

---

# *Éléments pour une modélisation*

## *du concept d'affordance*

**Thierry Morineau**  
Laboratoire GRESICO  
Université de Bretagne-Sud  
Campus de Tohannic - BP 573  
56017 Vannes Cedex  
Thierry.Morineau@univ-ubs.fr

---

### **RÉSUMÉ**

La psychologie écologique propose le concept d'affordance pour rendre compte de l'adaptation immédiate d'un individu à son environnement. Ce concept s'est infiltré récemment en psychologie ergonomique, dans l'analyse de l'activité et à travers la définition d'interfaces dites "écologiques". Nous présentons dans ce papier des expériences menées en environnement virtuel et dans le domaine du contrôle de trafic aérien. Elles servent de base pour un recadrage conceptuel de l'affordance vers sa définition d'origine. D'autre part, nous proposons une première modélisation des affordances et de leur sélection cognitive. Cette modélisation a pour objectif d'aider à la définition de systèmes automatiques et d'environnements virtuels, pour en faciliter l'exploration par l'utilisateur.

### **MOTS-CLÉS**

Affordance, Contrôle cognitif, Interface écologique, Réalité Virtuelle, Contrôle de Trafic Aérien

---

## **1 INTRODUCTION**

À l'origine, le concept d'affordance a émergé des travaux de Gibson en psychologie écologique. La préoccupation de cet auteur résidait dans la manière de rendre compte de l'adaptation sophistiquée de tout individu vivant, animal ou humain, à son environnement et cela malgré la taille parfois très rudimentaire du cerveau de certains animaux (Gibson, 1979). Pour comprendre ce que représente une affordance dans son acception d'origine, il faut se détacher à la fois d'une dichotomie parfaite entre l'individu et son environnement ambiant et d'une vision symbolique du traitement de l'information. Tout d'abord, l'individu est inscrit dans son environnement. L'interaction entre d'une part, les caractéristiques de l'individu, son action actuelle et d'autre part, les propriétés du contexte environnemental vont déterminer en commun la nature des sollicitations offertes et leur valeur adaptative. Par exemple en ce qui concerne les caractéristiques de l'individu, selon la taille de l'animal un buisson constituera pour lui un simple obstacle dans sa course ou bien un refuge où il pourra facilement se cacher des prédateurs. En ce qui concerne l'action en cours de réalisation, Gibson a montré par exemple que le flux optique constituait une affordance essentielle dans la locomotion. Ce flux est le résultat d'une interaction entre le défilement de la scène visuelle, la vitesse et l'orientation de l'animal dans son déplacement (Gibson, 1956). Aussi, la science physique n'intéresse Gibson que dans une marge de phénomènes se produisant à l'échelle de l'individu et à la mesure de ce qu'il peut faire ou fait actuellement l'expérience. Ces phénomènes physiques prennent alors pleinement une signification pour l'individu dans son adaptation.

Le second aspect à prendre en considération est le caractère non symbolique des affordances. Une sollicitation provenant d'une propriété de l'environnement et ayant une valeur adaptative pour l'individu est perçue de manière directe par ce dernier, compte tenu de ses caractéristiques biomécaniques et sensori-motrices. Une affordance est avant tout une perception qui permet une adaptation immédiate de l'individu sous la forme d'une action prenant en compte cette perception. L'intégration de l'affordance dans la boucle perception-action ne nécessite pas de médiateurs cognitifs relevant de signes, dont la sémantique serait stockée dans une mémoire déclarative.

En faisant de l'adaptation de l'individu à son milieu environnant le centre de sa problématique, la psychologie écologique intéresse bien évidemment la psychologie ergonomique. Dans cette discipline, on peut distinguer actuellement deux usages du concept d'affordance pour l'adaptation des outils à l'être humain. La première relève d'une volonté de transférer les affordances présentes dans le réel au sein de simulateurs ou d'environnements virtuels. Dans ce cadre par exemple, le flux optique a fait l'objet de travaux pour aider à la conception d'aides au pilotage d'avion ou d'hélicoptère ou encore à l'intégration d'indices de déplacement dans les simulateurs afin d'en améliorer leur réalisme (Padmos & Milders, 1992).

