

Communication

3.1 Introduction

DÉF. 3.1 – Communication. *Ensemble des actions qui donnent la possibilité à un agent de transmettre une information à un autre agent, par un langage articulé ou par d'autres codes.*

Il est intéressant de mettre en rapport cette définition avec celle de la coordination (page 10). Elles ont en commun « la transmission d'information entre agents par le biais d'un langage articulé ou par d'autres codes ». Pourtant on ne peut pas redéfinir la coordination en utilisant la notion de communication. La différence tient au fait que nous définissons la communication comme une action. Ainsi, la grenouille de l'exemple de la page 10 ne choisit pas d'arborer une couleur particulière pour dissuader les prédateurs¹, il ne s'agit pas d'une action de la part de la grenouille, bien qu'un signal soit transmit (on peut également se demander si une information est effectivement transmise, car cela impliquerait qu'une telle information soit présente « chez » la grenouille à l'origine). Il n'y a donc pas communication mais *coordination*, selon nos définitions.

En restant dans le domaine des SMA, on peut noter que notre définition est en accord avec ce que dit Ferber [Ferber, 1994] : « *La communication agrandit les capacités perceptives des agents en leur permettant de bénéficier des informations et du savoir-faire des autres agents* ». On retrouve bien ici la notion de transfert d'information d'un agent à un autre.

¹À moins d'adopter un point de vue radicalement téléologique [Allen, 2003].

Nous allons maintenant aborder la manière dont est analysée la communication dans d'autres domaines. Cette étude ne pourra être que partielle, tant la communication est une notion omniprésente.

3.2 Théorie mathématique de la communication

La figure 3.1 représente la manière dont Shannon et Weaver ont modélisé la communication dans leur théorie mathématique de la communication [Shannon et Weaver, 1949]. Dans leur modèle, une information présente chez l'émetteur est *codée* puis transmise par une suite de signaux sur un *media* approprié, le récepteur est capable de percevoir ces signaux puis de les *décoder* afin de reconstituer l'information.

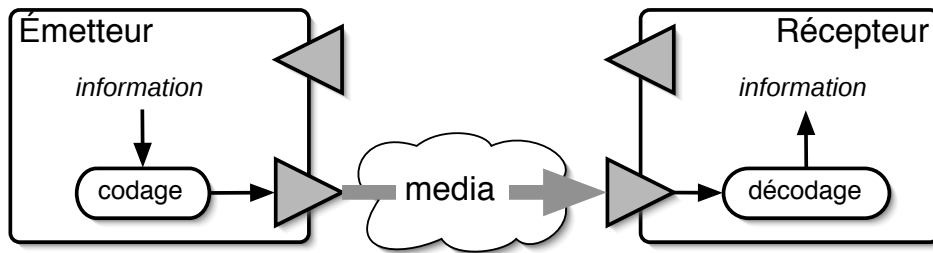


FIG. 3.1 – Illustration de la théorie classique de la communication.

Cette théorie est parfaitement adaptée aux transferts d'informations *pair-à-pair* entre des machines. Par exemple, pour transmettre le texte « Bonjour ! » d'un ordinateur à un autre, chaque lettre est codée sous une forme numérique, qui est transformée en une série de variations de tension sur une paire de fils de cuivre (par exemple). Ces variations sont perçues par l'ordinateur destinataire qui les transforme en code numérique par l'opération inverse, et ce code est utilisé pour afficher le message à l'écran.

Notons au passage que la définition 3.1, que nous avons choisi d'adopter pour la communication, correspond à celle de Shannon et Weaver.

3.3 Communication et éthologie

L'éthologie est la science de l'étude du comportement des animaux (et par extension des humains). On considère généralement qu'elle a été fondée par Konrad Lorenz, Karl von Frisch et Nikolaas Tinbergen. L'éthologue se distingue du comportementaliste par le fait qu'il s'intéresse le plus souvent aux comportements *innés* plutôt qu'*acquis* et que le comportementaliste se consacre plus volontiers à des animaux « supérieurs » comme les mammifères. Une grande partie des travaux en éthologie sont consacrés à l'étude de la communication (danse des abeilles [Bonsels, 1912 ; Von Frisch, 1993], phéromones chez les fourmis), ce qui motive cette section dans laquelle nous comparons notre définition avec deux autres, issues de l'éthologie.

