

# PREPARATION ET IMPROVISATION

---

David KIRSH

(Traduit par Michel de Fornel et Bernard Conelin)

richesse et de la complexité du monde réel, la modélisation se heurte aux problèmes suivants:

- Le monde comporte beaucoup trop de *détails* pertinents pour qu'il soit possible d'en donner des représentations simples dans un modèle donné. Par voie de conséquence, il ne sera pas possible, au moment de la prise de décision, de prédire de façon correcte quelles actions seront plausibles.

- Le monde est *ouvert* à des événements non prédictibles. On ne peut donc se fier à un calcul des conséquences possibles des actions.

- Quand un choix se présente, le nombre des actions plausibles est si grand qu'il est impossible de planifier une séquence d'actions, étant donnée l'importance du temps de calcul exigé.

### Se laisser guider par sa perception

Il va de soi qu'il n'est pas nécessaire de planifier de longues chaînes d'actions. Il est toujours possible de différer la planification, tout en restant capable de maîtriser la situation, si l'on sait comment distribuer le coût computationnel entre deux types de choix: les actions faites au coup par coup et les actions préméditées.

Un agent qui a bien su s'adapter aux tâches qu'il doit réaliser présente la particularité suivante: il ne prête attention qu'à une partie de son environnement local et ne tient compte que de certaines éventualités (par exemple celles qui peuvent être source de danger ou

*Cet article (\*) présente une théorie nouvelle de la planification des séquences d'action dans le domaine de la robotique, qui constitue un courant important en intelligence artificielle (N.d. T.)*

**C**onsidérons un plan d'action comme une méthode permettant de contraindre, de façon rationnelle, une séquence de choix (d'actions) locaux (\*\*). Le rôle d'un dispositif de planification est d'orienter ces choix de telle sorte que les buts globaux qu'il vise à réaliser soient atteints. Si le dispositif est supposé agir dans un monde simple, il pourra parcourir exhaustivement l'ensemble des séquences d'actions localement plausibles. Par contre, s'il est supposé agir dans un monde qui se rapproche de la

(\*) Ce texte est la traduction d'une partie d'un article «Managing Local Choice», paru en 1989 (AAAI Workshop on AI and Rational Choice) auquel ont été ajoutés, avec l'accord de l'auteur des extraits d'un article plus récent «To day the Earwig, To Morrow Man?», à paraître dans un numéro spécial de la revue Artificial Intelligence, édité par l'auteur et intitulé «Foundations of Artificial Intelligence».

(\*\*) Selon une version courante de la théorie de la décision rationnelle, le choix local est le produit de trois filtres: un ensemble d'actions logiquement possibles ( $A_l$ ) est filtré pour donner un ensemble d'actions localement appropriées ( $A_p$ ) qui, à son tour, est filtré en faisant appel à des heuristiques ou à des contraintes faibles pour donner un ensemble d'actions plausibles ( $A_p$ ). Ce dernier ensemble est à son tour filtré en appliquant une règle de choix pour donner un ensemble de choix d'actions C: "possible" → "localement approprié" → "plausible" → "ensemble des choix".

au contraire celles qui constituent des occasions à saisir). Un tel agent se laisse guider par sa perception du monde. Se laisser diriger par sa perception est sans doute essentiel dans la plupart des activités quotidiennes, où il suffit souvent pour se débrouiller de savoir ce qu'il faut surveiller du regard. Etant donné qu'il existe une quantité innombrable de contraintes locales portant sur l'action à accomplir à l'étape suivante, un agent habile est celui qui sait interroger correctement le monde qui l'entoure. Un dispositif de planification doit être capable à la fois d'orienter le système perceptuel pour qu'il se tourne vers ce qui est le plus important dans la situation, de déclencher des stratégies lui permettant de confronter différentes analyses de l'environnement, et de se préparer à réaliser certaines actions. Si des modules perceptuels «intelligents» pouvaient être en harmonie avec des tâches particulières, la perception serait automatiquement dirigée vers ce qui est pertinent dans l'environnement sans avoir recours à des modèles explicites du monde (pour des tentatives intéressantes pour développer cette hypothèse, cf. (1) et (2)).

