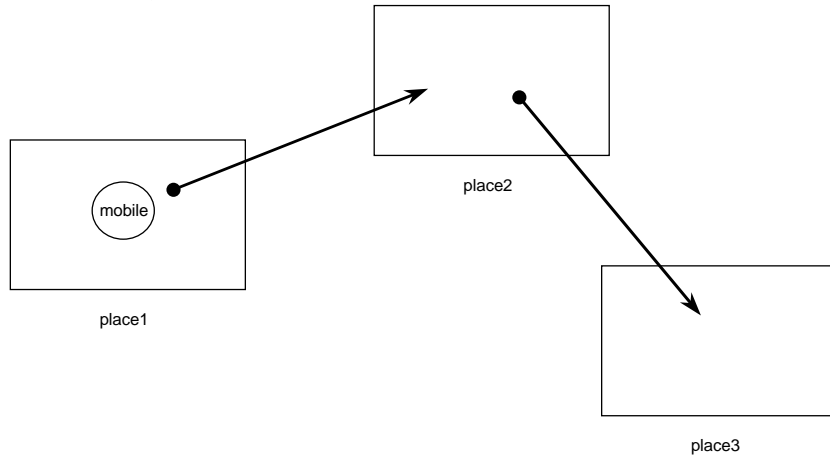


- Objet mobile
 - PostScript (code + données constantes)
 - Emerald [Black et al. IEEE TSE 87]



Agent mobile

- Telescript
- (Java) Odissey, Aglets, Voyager, Grasshopper, D'Agents (ex-AgentTcl), OMG MASIF, FIPA...

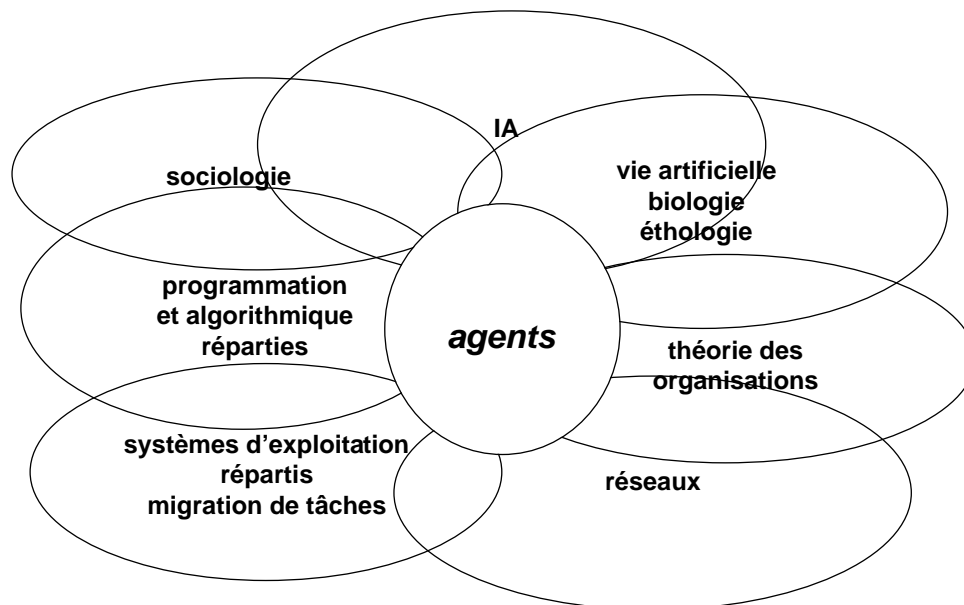


Agents mobiles

- Avantages des agents mobiles
 - Réduction du trafic (traitement local -> données échangées réduites)
 - Robustesse
 - Déconnexion du client mobile (informatique nomade : pause, tunnel, ombre...)
 - Pannes (moindre sensibilité aux)
 - Confidentialité (traitement local)
 - (mais problèmes de sécurité)
 - Evolution logicielle
 - Off-line
 - Diffusion (versions) de logiciels (download)
 - On-line
 - Réseaux actifs
 - Données et Méta-données de contrôle (capsule)
- « Find the killer application ! »
 - Une nouvelle technique (parmi les) de programmation répartie
 - Combinaison (avec les autres) et non pas remplacement
- Problèmes
 - Sécurité, hétérogénéité, expérience