L'autre approche est d'une certaine manière plus élaborée d'un point de vue conceptuel, elle envisage une nouvelle façon d'analyser l'activité, ainsi qu'un nouveau cadre de conception des interfaces classiques de contrôle-commande. Dans cette optique, l'activité de l'opérateur n'est plus à appréhender sous la forme d'une procédure devant respecter les consignes de la tâche, mais plutôt sous la forme d'un espace de possibles dans lequel l'opérateur va naviguer, en mettant en œuvre des stratégies opératoires et des apprentissages (Flach, 1990 ; Vicente & Rasmussen, 1990). D'autre part et en corollaire, l'interface ne peut plus être considérée comme un moyen permettant une séquence d'action dont la validité est prédéfinie. Elle doit au contraire constituer une matérialisation de l'espace des actions possibles, en affichant de manière transparente à l'opérateur les limites des fonctionnalités du système, les contraintes que pose le domaine du travail prescrit, et ceci sur la base des compétences dont dispose l'opérateur (Pejtersen & Rasmussen, 1997). Cela amène les auteurs à parler d'interface écologique (Ecological Interface Design) fondée sur la mise en évidence des affordances nécessaires à l'accomplissement de la tâche par l'opérateur.

Cette application du concept d'affordance au domaine du travail se traduit toutefois par une redéfinition significative du concept d'affordance. La raison du glissement sémantique observé semble être liée à une déduction. Pour élaborer un modèle de l'activité d'un opérateur, il est nécessaire de rendre compte des choix qu'il effectue parmi l'ensemble complexe des informations ou affordances auxquelles il se doit faire face. Ceci a donc conduit les auteurs à soulever le problème critique dans la théorie de Gibson de la sélection des affordances parmi un ensemble de sollicitations. Ce problème a également été soulevé par Reed (1996). Celui-ci le résout en considérant que la sélection des affordances se réalise à travers l'élaboration par le sujet d'une intention qui filtre les affordances pertinentes à un moment donné. De leur côté, Vicente et Rasmussen (1990) proposent que l'opérateur réalise une hiérarchisation des affordances selon une dimension fonctionnelle "fin-moyens". Une affordance singulière vient alors s'imbriquer dans un tissu relationnel élaboré par le sujet pour atteindre une fin à l'aide de certains moyens (tableau 1). La finalité vient spécifier le moyen à sélectionner, tandis que le moyen sélectionné contraint l'obtention de la fin. Dans cette optique, nous obtenons un réseau fonctionnel entre les différentes affordances. Toutefois, cette démarche de hiérarchisation des affordances a pour effet consécutif de considérer différentes strates d'affordances ayant des niveaux d'abstraction différents, du plus abstrait au plus concret : valeurs, priorités, contextes, mouvements, objets et environnement (Vicente & Rasmussen, 1990). Cette hiérarchisation implique alors que certaines strates d'affordances considérées comme typiquement des finalités constituent des éléments abstraits que l'on peut considérer comme disposant d'une représentation symbolique au niveau cognitif. D'autre part, selon les strates considérées nous obtenons une dissociation entre des affordances plutôt internes à l'individu (valeurs, priorités, contexte, mouvement) et des affordances plutôt externes (objets et environnement). L'affordance ne devient donc qu'indirectement le lieu d'une interaction entre l'environnement et l'individu, via une chaîne de causalité fonctionnelle. Ces deux dissociations vont à l'encontre, comme nous l'avons vu précédemment, d'une définition stricte de la notion d'affordance : inscription de l'individu au sein de l'environnement et contrôle cognitif non symbolique.