3.3.1 Définition de Wilson

DÉF. 3.2 – Communication [Wilson, 1975]. *An action on the part of one organism (or cell) that alters the probability pattern of behavior in another organism (or cell) in a fashion adaptive to either one or both of the participants.*

Pour comparer notre définition de la communication (3.1) avec cette définition issue de l'éthologie, il nous faut d'abord la traduire dans nos termes : « Une action de la part d'un agent qui modifie le comportement d'un autre agent (sa séquence potentielle d'actions) de manière appropriée à l'un ou l'autre ». La définition de la communication de Wilson a de commun avec la nôtre qu'il doit s'agir d'une action de la part d'un agent. En revanche, il ne fait aucunement appel à la notion d'information ou de signal pour définir la communication. La définition de Wilson correspond pour nous plutôt à la notion d'*interaction* (Parunak *et al.* [Van Dyke Parunak *et al.*, 2002] rejoignent en cela Wilson) à laquelle on ajoute une notion de bénéfice probable pour l'un ou l'autre des participants.

3.3.2 Définition de Slater

DÉF. 3.3 – Communication [Slater, 1983]. *The transmission of a signal from one animal to another such that the sender benefits, on average, from the response of the recipient.*

En d'autres termes : « *La transmission d'un signal, d'un agent à un autre, de manière à ce que la réaction du receveur soit en moyenne bénéfique pour l'émetteur* ». Slater ne considère pas que la communication doit être une action, ainsi la livrée rouge vif de notre grenouille amazonienne est pour lui un exemple de communication (alors qu'elle est pour nous un exemple de *coordination*). En revanche, contrairement à Wilson, Slater fait explicitement appel à la notion de signal, et donc de transfert d'information présent dans notre propre définition. De plus, étant donné que nous nous intéressons à des agents rationnels, nous pouvons considérer qu'un agent effectue une action de communication dans son intérêt, et donc — s'il a été bien conçu — que selon toute probabilité il bénéficie de la réaction du récepteur, si un tel agent existe.

C'est là le point qui empêche la définition de la communication de Slater de représenter un sur-ensemble de la nôtre. En effet notre définition parle de la *possibilité* de transmettre de l'information, ainsi nous considérons qu'une tentative de transmission d'information est une communication. Si l'on prend la définition de Slater au pied de la lettre, les phéromones que déposent les fourmis et qui indiquent le chemin des sources de nourriture ne deviennent *communication* que si une autre fourmi les détecte, ou de même, un document écrit² ne devient *communication* que s'il est lu.

3.4 Communication humaine

3.4.1 Approche cognitive

Le modèle de Shannon et Weaver, détaillé à la section 3.2, peut être utilisé pour décrire de manière très simplifiée les communications humaines par le langage : ce que veut exprimer le locuteur est converti en ondes sonores perçues par son interlocuteur qui les reconvertit en « sens ». Cette approche de la communication est désignée comme *cognitive*, car elle ne fait appel qu'à ce qui se passe « dans la tête » des agents (des humains en l'occurrence). Et si elle a permis de nombreuses avancées par exemple en traitement de la langue naturelle, elle ne permet pas, seule, de considérer le caractère social de la communication.

²Et nous espérons que, dans le cas de ce manuscrit, la réaction du récepteur sera favorable à l'émetteur !

3.4.2 Approche sociale

L'approche cognitive ne permet pas de rendre compte des phénomènes qui ont lieu même lors d'un échange aussi simple que celui-ci, entre deux sujets, Alain et Paul :

Alain : Quelle heure est-il ?

Paul : Vous n'avez pas de montre ?

Alain : Non.

Paul : Il est midi.

Alain : Merci.

On peut interpréter chaque énoncé indépendamment (Alain veut transmettre à Paul l'information comme quoi il veut savoir l'heure qu'il est, et ainsi de suite...) mais rien, *a priori*, ne permet de faire le lien entre ces énoncés. En effet, Alain veut savoir l'heure qu'il est, et plutôt que de fournir cette information, Paul lui pose une question en retour.