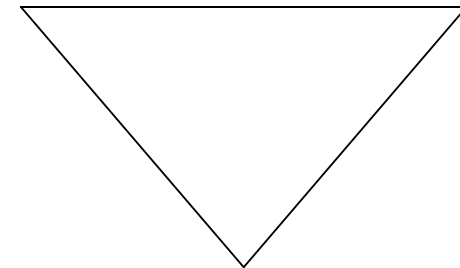
agents



OASIS = Intégration

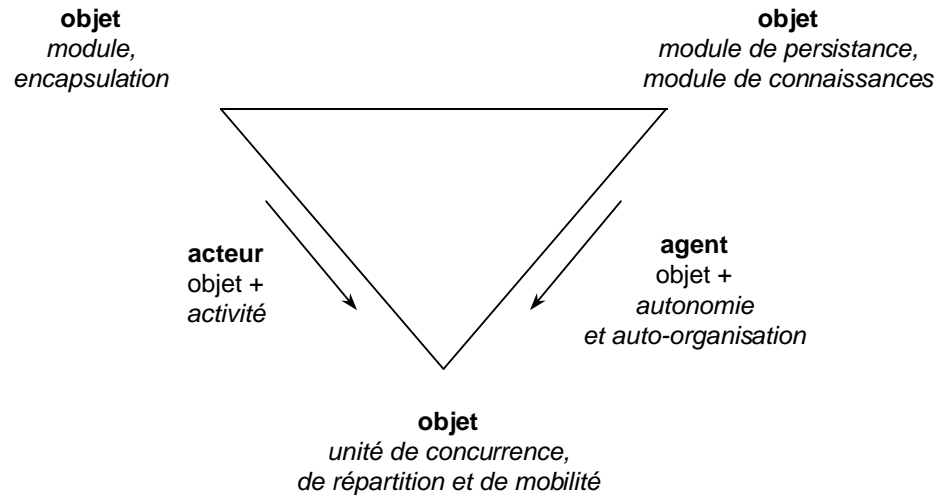
**programmation
génie logiciel**
*données,
procédures,
algorithmes*

**représentation et traitement
des données et connaissances**
*indexation,
connaissances du domaine,
raisonnement,
heuristiques*



parallélisme et distribution
*concurrence, communication,
coordination, répartition, persistance,
mobilité*





- **ermites**
 - représenter un humain
 - données+procédures (objet)+contrôle+ressources(processus) (acteur)
 - réactivité, autonomie
 - action persistante
 - pro-activité, mission
 - capacités entrées/sorties et communication
 - * mobilité
 - * apprentissage
- **agents sociaux**
 - langage de communication entre agents (KQML, ACL, XML...)
 - échange de données
 - tâches
 - modèle (représentations) des autres
- **multi-agent**
 - action collective
 - division du travail (spécialisation)
 - coordination/intégration (gestion des dépendances et de l'incertain)



agents cognitifs vs agents réactifs

- **agents cognitifs**
 - représentation explicite
 - soi
 - connaissances (beliefs)
 - buts (intentions)
 - tâches
 - engagements
 - environnement
 - autres agents
 - compétences
 - intentions
 - 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
 - top down, systématique
 - certaines validations formelles possibles



agents réactifs vs agents cognitifs

- **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
 - bottom up
 - validation expérimentale



Agent, dans l'œil de l'observateur ??

- bilame d'un chauffe-eau
- test de Turing
- est-ce qu'un objet/processus distribué pourrait faire la même chose ??
- rationalité
- intentionnalité
 - comportement individuel
 - comportement collectif
- Canon de Morgan (1894) - psychologie comparative - éthologie
 - « En aucun cas, nous ne pouvons interpréter une action comme la conséquence d'un exercice ou d'une faculté psychique plus haute, si elle peut être interprétée comme l'aboutissement d'une faculté qui est située plus bas dans l'échelle psychologique »
 - -> behaviorism (explication causale) vs intentionnel (explication fonctionnelle)
- mesures quantitatives « objectives » ?
 - ex : ajout d'un agent -> pas de dégradation des performances (éventuellement amélioration)