Si le dispositif de planification n'avait comme seul rôle que de «préparer» le mécanisme perceptuel, il n'aurait plus qu'à établir des objectifs abstraits. Ainsi, il aurait à déterminer une fonction qui choisirait entre des activités telles que manger, boire, ou lire le journal, mais il n'aurait pas à dire à l'agent comment s'y prendre pour accomplir l'une d'entre elles. Dans cette hypothèse, le système perceptuel serait suffisamment complexe pour qu'à un signal donné il passe à un nouvel état intégrant les bonnes directives.

Cependant, dans la plupart des mondes complexes, une autre forme de planification est requise dans la mesure

où l'information locale - quand bien même elle serait extraite par un module perceptuel intelligent - tend à sous-déterminer ce qu'il est nécessaire de faire à l'étape suivante.

### Le problème de la sous-détermination

Pour qu'une activité ne soit pas sous-déterminée de façon potentiellement dangereuse pour le dispositif de planification, il faut que le choix des actions à réaliser soit suffisamment contraint par la situation pour que des conflits qui pourraient se produire en aval puissent être résolus à cet endroit. Ainsi, lorsqu'on assemble les pièces d'un puzzle, leur géométrie et leur couleur déterminent totalement chaque action, bien qu'il n'en soit pas de même pour l'ordre dans lequel les pièces doivent être assemblées. Le «monde» du puzzle est suffisamment contraint pour qu'il soit possible d'assembler avec succès les pièces tout en ayant eu plusieurs choix possibles à chaque moment du jeu. En ce sens, chaque mouvement du jeu est sous-déterminé, puisqu'une analyse déterministe n'est pas en mesure de rendre compte de chaque placement. Cependant, étant donné d'un côté une pièce du puzzle et de l'autre une configuration donnée du jeu, on peut déterminer où et à quel moment il faut placer cette pièce. Il s'agit donc d'une activité qui est situationnellement déterminée. Bien que formellement le problème soit de satisfaire une multitude de conjonctions de buts, le «monde» du puzzle est organisé de telle façon qu'aucune interaction conflictuelle entre les buts à satisfaire ne se produira.

Dans un puzzle, il y a une sorte d'effet cumulatif. Chaque placement correct d'une pièce ouvre la possibilité de placement d'autres pièces. Le puzzle présente

(1) Brooks, à paraître.

(2) Agre et Chapman, 1987.

donc des situations qui contiennent suffisamment d'informations pour éviter de recourir à des prévisions.

L'exemple du puzzle permet d'approfondir le problème de la planification car il présente l'avantage de circonscrire le problème de l'orientation perceptuelle. Seule une infime partie de la configuration du jeu a besoin d'être prise en compte avant chaque action. Il n'est en effet guère concevable que réussir un puzzle exige l'identification globale de toutes les pièces. Si tel était le cas, chaque action nécessiterait un traitement perceptuel beaucoup trop important. Par contre, s'il est possible de réduire le problème de l'orientation perceptuelle à l'identification de quelques traits simples, la nécessité de recourir à des représentations intermédiaires du «monde» du puzzle ne s'impose plus. L'environnement peut être décomposé en un ensemble d'états partiels ou d'*indicateurs* qui se trouvent en corrélation avec la présence ou l'absence de facteurs écologiques pouvant affecter l'exécution de la tâche. On conviendra d'appeler *comportement déterminé situationnellement* un tel comportement déterminé et contrôlé par la situation. Un behavioriste serait bien en peine d'expliquer ce genre de comportement, puisque la situation ne présente pas un ensemble de propriétés préalablement définies (sous forme de stimuli) pouvant servir de cause au placement d'une pièce (qui serait une réponse à ces stimuli). La perspective behavioriste ne peut, en effet, concevoir qu'un agent ait la capacité de questionner activement ce qui lui est donné du monde sur le plan perceptuel. La perception du jeu qu'a un agent dépend de la façon dont il a joué jusqu'à présent (et donc de l'ensemble de ses interactions antérieures avec le «monde» du puzzle). Par voie de conséquence, même s'il se trouve exactement dans les mêmes con-

ditions du point de vue des possibilités de jeu, le même agent pourra avoir une perception très différente de la situation car les questions «perceptuelles» qu'il posera seront influencées par la façon dont il a joué jusqu'à présent.