La logique derrière l'enchaînement de ces messages (on parle de dialogue ou de conversation) se trouve au moins autant dans le contexte que dans les messages eux-mêmes. De plus, contrairement à des machines, il n'est pas possible à Alain de répliquer une « information » présente dans son esprit dans celui de Paul simplement en la codant sous forme de sons, puis en laissant Paul la décoder. La communication humaine se fait par des langages ambigus, dépendant du contexte, et entre des agents ayant des buts et des connaissances différents. Un dialogue ou une conversation est donc plutôt une activité *coopérative* entre des agents qui tentent de construire une séquence de messages (chaque message correspond, au niveau syntaxique, à notre définition de la communication) qui ont un sens pour chacun, chacun interprétant les intentions des autres en fonction du contexte, de ce qu'il sait de ses interlocuteurs et — bien sûr — des messages eux-mêmes.

Maximes de conversation de Grice

On peut voir les maximes de conversation de Grice comme un moyen de « normer » une conversation en fixant un certain nombre de règles (maximes) [Grice, 1975] :

- Maximes de quantité. **N1** *Make your contribution as informative as is required (for the current purposes of the exchange)*. **N2** *Do not make your*

contribution more informative than is required. Ces maximes expriment des conditions sur les quantités d'information à échanger : ni trop (N1), ni trop peu (N2).

- Maximes de qualité. **Q1** *Do not say what you believe to be false.* **Q2** *Do not say that for which you lack adequate evidence.* Un échange d'information ne doit pas comporter d'information fausse (Q1) ou que l'on ne peut justifier (Q2).
- Maxime de relation. **R1** *Be relevant.* Les informations échangées doivent être en relation avec le sujet de la conversation.
- Maximes de manière. **M1** *Avoid obscurity of expression.* **M2** *Avoid ambiguity.* **M3** *Be brief (avoid unnecessary prolixity).* **M4** *Be orderly.* Les informations échangées doivent l'être de manière claire (M1) et non ambiguë (M2), pour cela il faut être concis (M3) et soigné (M4) dans son expression.

Au-delà de ces maximes, Grice a été un des premiers à dépasser le modèle de Shannon et Weaver (que l'on peut qualifier de modèle du code) en voyant la communication comme une activité *coopérative* et en proposant le *modèle de l'inférence*. Dans ce modèle, l'information n'est pas simplement codée puis décodée, mais un message donne lieu à un raisonnement pour être compris.

Principes de planification du langage de Tauli

Des travaux similaires à ceux de Grice (mais peut-être moins connus) ont été menés par Tauli. Dans [Tauli, 1968], il définit deux catégories de principes d'utilisation du langage :

- Principes de clarté. **C1** *The expression must convey to the listener all the meaning intended by the speaker.* **C2** *The expression must contain redundancy.* **C3** *The greater the possibility for semantic confusion, the greater must be the difference in expression.* Pour la clarté de l'expression, toute l'information à communiquer doit se trouver dans le message (C1), il doit contenir des redondances (C2) et lever les éventuelles ambiguïtés (C3).
- Principes d'économie. **E1** *The expression must not convey more meaning than necessary.* **E2** *The expression must be the shortest possible.* **E3** *The more frequent the expression the shorter it should be.* Un message ne doit pas contenir plus que l'information requise (E1) tout en étant le plus court possible (E2), et plus un message est fréquent plus il doit être court (E3).

Les principes C1 et E1 concernent la quantité et la qualité des informations et sont donc à rapprocher des maximes de quantité et de qualité de Grice, tandis que les principes C3, C4, E2, et E3 ont trait à la manière d'échanger les informations et sont à rapprocher des maximes de manière de Grice.

Théorie du langage de Clark

Avec sa théorie du langage [Clark, 1996], Clark formalise la notion de conversation comme une activité commune (*joint activity*) dans un modèle coopératif. Il considère que langage et activité conjointe sont inséparables, même une simple conversation ne se résume pas à une alternance de messages émis et reçus, les participants *coopèrent* dans le cadre d'une activité commune (conjointe). De plus, de manière générale, le langage est utilisé pour « faire des choses », autrement dit des projets conjoints.