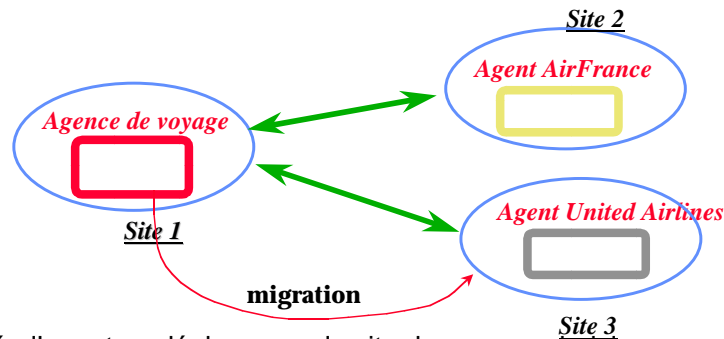
Décomposition

- décomposition des tâches, plans, sous-buts
- assignation aux agents
 - division du travail (spécialisation) vs totipotence
 - organisation, rôles
 - réseaux d'accointances
 - représentations des capacités des autres agents
 - appel d'offre,
 - Contract Net protocol [Smith IEEE Transac. Computers 80]
 - market-based algorithms
 - mise aux enchères (protocoles : à la bougie, anglaise, hollandaise...)



Exemple de protocole de coopération entre agents : choix du meilleur billet d'avion

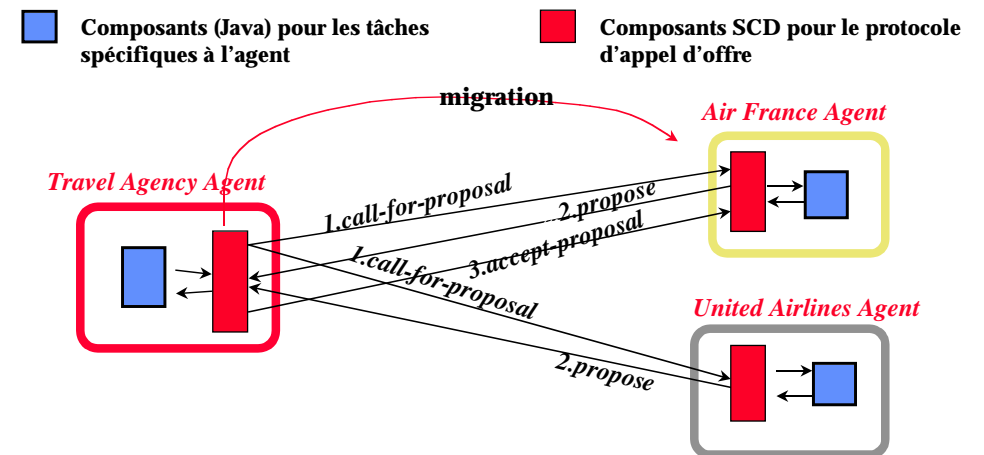
- Deux agents serveurs de voyage, un agent agence de voyage
- Coopérer suivant un protocole d'appel d'offre (Contract net protocol) pour trouver un vol de prix minimal.



- Mobilité : l'agent se déplace vers le site du serveur choisi pour continuer la conversation (et optimiser les communications)



Exemple



Organisations

- 3 points de vue [Scott 81] :
 - organisations rationnelles
 - collectivités à finalités spécifiques
 - objectifs, rôles, relations (dépendances...), règles
 - organisations naturelles (végétatives)
 - objectif en lui-même : survie (perpétuer l'organisation)
 - stabilité, adaptativité
 - systèmes ouverts
 - inter-relations/dépendances avec d'autres organisations, environnement(s)...
 - échanges, coalitions
- organisations abstraites
 - rôles
 - ex : client, producteur, médiateur
 - spécialisation des agents (simplicité vs flexibilité)
 - redondance des agents (efficacité vs robustesse)
 - relations
 - dépendances, hiérarchie, subordination, délégation
 - protocoles d'interaction/coordination
 - gestion des ressources partagées



Organisations (2)

- agents cognitifs
 - organisation explicite
- agents réactifs
 - organisation semi-implicite
 - façonnement de l'environnement, ex : fourmière
 - « auto-organisation », ex : stigmergie des colonies de fourmis
- Exemple : extraction de minerai par des robots [Ferber 95]
- spécialisation ou pas des agents
 - totipotents
 - rôles : robots détecteur, foreur, transporteur
- organisations du travail :
 - équipes
 - ex : 1 détecteur, 3 foreurs, 2 transporteurs
 - appel d'offre
 - « émergentiste »
 - évolutives
 - feedback environnement, apprentissage, algorithmes génétiques...