En fait, ces différentes strates de l'échelle fin-moyens que les auteurs mettent en évidence semblent bien refléter différents niveaux de contrôle cognitif dont seul le niveau le plus bas, relève

d'un traitement véritablement fondé sur des affordances au sens strict du terme. Ainsi, Pejtersen & Rasmussen (1997) suggèrent eux-mêmes que : “ la perception des affordances sur les différents niveaux entretient différents rôles dans l'activité humaine de contrôle. La sélection des buts à poursuivre est liée à la perception des valeurs au plus haut niveau de l'échelle, la planification de l'activité à une perception à un niveau médian, tandis que le contrôle précis des mouvements dépend de la perception des objets physiques et du contexte au niveau le plus bas de l'échelle ” (p.322. Pejtersen & Rasmussen, 1997). Aussi, ces différentes strates sont plus le reflet de niveaux cognitifs tels que ceux proposés par Hoc et Amalberti (1995) : boucle à long terme basée sur des connaissances et méta-connaissances, boucle à moyen terme basée sur la représentation mentale et boucle à court terme, basée sur des routines et des affordances.

Tableau 1 : Les affordances structurées dans une hiérarchie “ fin-moyen ”  
adapté à partir de Vicente & Rasmussen (1990)

<b>VALEURS PRIORITÉS</b>	<b>Survie</b>	<b>Plaisir</b>	<b>Altruisme</b>
	Récompense	Peine	Nourrir
	Se nourrir	Confort	Construire
	Intimité	Copulation	Coopérer
	Danger		
<b>CONTEXTES</b>	Chaleur	Boire	Communiquer
	Repas	Se laver	Se baigner
	Blessure	Soutenir	Combattre
	Construction	Aider	Punir
	Locomotion		
<b>MOUVEMENTS</b>	Grimper	S'asseoir	Tomber
	Nager	Courir	Se placer
	Respirer	Enfoncer	Transporter
	Monter	Attraper	Verser
<b>OBJETS &amp; ENVIRONNEMENT</b>	Substances	Objets	Espace
	Surfaces		

Mais, cette généralisation conceptuelle du concept d'affordance sur le plan psychologique ne remet pas en cause d'après nous, de manière fondamentale l'intérêt d'exemples concrets de développement d'interfaces écologiques, telles que DURESS II (Christophersen, Hunter, & Vicente, 1998) ou bien l'interface développée par Effken, Kim et Shaw (1997) dans le domaine médical. Toutefois, nous pensons qu'il est nécessaire de mieux circonscrire sur le plan psychologique le rôle dont dispose le traitement des affordances, afin d'en tirer profit de manière optimale. L'approche écologique des interfaces Homme-Machine constitue une vision prometteuse des nouveaux systèmes, nés du développement actuel des techniques de Réalité Virtuelle. D'autre part, le fait que l'opérateur est de plus en plus confronté à un flux excessif d'informations avec le développement actuel des moyens de communication constitue un problème pouvant être traité sous cet angle (Lahlou, 2000).

Compte tenu de ces éléments, notre travail actuellement consiste à reconsidérer le concept d'affordance dans son application au domaine de la psychologie ergonomique. Nous nous proposons ici de montrer à travers un ensemble de travaux théoriques et empiriques que :

- (1) L'affordance dans son acception première peut rendre compte de phénomènes critiques dans l'interaction Homme-Machine, où un contrôle cognitif principalement basé sur les affordances peut générer des effets négatifs dans l'adaptation humaine ;
- (2) L'affordance relève d'un niveau de contrôle cognitif singulier qui est à intégrer dans une architecture cognitive plus large, afin de comprendre et de profiter de niveaux de régulation cognitifs supérieurs ;
- (3) Une modélisation des affordances et de leur sélection sans faire appel à un niveau de contrôle cognitif supérieur de nature symbolique est possible. Cette modélisation doit être menée pour mieux circonscrire le rôle de ce niveau d'adaptation de base.