Un puzzle présente donc la caractéristique d'être complexe et difficile sur le plan perceptuel et simple sur le plan conceptuel. Les actions du joueur ne sont pas pour autant dépourvues d'intentionnalité mais elles vont être plutôt «guidées» par la perception que par la conceptualisation. Il lui faudra exercer son oeil, plutôt que sa pensée, de façon à repérer les saillances respectives des pièces pour trouver la pièce qui s'ajuste correctement aux pièces déjà assemblées.

#### **La planification et les situations sociales quotidiennes**

Si l'on examine maintenant les activités sociales quotidiennes dans une perspective similaire, il apparaît qu'elles sont aussi beaucoup plus déterminées situationnellement qu'il n'y paraît au premier abord (3) (4). Cependant, dès que la tâche est suffisamment complexe, elle est très nettement sous-déterminée et il est habituellement nécessaire d'y réfléchir suffisamment à l'avance pour introduire des contraintes générales sur les décisions locales à prendre. L'objectif de la planification est alors de gérer de façon rationnelle des choix locaux.

De nombreux problèmes se posent dès qu'il s'agit d'articuler le raisonnement abstrait qui précède normalement le choix local et le raisonnement fondé sur la perception qui prend place durant la réalisation de la tâche. En particulier, un problème de communication se pose entre le dispositif de planification, qui possède un modèle explicite du monde,

(3) Agre, 1988.

(4) Norman, 1988.

et le module perceptuel contrôlant l'action, qui en est dépourvu (comment peuvent-ils se parler, que doivent-ils se dire, que doit connaître le dispositif de planification pour planifier correctement?).

Un dispositif de raisonnement utilisant des modèles encode l'environnement de l'action au moyen d'une ontologie formée d'objets. Par contre, un dispositif de raisonnement perceptuel encode d'une façon égocentrique l'environnement sous forme d'informations portant sur les surfaces et les formes. Comment ces deux dispositifs peuvent-ils être coordonnés?

Les modèles utilisés par un dispositif de raisonnement sont enregistrés et indexés de façon suffisamment générale pour pouvoir être utilisés de façon répétée. Ils ont tendance à représenter le monde de façon non indexicale et à ne pas présenter la perspective de l'agent. Ce dernier ne doit pas être inclus dans l'environnement de l'activité puisque l'objectif est de ne retenir que les faits de l'environnement que l'on pourra généraliser à de nouvelles situations. Ainsi, lorsqu'une boîte doit être soulevée à une hauteur de 1m50 par un agent, il n'est habituellement pas pertinent de savoir si ce dernier s'en est approché par la droite ou par la gauche. Savoir exactement où l'agent se trouvait positionné est moins important que de savoir comment il s'y est pris pour soulever la boîte.

De la même façon, les modèles qui simulent les tâches quotidiennes (nettoyer, cuisiner, repasser, coudre) ne s'intéressent pas aux états successifs de l'agent, ni à ses relations indexicales à l'espace où se déroule son activité. Ils s'attachent au contraire à décrire les modifications valides subies par les objets dans l'environnement.

A la différence de l'information générale des modèles, l'information locale

utilisée pour guider l'activité en cours d'action va dépendre très étroitement des croyances et des buts de l'agent ainsi que de la localisation spatiale de l'agent par rapport aux objets utiles pour accomplir une tâche donnée. Ainsi, selon certains auteurs (5), il est possible de distinguer entre l'espace égocentrique d'un agent et l'espace public. Dans l'espace égocentrique, l'agent est toujours à l'origine des coordonnées spatio-temporelles. L'environnement est vu du point de vue de l'agent. Pour interpréter des termes indexicaux comme *à côté de moi, à ma droite, en face*, il est nécessaire de prendre en compte la localisation de l'agent. Pour ce dernier, la description de l'action *la plus simple* est celle qui utilise sa perspective actuelle. Il est possible d'y inclure aussi ses intérêts du moment, puisque par exemple une brique pourra être décrite comme une arme, un serre-livres ou un butoir selon les buts de l'agent qui s'en saisit. De la même façon, un oeuf sera décrit positivement ou négativement, selon que l'agent le considère comme un objet à goûter ou un objet à lancer. L'espace d'action égocentrique est décrit du point de vue de l'agent. Ce point de vue change en fonction de la position spatiale et temporelle de l'agent, de ses intérêts et de ses croyances.