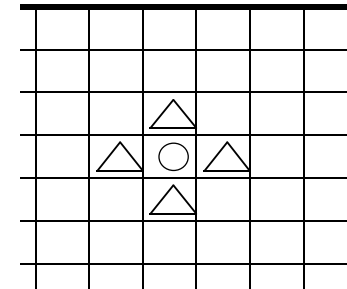
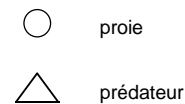
Coordination

- Motivations :
 - capacités individuelles insuffisantes (ex : charges trop lourdes à transporter)
 - cohérence (réguler les conflits sémantiques : buts contradictoires, accès aux ressources...)
 - efficacité (parallélisation de l'exécution des tâches)
 - robustesse, traitement de l'incertain
 - recombinaison des résultats - solutions partielles
- Techniques
 - planification centralisée, semi-centralisée (synchronisation de plans individuels), distribuée, ex : Partial Global Plans [Durfee et Lesser IJCAI'87]
 - synchronisation d'accès aux ressources
 - algorithmique répartie
 - règles sociales
 - spécialisation (spatiale, objectifs...)
 - négociation
 - numérique, symbolique (agrégation, argumentation), démocratique (vote, arbitrage)
 - utilitarisme (théorie des jeux)
 - sans communication explicite
 - (environnement, reconnaissance d'intentions, de plans...)



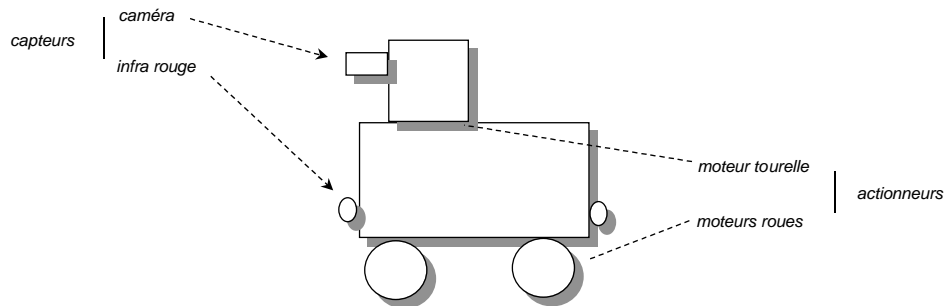
Exemple des proies-prédateurs

- sur un environnement quadrillé, 4 prédateurs tentent d'encercler une proie
 - problème de coordination des mouvements des prédateurs
 - qualités : simplicité, généricité, efficacité, robustesse, propriétés formelles...
- approche cognitive
 - échange de plans (déplacements prévus), coordination
- approche réactive
 - attirance forte vers les proies, répulsion (faible) entre prédateurs



Achitectures d'agents - styles architecturaux (architectures logicielles)

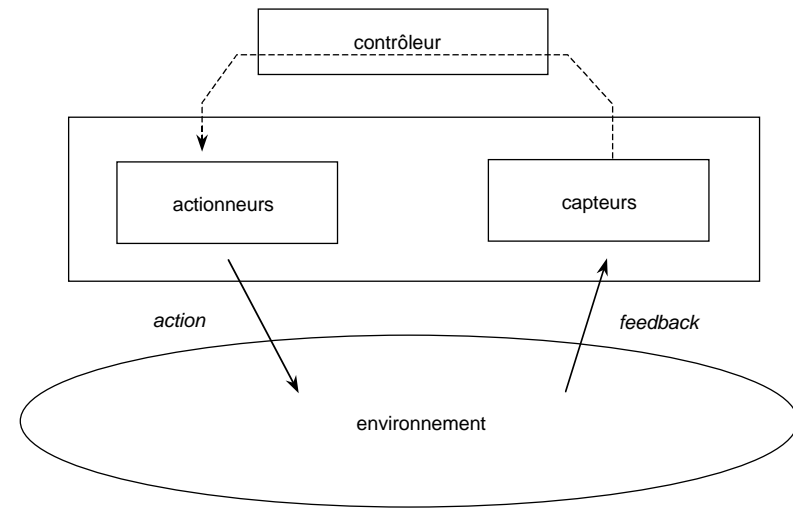
- Architecture = organisation individuelle / un agent (vision réursive)
- Exemple d'application [Shaw et Garlan 96] :
 - (architecture de contrôle d'un) robot mobile autonome