## 2 AFFORDANCES ET SITUATIONS CRITIQUES DANS L'ACTIVITE

Si les affordances ont un rôle à jouer dans la détermination des comportements humains, ce rôle serait en toute logique prégnant durant une activité d'exploration de l'environnement ambiant. Cette activité consiste en effet à collecter les informations critiques pour l'adaptation de l'individu à un nouvel environnement ou bien à un état nouveau d'un environnement habituel. Reed (1996) envisage ainsi une étape d'exploration des affordances qui vient alimenter la boucle perception-action. Dans le cadre de la navigation dans un environnement simulé ou bien réel, Spence (1999) souligne l'importance d'une première étape cognitive de collecte des données critiques dans l'environnement (browsing), qui permet l'élaboration ultérieure d'un modèle mental. Cette étape de browsing selon l'auteur serait largement non consciente. Enfin, Lahlou (2000) explique le syndrome de saturation cognitive par le flux d'information (Cognitive Overflow Syndrome) dans le travail de bureau de cadres supérieurs, par une dépendance à l'égard des affordances qu'ils traitent dans le cours de leur activité. Celles-ci constituent des attracteurs cognitifs plus forts que la stratégie de travail planifiée préalablement, ce qui conduit les opérateurs à un " papillonnage ", sans que les buts planifiés soient atteints. Cette force des affordances est selon l'auteur liée à une activité exploratoire systématique et presque inévitable du sujet à l'égard de son environnement de travail.

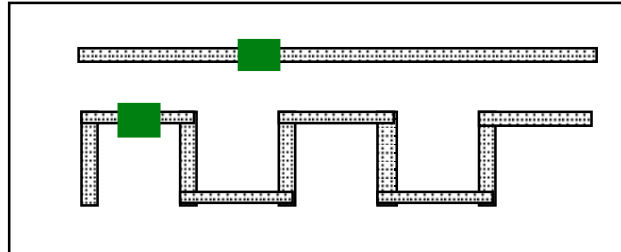
Dans le domaine de la conception d'environnements virtuels, le concept d'affordance est appréhendé comme un moyen pour développer un espace virtuel directement signifiant pour le sujet immergé à l'aide d'un casque de Réalité Virtuelle par exemple (Cronin, 1997). Il est vrai que les techniques de Réalité Virtuelle ouvrent la voie au développement d'interfaces affichant des propriétés proches de celles rencontrées dans le monde naturel. Les objets qui sont fondamentalement des abstractions générées par ordinateur sont représentés comme des objets réels à trois dimensions, avec des textures, des ombres et un positionnement dans un espace. Les interfaces peuvent solliciter également des retours tactiles et kinesthésiques à l'égard de l'objet. D'autre part, l'opérateur humain peut disposer d'un point de vue égocentré vis-à-vis de ces objets et il peut se mouvoir dans l'environnement. Aussi, nous pouvons faire l'hypothèse que lors d'une exploration de ce nouveau type d'environnement, l'individu va être conduit à réaliser des traitements cognitifs où les propriétés des objets représentés auront un rôle prégnant. L'interface dispose d'une structure fonctionnelle mettant en avant de manière inédite ces caractéristiques sensori-motrices, prenant le statut d'affordance. De plus, le sujet est dans une situation globale d'exploration d'un environnement nouveau.