Dans l'espace public, le monde n'est pas vu selon une perspective déterminée. De la même façon que l'on se fie à l'idée d'une permanence des objets, et que l'on croit avoir une compréhension commune de l'espace et du temps, on va supposer que l'expérience du monde s'organise autour d'objets publics (ce qui entraîne aussi l'existence d'un espace et d'un temps public). Les actions seront ainsi décrites d'une façon qui permette à tout un chacun, dans des circonstances qui pourront être fort différentes, de les exécuter. De la même façon, les conséquences d'une action

(5) Evans, 1983

pourront être mentionnées sans avoir besoin de supposer l'existence d'un agent qui en constate la réalisation. Il convient en effet de définir la plupart des indicateurs perceptuels de façon égocentrique dans la mesure où c'est la perspective de l'agent qui permet de déterminer les traits les plus saillants de l'environnement. Il est important de pouvoir déterminer jusqu'à quel point une activité peut être déterminée et contrôlée de façon rationnelle sans avoir eu à recourir à des concepts qui renvoient le plus souvent à des entités non égocentriques, publiques ou quasi publiques.

On ne conçoit pas du tout de la même façon l'environnement de l'action selon que l'on y pense de façon abstraite, avant d'y être plongé, ou qu'on y pense «perceptuellement», quand on y est pleinement engagé. En ce sens, une théorie qui se propose de décrire comment le raisonnement antérieur peut aider à guider l'activité doit expliquer les modalités de coordination entre ces deux types de représentations. En particulier, comment des ordres ou des instructions issus de modèles abstraits ne disposant pas de perspective peuvent-ils être traduits, de façon adéquate, pour être utiles au module réalisant la prise de décision locale qui, lui, dispose d'une perspective élaborée.

Un exemple extrême de ces difficultés de traduction est celui des tâches nécessitant une coordination de l'activité visuelle et de l'activité motrice. Quand une activité exige essentiellement de coordonner rapidement l'oeil et la main,

il semble normal de se fier à une esquisse de type 2 1/2 D, qui résulte d'un calcul rapide et qui est orientée par rapport à l'agent plutôt qu'à une esquisse de type 3 D qui exige un traitement beaucoup plus important et qui est orientée par rapport à l'objet (\*). Au tennis et au badminton, un dispositif perceptuel intelligent s'accorde et s'ajuste aux propriétés saillantes du champ visuel, dont beaucoup sont déjà décelables au moment du traitement visuel initial. Il est souvent possible de caractériser la relation qu'entretiennent ces traits primaires avec les traits computationnellement plus complexes de l'esquisse 3 D, mais en général les deux types de traits ne correspondent pas exactement à des propriétés externes identiques.

La question se pose donc de savoir comment un raisonnement portant sur des propriétés d'ordre supérieur peut être utile à un mécanisme conçu pour traiter des propriétés d'un niveau inférieur? Le psychologue J.J. Gibson a soutenu qu'il ne faut pas concevoir l'environnement de l'action comme un monde fait d'objets et de relations objectives, mais comme un monde constitué de surfaces et de trames et dépendant de la perspective de l'agent. Gibson développe une approche écologique de la perception où l'action et la perception ne sont pas des processus distincts (6). Les animaux et les humains ne perçoivent pas passivement le monde mais s'y meuvent activement en mobilisant les informations qui leur sont utiles pour guider leurs mouvements. Ces informations sont toujours disponibles sous une forme

(\*) David Kirsh fait ici référence à la distinction que fait Marr entre trois niveaux de représentation de l'information perceptuelle: l'esquisse primaire qui est la première représentation qui se dessine sur la rétine (contour, texture, ombre), l'esquisse secondaire (2 1/2 D) qui traite de la profondeur et de la surface et l'esquisse 3 D qui correspond à l'identification de l'objet. L'esquisse 2 1/2 D se manifeste par un ensemble de vecteurs qui sont des primitifs et représentent surtout la surface. Marr considère que l'esquisse 2 1/2 D est la phase terminale du processus visuel initial (de bas niveau).