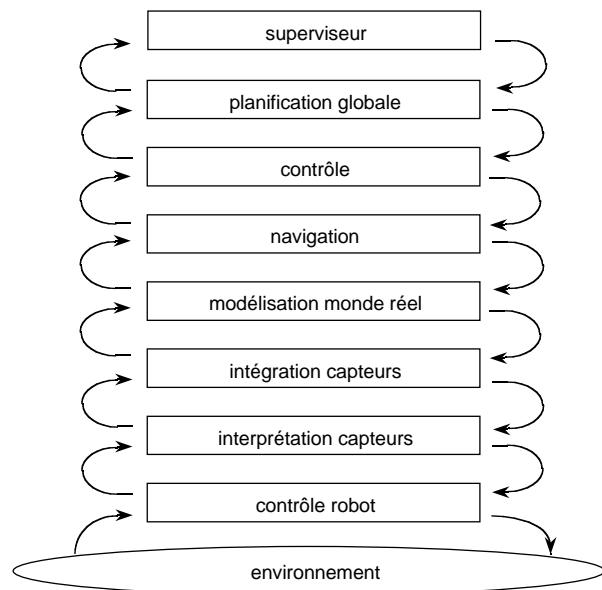
- Propriétés/caractéristiques recherchées :
 - comportement à la fois délibératif et réactif
 - perception incertaine de l'environnement
 - robustesse (résistance aux pannes et aux dangers)
 - flexibilité de conception (boucle conception/évaluation)