Pour tester notre hypothèse, nous avons soumis à des adultes immergés pour la première fois dans un environnement virtuel, un ensemble de problèmes à résoudre basé sur une dissociation entre les caractéristiques de surface que présentent ces problèmes et leurs structures profondes de résolution (Morineau, 2000a). Nous avons pour cela utilisé dans une première expérience des épreuves conçues à l'origine par Piaget. En effet, ces problèmes relèvent typiquement de problèmes dissociant caractéristiques de surface et structure profonde du problème. Prenons par exemple, une épreuve de conservation telle que celle consistant à transvaser de l'eau devant un jeune enfant, d'un verre A en un verre B plus mince ou en un verre C plus large. Jusque vers 7-8 ans, l'enfant considère que le liquide augmente ou diminue en quantité, selon la forme du contenant malgré les transvasements réalisés devant lui (Piaget et Inhelder, 1966). Son raisonnement est exclusivement fondé sur les apparences trompeuses, que suggèrent la forme plus ou moins allongée du verre. Autrement dit, la propriété " hauteur à laquelle se trouve le niveau du liquide " est une affordance qu'il est nécessaire de dépasser pour analyser correctement la situation et se représenter mentalement la permanence de l'objet malgré ses transformations.

Nous avons donc choisi dans une première expérience de présenter des problèmes piagetiens à des adultes immergés dans un environnement virtuel (un bureau) à l'aide d'un casque de Réalité Virtuelle. La première épreuve était celle dite du "chemin parcouru" (Piaget, 1946). Elle consiste à présenter au sujet deux parcours, sur lesquels se trouve sur chacun d'entre eux, un objet pouvant bouger (un cube dans notre cas). L'expérimentateur déplace le cube situé sur le parcours en créneau et le sujet doit déplacer le cube du parcours d'en haut, de manière à ce qu'il réalise un parcours de

longueur identique (figure 1). Les deux parcours malgré leurs formes différentes ont un point de départ et d'arrivée en correspondance spatiale. Les enfants n'ayant pas atteint le stade des opérations concrètes placent le cube d'en haut, de manière à ce qu'il y ait une correspondance terme à terme au niveau visuel, entre les deux cubes. Il faut attendre l'âge de 7-8 ans pour qu'une réponse, en termes de longueurs de chemin parcouru soit donnée et donc, pour que l'enfant se détache des fausses équivalences que la perception visuelle lui apporte (affordance directement perçue).

Figure 1 : L'épreuve du chemin parcouru (inspiré de Piaget, 1946)



La seconde épreuve présentée aux sujets était celle de la quantification de l'inclusion (Piaget et Szeminska, 1967). Il s'agit d'estimer à quel moment l'enfant est en mesure de prendre en considération la relation d'inclusion, qui se définit en compréhension (appartenance qualitative d'un sous-ensemble à un ensemble : "la marguerite est une fleur") et en extension (appartenance quantitative à un ensemble : "toutes les marguerites sont quelques fleurs"). Il faudrait attendre l'accès au stade des opérations concrètes (7-8 ans), pour que l'emboîtement des classes se réalise dans une relation d'inclusion. Par la suite, ce résultat a été remis quelque peu en cause et affiné, notamment par Bideaud et Lautrey (1983). En effet, il a été montré que si l'enfant arrivé au stade des opérations concrètes réussissait à donner une réponse correcte à la question, il n'en reste pas moins qu'il échouait à une question, telle que par exemple la suivante : "Peut-on faire quelque chose ou ne peut-on rien faire pour qu'il y ait plus de marguerites que de fleurs ?" (épreuve "modification"). À cette question, l'enfant âgé de moins de 11 ans répond de manière affirmative, car il considère toujours les deux classes comme disjointes, au niveau de leur extension sur la base des informations visuelles que fournit le matériel : un nombre plus élevé de marguerites. Nous présentions donc aux sujets adultes immergés 5 images consécutives de classes d'animaux et végétales, sur un écran dans le bureau virtuel. Les sujets devaient répondre à la question classique sur l'inclusion logique et à la question subsidiaire sur la possibilité de modifier le rapport d'inclusion.

Les résultats globaux de cette expérience montrent que de jeunes adultes immergés dans le virtuel tombent de manière fréquente dans les pièges posés par les problèmes piagetiens, sans pouvoir faire appel à une représentation rationnelle de la structure du problème. À ce propos, l'analyse des réponses verbales données par les sujets immergés pour les deux problèmes d'inclusion logique montre des raisonnements proches de ceux que l'on peut trouver chez l'enfant échouant aux épreuves. Une seconde expérience portant sur des problèmes-pièges présentés oralement montre également, mais dans une moindre mesure, des erreurs élémentaires des sujets. Ils prennent en compte des informations auditives non-pertinentes pour la structuration du problème.