(6) Gibson, 1979.

égocentrique dans la mesure où elle sont le résultat d'un «entrelacement» entre la perception et l'action. On peut cependant assister à l'émergence de certains traits invariants, en particulier au niveau initial du traitement de l'information perceptuelle (sans avoir recours à une représentation plus complexe de type 3 D). Lorsque les activités sont déterminées situationnellement, la perception, et plus particulièrement la perception égocentrique, est le facteur déterminant du succès de l'action, et non le raisonnement conceptuel. Il doit donc exister une corrélation entre les propriétés qui se manifestent au niveau égocentrique et les actions effectives.

### Un dispositif de traduction

Une solution raisonnable est de considérer que le module perceptuel intelligent s'ajuste à un ensemble de paramètres. Plutôt que de concevoir le système comme possédant seulement deux dispositifs de raisonnement (perceptuel et abstrait), on postule un troisième dispositif dont la fonction est de traduire les directives abstraites (venant du dispositif de raisonnement abstrait) en un ensemble de paramètres pour le dispositif de raisonnement perceptuel. Si l'on conçoit métaphoriquement ces dispositifs comme des agents, on peut dire que ce nouvel agent est en quelque sorte le «contremaître». Pour agir sur les paramètres il doit d'abord les reconnaître, déterminer ce qu'ils font, savoir quand ils peuvent être modifiés et les effets des modifications introduites. Il pourra acquérir un tel savoir, soit inductivement en observant ce qui se passe et à quel moment, soit analytiquement en appréhendant la dynamique qui lie perception, action et monde. Le rôle du contremaître est essentiellement un rôle de traducteur: il consiste à relier des

commandes abstraites telle que «viser au-dessus de leurs têtes» qui ne spécifient pas précisément la façon dont elles doivent être réalisées par l'appareil moteur ou visuel de l'agent à des paramètres provenant des dispositifs perceptuel et moteur, ce qui a pour conséquence de modifier la façon dont les instructions motrices seront coordonnées avec l'information visuelle (de type 21/2D).

Une description se situant à un tel niveau de détail peut sembler largement spéculative. Cependant, des expérimentations récentes en robotique semblent suggérer que l'efficacité d'un robot chargé de faire rebondir une balle de façon répétée sur une raquette de tennis peut être considérablement améliorée s'il a la possibilité d'apprendre de façon inductive de ses erreurs et d'en faire la théorie. (7). La capacité d'un dispositif à s'ajuster au signal d'entrée contribue donc à l'amélioration de ses performances.

Dans cette perspective, le rôle du contremaître est de produire une fonction d'ajustement qui utilise des dimensions pertinentes du point de vue du dispositif de planification abstrait. Ainsi, le dispositif abstrait a la possibilité de communiquer ses souhaits en matière d'action à un niveau qui reste général et abstrait puisque le dispositif de traduction se chargera de les traduire en un ensemble d'éléments paramétrés. On ne doit pas réduire les difficultés que posent la détermination des opérations de traduction entre les représentations publiques et les représentations égocentriques. La théorie de la décision rationnelle n'a accordé d'attention qu'à la prise de décision dans la sphère publique, ce qui a eu pour effet d'empêcher d'envisager des améliorations par l'acquisition de meilleures représentations des actions et de l'environnement.

(7) Atkeson et al., 1988.