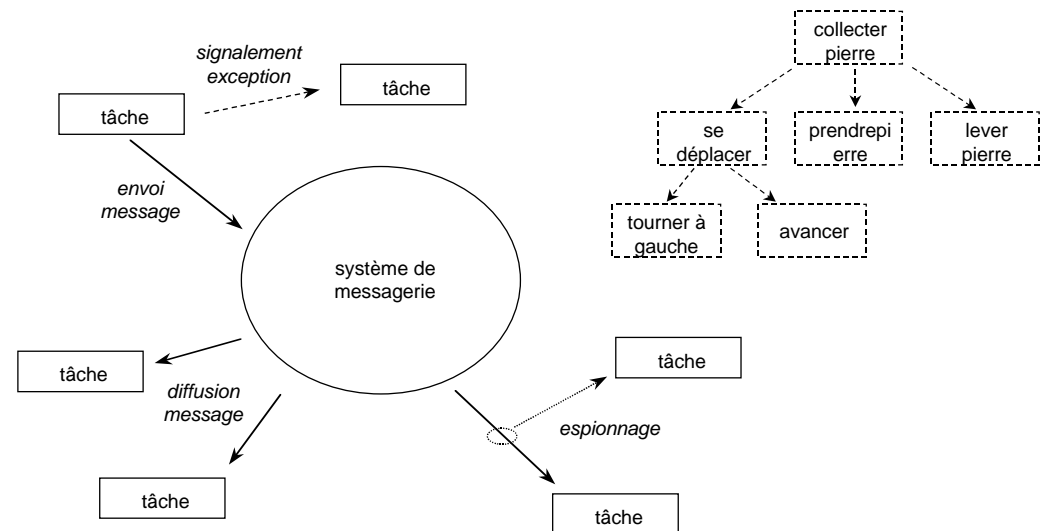
Solution 1 - boucle de contrôle



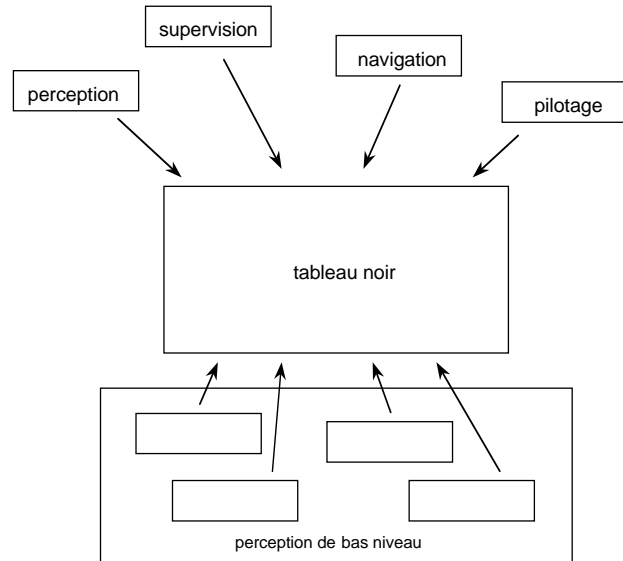
Solution 2 - couches



Solution 3 - (tâches et) événements



Solution 4 - tableau noir



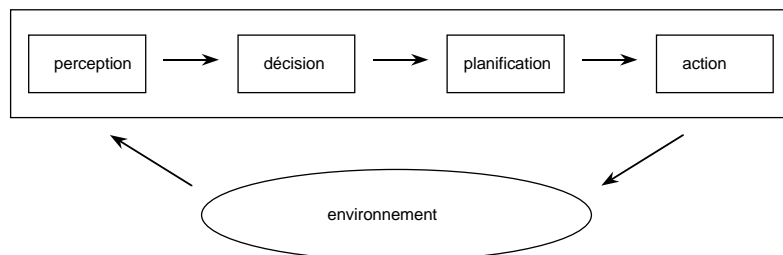
Comparaison

	Boucle de contrôle	couches	événements	tableau noir
<i>coordination des tâches</i>	+ -	-	++	+
<i>incertain</i>	-	+ -	+ -	+
<i>robustesse</i>	+ -	+ -	++	+
<i>sûreté</i>	+ -	+ -	++	+
<i>performance</i>	+ -	+ -	++	+
<i>flexibilité</i>	+ -	-	+	+



Architectures d'agents - plus de détails (IA)

- modulaire horizontale



Architectures d'agents (2)

- Etats mentaux
 - ex. d'architectures : Agent0 [Shoham AI 93], BDI [Rao et Georgeff 91]
 - formalisme logique
 - logique modale
 - croyances
 - buts
 - plans
 - intentions (choix + engagement) [Cohen et Levesque AI 90]

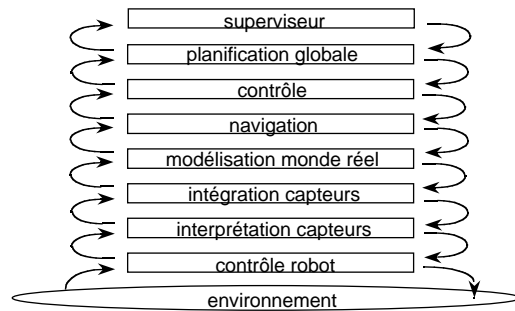
intention (action) \Leftrightarrow but(proposition vraie)
 croyance(proposition non vraie)
 croyance(action \Rightarrow proposition)
 croyance(capable action)

- intentions jointes [Cohen et Levesque 95]

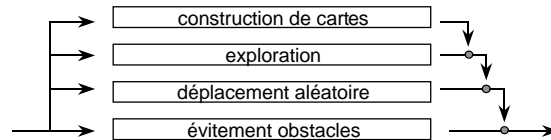


Architectures d'agents (3)

- modulaire verticale
 - séquentielle



- parallèle
 - Subsumption architecture (à priorités/inhibition)
 - [Brooks IEEE J.RobotAuto 86]

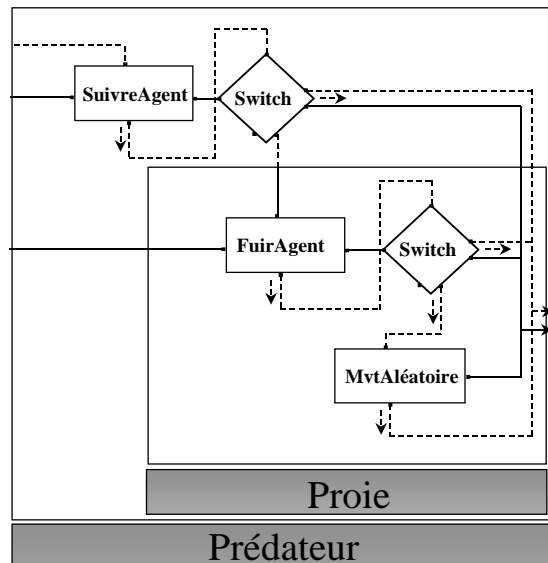


Architectures d'agents (4)