Dans la théorie de Clark, la notion de terrain commun (*common ground*) correspond à ce qu'un locuteur sait de ce que savent ses interlocuteurs. Cette connaissance se décompose en trois parties :

1. le terrain commun initial. Il s'agit du contexte commun, croyances et autres, présupposé par les participants au commencement de l'activité commune (la conversation) ;
2. l'état courant de l'activité commune. Il s'agit de ce que les participants supposent sur l'état actuel de l'activité ;
3. les événements publics jusqu'à présent.

Clark identifie plusieurs catégories de terrains communs. Afin de clarifier les choses, citons par exemple :

- les conventions de conversation (soyons concis tout en prenant en compte les connaissances de l'autre ; lorsque nous ne comprenons pas, faisons-le comprendre à l'autre ; cf. maximes de Grice), ces conventions sont nécessaires pour converser ;
- le terrain commun de communauté (nous parlons français ; nous travaillons dans le même domaine ; nous vivons dans la même ville), il provient d'interactions que nous avons eues avec différentes communautés ;
- le terrain commun personnel (notre objectif est d'atteindre un accord ; nous donnons le même sens à ce mot), il provient des interactions que nous avons eues avec nos interlocuteurs individuellement.

Le tableau 3.1 illustre ce que Clark appelle l'échelle d'actions (*action ladder*), qui correspond aux quatre niveaux de signification (ou interprétations) simultanés d'un même message. Ces différents niveaux sont liés par une « causalité ascendante », c'est-à-dire que pour proposer un projet conjoint (niveau 4), le locuteur doit s'être fait comprendre (niveau 3), ce qui implique d'avoir pu présenter son message à son interlocuteur (niveau 2) et donc d'avoir pu formuler son message et attirer l'attention de son interlocuteur (niveau 1). Ce concept d'échelle d'actions permet non seulement de décrire comment se déroule une conversation, mais aussi d'identifier comment peuvent se produire des dysfonctionnements durant cette activité coopérative.

TAB. 3.1 – Niveaux de l'échelle d'actions conjointes dans la théorie de Clark.

Niveau	Actions
4	Le locuteur propose un « projet » conjoint et son interlocuteur envisage de l'accepter.
3	Le locuteur tente de faire passer une information à son interlocuteur, qui tente de la comprendre.
2	Le locuteur présente une « construction linguistique » à son interlocuteur, qui la reconnaît comme telle.
1	Le locuteur exhibe un comportement à l'intention de son interlocuteur, qui perçoit ce comportement.

La théorie de Clark permet d'allier l'approche cognitive à l'approche sociale. En effet, si l'on s'intéresse au point de vue social, on se focalisera sur la description de l'activité (notamment les événements publics) à travers laquelle les interlocuteurs utilisent et augmentent leur terrain commun. Et si, à l'inverse, on s'intéresse à l'approche cognitive, on se focalisera sur les connaissances de chaque interlocuteur et sur la manière dont il les acquiert.

RE COM Nous n'avons fait là qu'effleurer le sujet de la communication humaine, et notre propos n'est pas véritablement de traiter de la philosophie du langage. Toutefois ces travaux ont une véritable influence sur le domaine des SMA. Pour s'en convaincre, il suffit par exemple de considérer l'apport de la théo-

IENTAI rie des actes de langage [Vanderveken, 1990] sur les travaux de Cohen et Levesque (cf. section 1.5.2).

3.5 Communication entre agents artificiels

3.5.1 Langage

Avec le développement d'Internet et des applications fondées sur des agents ou des systèmes multiagents, le besoin s'est fait sentir d'un langage commun afin de permettre à des agents d'origines diverses de communiquer. Les travaux allant dans ce sens sont regroupés sous la désignation ACL (*Agent Communication Language*). On est encore loin d'un tel langage universel, mais deux approches ACL principales (ayant d'ailleurs beaucoup en commun) ont émergé : KQML (*Knowledge Query Manipulation Language*) [Finin *et al.*, 1994], puis FIPA ACL (*Foundation for Intelligent Physical Agents*) [FIPA, 2001].