## Donner des instructions pertinentes

Un autre problème se pose à une théorie de la gestion de l'action: quelles sont les dimensions de l'action qui doivent être contrôlées par le niveau supérieur? Pour que la communication entre le dispositif de planification abstrait et le contremaître soit efficace, il est nécessaire de déterminer les instructions qui peuvent modifier de façon utile le flux d'activités. Si l'on prend l'exemple de la coordination entre l'oeil et la main au tennis, les instructions pertinentes seront peut-être: «ne quitte pas la balle des yeux jusqu'à ce qu'elle touche ta raquette» ou «surveille l'angle que fait la raquette de ton adversaire jusqu'au moment où il frappe la balle». De telles instructions vont influencer et orienter la conduite de l'agent et plus particulièrement son raisonnement perceptuel dans la mesure où ce dernier doit choisir ce qui est le plus important dans la situation présente de façon à décider ce qu'il doit faire ensuite. Dès que la situation est complexe, manifester son savoir-faire dans une activité consiste à savoir lire rapidement les caractéristiques pertinentes de cette dernière de façon à n'avoir ensuite qu'à opérer en cours d'action des corrections minimales. Un dispositif perceptuel sera efficace s'il a été conçu de façon à savoir distinguer ce qui est important pour la tâche en cours de façon à corriger ou à confirmer une action. Un tel système doit avoir des attentes perceptuelles appropriées à la tâche ainsi que la capacité d'évaluer l'importance relative des traits.

Un dernier problème se pose cependant à une telle approche: quelle est l'information utilisée par le dispositif abstrait pour déterminer les contraintes globales? En effet, l'activité est généralement sous-déterminée et par voie de conséquence, la nature exacte des processus locaux n'est pas nécessairement connue. Il est alors difficile de déterminer les contraintes globales qui vont

s'exercer par rapport à ces processus locaux. Une façon de traiter ce problème consiste à examiner des exemples d'actions réussies pour découvrir quelles ont été les caractéristiques centrales des plans mis en oeuvre qui pourront, à leur tour, être appliqués à des tâches similaires. Le succès ou l'échec d'une activité dépend de nombreux facteurs tels la possession de ressources suffisantes, l'identification de points de repère, la connaissance des précautions qu'il est nécessaire de prendre. De même, il est important de savoir jusqu'où on peut s'éloigner d'un point de repère, de disposer de quelques astuces permettant de se tirer d'affaire en cas de problème, de savoir reconnaître les points où on peut se rétablir, savoir jusqu'à quel point on peut différer une décision.

## Conclusion

Un système capable de réagir à des conditions locales de façon automatique et experte présente une flexibilité lui permettant d'adapter un plan antérieur à la situation présente. Un tel plan n'a pas nécessairement besoin d'être beaucoup plus que les éléments suivants: un ensemble faiblement ordonné de modules perception-action intelligents, un ensemble de points de repère et de signes possibles, quelques astuces, quelques aide-mémoire, un ensemble de moyens qui se sont avérés efficaces dans le passé, et des pointeurs vers des exemples (ou des fragments d'exemples) particuliers qu'il peut être utile de suivre.

Pour un tel système, le raisonnement antérieur implique de récupérer, de trier et d'utiliser les cas potentiellement utiles. Il s'agit donc d'une méthode permettant de réduire la complexité en acceptant de payer les coûts préalables de construction des pointeurs, des aide-mémoire, qui pourront être utilisées ensuite de façon peu coûteuses.

---

## REFERENCES

---

**AGRE (P.), CHAPMAN (D.)**.- Pengi: A Implementation of a Theory of Activity.- Proceedings of the National Conference on Artificial Intelligence. Menlo Park, CA, AAAI, p. 268-272, 1987.

**ATKESON (C.) et al.**- Model Based Robot Learning, MIT, mimeo, 1988.

**BROOKS (R.)**.- Intelligence without representation.- D. Kirsh (ed.), "Foundations of Artificial Intelligence", édition spéciale de la revue *Artificial Intelligence*, à paraître en 1991.

**EVANS (G.)**.- Varieties of Reference, Oxford University Press.

**GIBSON (J.J.)**.- The Ecological Approach to Visual Perception.- Boston, Houghton Mifflin, 1979.

**NORMAN (D.)**.- The Psychology of Everyday Things, Basic Books, N.Y., 1988.