- hiérarchiques (cognitives/réactives)
 - ex : DIMA [Guessoum 96], InterRap [Müller 96]...
- componentielles
 - ex : Maleva [Lhuillier 98]
- composition d'actions
 - ex : Bene theory [Steels 94]
- connexionnistes
- évolutionnistes
 - algorithmes génétiques, morphogénèse



composants Maleva



Communication

- environnement
 - perception, action (ex : consommation ressources)
 - traces (ex : phéromones)
- symbolique (messages)
 - medium (réseau, voix, vision...)
 - participants :
 - individuel - point à point
 - partagé - multicast
 - global - broadcast
 - publish/subscribe (événements)
 - par le contenu, Tuple-space, ex : Linda [Gelerntner 88]
- actes de langage - « dire c'est faire » [Searle 79]
 - composante locutoire
 - message, encodage
 - composante illocutoire
 - réalisation de l'acte de langage
 - performatifs : affirmer, questionner, annoncer, répondre...
 - composante perlocutoire
 - effets sur croyances des autres



Communication (2)

- Langages et protocoles de communication
- KQML [Finin et Labrou 94]
- message
 - contenu
 - langage (d'expression du contenu)
 - ex : Java, Smalltalk, KIF, XML
 - ontologie
 - hiérarchie de concepts pour un domaine donné
 - performatif
 - ex : ask, deny, register, recruit, request...
- FIPA ACL (Agent Communication Language)
 - comme KQML
 - sémantique formelle
 - protocole
 - ex : FIPA-Contract-Net, FIPA-Iterated-Contract-Net



Limites (1/2) [Jennings 1999]

- No magic !
 - Un système développé avec des agents aurait probablement pu être développé avec des technologies plus conventionnelles
 - L'approche agent peut simplifier la conception pour certaines classes de problèmes
 - Mais elle ne rend pas l'impossible possible !
- Agents = logiciel
 - Principalement expérimental
 - Pas encore de techniques (é)prouvées
 - Ne pas oublier les aspects génie logiciel (analyse de besoins, spécification, conception, vérification, tests...)
 - Ne pas oublier les aspects concurrence/répartition
 - Problèmes (synchronisation...)
 - Mais également avantages (souvent encore peu exploités)
 - Réutiliser les technologies conventionnelles
 - Objets, CORBA, bases de données, noyaux de systèmes experts...
 - Utiliser les architectures agent existantes
 - Sinon vous passerez la majeure partie du temps dans la partie infrastructure et pas les spécificités des agents



Limites (2/2)

- Trouver la bonne granularité
 - Equilibre à trouver entre : « un nombre est un agent » et « un seul agent dans le système »
 - Complexité vs modularité
- Importance de la structure (organisations, protocoles, connaissances...)
 - Il ne suffit pas de « jeter » ensemble des agents pour que cela fonctionne !
- Besoins en méthodologies
 - Cassiopée, Gaia...



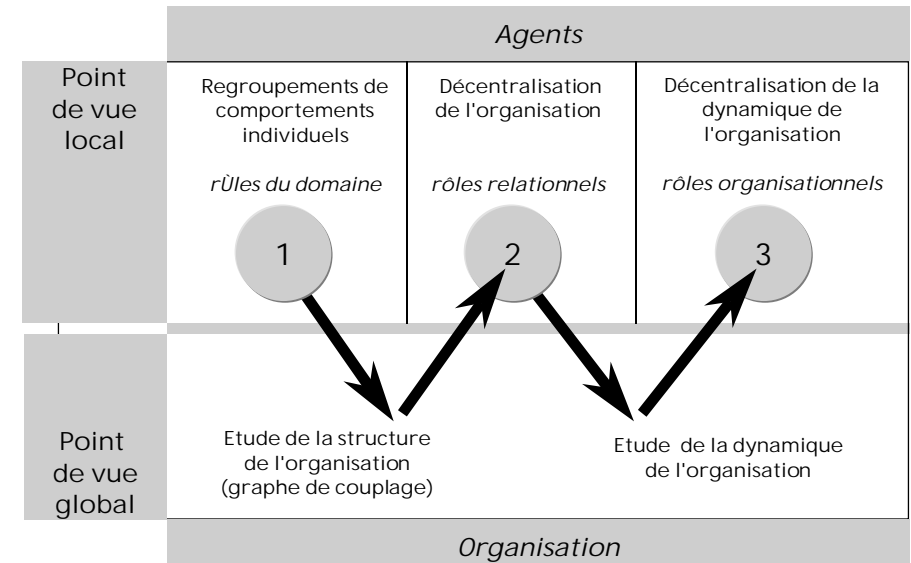
Vers des Méthodologies (analyse et conception) adaptées