Ces approches s'inspirent très largement des travaux portant sur les actes de langage [Austin, 1962 ; Searle, 1969], notamment en reprenant le concept d'*attitude propositionnelle* qui correspond à une relation tripartite entre :

1. un agent ;
2. une proposition correspondant au contenu (par exemple : « il pleut ») ;
3. un élément d'un ensemble fini d'attitudes que peut avoir l'agent envers la proposition (par exemple : croire que, avoir peur que, vouloir que, *etc.*)

Ce qui donne par exemple : « Jean a peur qu'il pleuve ».

De manière très similaire, un message KQML est composé en trois couches :

1. une couche de contenu qui correspond au contenu effectif du message, il peut être exprimé dans divers langages selon les agents qui communiquent (SQL pour des bases de données, Prolog, *etc.*) et les diverses implémentations de KQML ne traitent en aucune manière ce contenu ;

2. une couche de communication qui contient les informations liées au support de communication utilisé (adresses IP de l'émetteur et du destinataire, identifiant unique du message, *etc.*), là encore KQML ne traite pas cette partie ;
3. une couche de message qui est le cœur de KQML, elle détermine le type d'interaction que l'on peut avoir avec un agent « parlant le KQML ». Il s'agit avant tout d'identifier le protocole par lequel acheminer le message et de fournir un *performatif* (un acte de langage) qui précise l'attitude de l'émetteur envers le contenu (une demande, une assertion, un ordre, *etc.*, parmi l'ensemble que définit KQML et qui est extensible). La couche de message peut également contenir des informations sur la couche de contenu (qui rappelons-le est opaque à KQML) afin de permettre certains traitements.

```
(ask-one
  :sender joe
  :content (PRICE IBM ?price)
  :receiver stock-server
  :reply-with ibm-stock
  :language LPROLOG
  :ontology NYSE-TICKS)
```

(a)

```
(tell
  :sender stock-server
  :content (PRICE IBM 14)
  :receiver joe
  :in-reply-to ibm-stock
  :language LPROLOG
  :ontology NYSE-TICKS)
```

(b)

FIG. 3.2 – Exemples de messages en KQML, l'agent joe demande à l'agent stock-server le prix de l'action d'IBM (a) et reçoit une réponse (b) (d'après [Labrou *et al.*, 1999]).

La figure 3.2 donne deux exemples de messages KQML. Un agent nommé joe demande à un agent stock-server le prix de l'action d'IBM (3.2a). Dans ce message, la couche de contenu correspond à la valeur de :content, la couche de communication aux valeurs de :reply-with, :sender et :receiver. Enfin, la couche de message correspond, elle, à ask-one et aux valeurs de :language et :ontology. Ici, ask-one est le performatif, tandis que :language indique le langage utilisé dans le contenu et :ontology indique le « vocabulaire » utilisé par ce langage.

FIPA ACL et KQML reposent exactement sur les mêmes principes. FIPA ACL utilise le terme *actes de communication* plutôt que performatifs

(dont l'utilisation par KQML lui a d'ailleurs valu certaines critiques [Cohen et Levesque, 1995]). Mais même si les sémantiques des performatifs et des actes de communication sont différentes, il est possible d'exprimer les performatifs de KQML par des actes de communication de FIPA ACL, et vice-versa.

3.5.2 Modes de communication

Intermédiaires

Il est courant de trouver au sein d'un SMA certains agents qui jouent le rôle d'intermédiaires (*facilitators* [Genesereth et Singh, 1993], *brokers*, etc.) en rendant divers services aux autres. Ces intermédiaires centralisent diverses informations comme par exemple l'identité et les capacités des agents du système, ils remplissent ainsi une sorte de rôle d'« annuaire » du système. Par exemple, KQML utilise des *facilitators* pour la communication, en plus d'être de simples supports de communication, ils peuvent également mettre des agents en relation ou « router » les messages grâce aux informations contenues dans la « couche de message » décrite à la section précédente. La figure 3.3 illustre l'organisation des communications dans KQML.

L'utilisation d'un intermédiaire de type *blackboard* (tableau noir) est très répandue pour les communications. Ainsi l'*Open Agent Architecture* [Cheyer et Martin, 2001] utilise un agent *blackboard* plutôt que des communications directes entre les agents. Ce mécanisme permet de rendre des informations publiques (les informations « postées » sur le tableau sont visibles par tous) mais aussi de communiquer sans avoir à connaître précisément son ou ses interlocuteurs. En revanche, tout comme pour les intermédiaires en général, leur utilisation suppose que chaque agent du système soit capable de communiquer avec l'agent *blackboard*.

Communications situées

À l'opposé des communications abstraites utilisant des intermédiaires (qui sont plutôt liées à des applications sur des réseaux comme Internet), la robotique a souvent utilisé des *communications situées*. En plus du message lui-même et de son contenu, les communications situées apportent des informations liées à la nature du média utilisé, et qui peuvent même

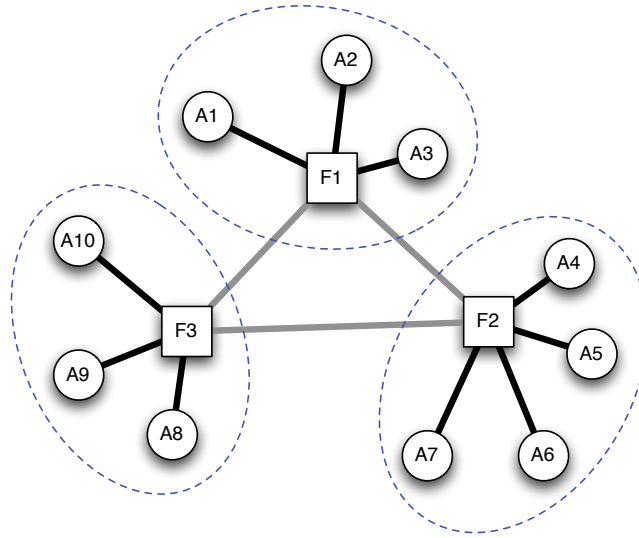


FIG. 3.3 – Illustration des *facilitators* de KQML, dans chacun des trois SMA délimités par des pointillés, les agents A_i communiquent par l'intermédiaire des *facilitators* F_i , des communications inter-systèmes peuvent également avoir lieu par leur intermédiaire.

être indispensables à la compréhension du message. Par exemple, si l'on dit « *Viens vers moi !* » à un robot, il pourra exécuter l'ordre d'une part en le comprenant mais d'autre part en utilisant les caractéristiques du son pour déterminer dans quelle direction aller et éventuellement obtenir une approximation de la distance à parcourir.

Alors que des systèmes de communication abstraits sont de plus en plus disponibles pour les SMA physiques (robots), certains travaux [Støy, 2001] insistent sur l'importance de garder ces informations liées à l'environnement qu'apportent les communications situées et que font disparaître les modes de communication abstraits. On peut faire ici un parallèle intéressant avec les thèses de Brooks (*cf.* section 1.3) qui arguait que « *le monde est son meilleur modèle* » en s'opposant aux approches de l'intelligence artificielle de l'époque qui tendaient à s'abstraire de l'environnement. Ici, l'argument est que l'on a tout à perdre en tentant d'abstraire les communications

de leur support physique.

3.6 Conclusion

Du fait de leur support informatique, les communications entre agents artificiels restent principalement fondées sur la théorie mathématique de la communication de Shannon. Nous avons vu que les modèles de communication utilisés dans les SMA s'inspirent très largement des modes de communication humains, et si l'on se réfère aux théories de Clark, il semble que la théorie de Shannon ne correspond qu'aux deux ou trois premiers niveaux de l'échelle d'actions.

Toutefois, même s'ils s'inspirent de la communication humaine, les systèmes de communication des SMA restent souvent limités à un mode *dyadique* dans lequel les agents ne communiquent que deux par deux. Nous verrons donc au prochain chapitre quelle est l'alternative à cette approche dyadique et quelque peu rigide de la communication.