- Find the agents !
 - Trop souvent, les agents sont (ou plutôt SEMBLENT) déjà donnés avant même l'étape d'analyse
 - ex : robots footballeurs
 - Mais, cela n'est pas toujours le cas
 - De plus, une identification (des agents) trop directe/intuitive ne sera pas forcément bénéfique dans la suite, car l'identification des agents :
 - quels concepts seront réifiés en agents
 - et lesquels ne seront pas !
 - quelle granularité......dépend beaucoup de l'objectif de la modélisation, des propriétés attendues...
- Cassiopée [Collinot et Drogoul 1996]
 - Objectif : Faire de la notion d'organisation l'objet véritable de l'analyse, qui peut être manipulé par le concepteur lors de la phase de conception, et/ou par les agents lors de l'exécution
 - Identifier les dépendances fonctionnelles entre les agents qui sont inhérentes à l'accomplissement collectif de la tâche considérée.
 - Organisation : gestion (décentralisée et dynamique) des dépendances



- Un agent est composé d'un ensemble de rôles (3 différents niveaux)

	Rôles	Typologie	Comportements	Signes échangés
Agent	dépendants du domaine	dépendant de l'application	dépendant de l'application	-
	relationnels	agent influent	produit les signes d'influence en fonction du rôle du domaine	signes d'influence
		agent influencé	interprète les signes d'influence pour contrôler les rôles du domaine	
	organisationnels	initiateur	comportement de formation de groupe	signes d'engagement
			comportement de dissolution de groupe	
		participant	comportement d'engagement	signes de dissolution



Des Objets aux Acteurs

- approche intégrative
 - intégration des objets et des activités (threads)
 - intégration de l'envoi de message avec l'invocation distante
- la concurrence comme fondement
 - envoi de message asynchrone (sans attente, sans réponse)
 - la concurrence est le défaut. Dans le modèle de calcul de Gul Agha [Agha 86], la séquentialité n'est qu'une conséquence de la causalité (message arrive après être parti)



Des Objets (ou Acteurs) aux Agents

- au niveau de l'entité
 - agent non purement procédural
 - connaissances
 - ex : états mentaux, plans, règles d'inférence des agents cognitifs
 - pro-activité
 - pas uniquement purement réactif
- au niveau d'un ensemble d'agents
 - différents modes de communication
 - via l'environnement, ex : colonies de fourmis
 - messages typés, ex : KQML (inform, request, reply...)
 - coordination
 - interactions arbitrairement complexes, pas juste client/serveur
- au niveau de la conception (vs implantation)
 - organisation
 - structuration forte/explicite, souvent dynamique, conditionnant les interactions, la division du travail, les accès aux ressources partagées...
 - une conception sous forme d'agents peut ensuite être réalisée sous forme d'objets ou d'acteurs, le niveau agent n'apparaissant plus explicitement dans l'implantation



De la Simulation Objet à la Simulation Multi-Agent

- au niveau de l'entité
 - comportement non nécessairement purement déterministe
 - mémoire, connaissances, désirs, interactions
- au niveau d'un ensemble d'agents
 - différents modes de communication
 - via l'environnement, ex : colonies de fourmis
 - coordination
 - interactions arbitrairement complexes
 - simulation multi-niveau
 - un ensemble d'agents peut être aussi considéré (émerger) comme un agent avec son comportement propre
 - ex: émergence d'un banc de poisson, d'une rivière
- au niveau de la conception (vs implantation)