L'individu confronté à cet environnement nouveau traiterait donc de manière privilégiée les informations sensori-motrices jugées par lui directement pertinentes pour sa réponse dans le cadre de cette exploration d'un environnement aux propriétés nouvelles. D'ailleurs, une autre expérience portant cette fois-ci sur la réalisation de pantomimes d'actions en environnement virtuel confirme cette adaptation immédiate aux propriétés de l'environnement (Morineau, 1996). Les pantomimes d'actions effectuées se rapprochent de celles effectuées par les groupes d'enfants dans le réel. Ces derniers sont confrontés en fait à la même situation que les adultes dans le virtuel : une situation de découverte des propriétés de l'environnement et des modes d'action sur celui-ci.

À présent, si l'on en revient à l'apport de la notion d'affordance dans la définition d'interfaces et de systèmes automatiques, on notera qu'un traitement exclusivement fondé sur les affordances peut être dangereux d'un point de vue rationnel. Ceci implique deux choses. La première est qu'il est nécessaire d'intégrer le traitement des affordances dans une architecture cognitive plus générale faisant appel à des stratégies adaptatives plus sophistiquées pouvant être en décalage avec

une réponse directe relative à une information perceptive. Le second élément est qu'il est nécessaire de modéliser précisément les caractéristiques des affordances, afin qu'elles disposent de propriétés permettant une adaptation à court terme, adéquate pour le sujet.

### **3 AFFORDANCES ET NIVEAUX DE CONTROLE COGNITIF**

Les travaux précédents indiquent qu'un traitement exclusivement fondé sur des affordances conduit à terme à des inadaptations du sujet : réponse inadaptée à la résolution d'un problème nécessitant une abstraction de la réalité. Pour comprendre des adaptations qui ne tombent pas dans des impasses (on pourrait parler de "minima locaux"), l'individu doit disposer d'une capacité d'inhibition des affordances saillantes dans l'environnement (Houdé, 1995), d'une décentration cognitive (représentation mentale) et de connaissances liées à ses expériences antérieures dépassant l'adaptation à la situation immédiate telle qu'elle se présente. L'architecture cognitive proposée par Hoc & Amalberti (1995) propose ainsi différents niveaux de contrôle cognitif jouant sur différents horizons temporels : long terme, moyen terme et court terme.

Une expérience sur simulateur avec des contrôleurs du trafic Aérien professionnels nous a permis de voir émerger ces différents niveaux de contrôle cognitif (Hoc, Morineau, & Denecker, soumis ; Morineau 2000b ; Morineau, 2000c). Le contrôle aérien "en route" consiste à gérer un trafic sur un large secteur. Les opérateurs doivent assurer le bon déroulement de différents vols d'avion dans le secteur. Ces avions suivent un ensemble de routes dont les croisements sont représentés par des balises. L'objectif principal est de réduire les risques de conflit. Les opérateurs peuvent ainsi modifier la trajectoire d'un avion (cap, altitude, vitesse) de façon à ce qu'il passe à distance suffisante des autres avions. Les opérateurs disposent d'une interface de contrôle comprenant une image-radar restituant la position en temps réel des avions et un ensemble de bandes papiers (appelés strips) précisant pour chaque avion son plan de vol (altitude, heures de passages sur les balises, ...). Comme moyens de commande, l'opérateur peut donner des instructions aux avions dans le secteur, ainsi qu'échanger avec les contrôleurs des secteurs adjacents à travers un contact radio.

Dans l'objectif d'aider à la conception d'un système automatique pour la résolution de conflits aériens, nous avons analysé à partir de données collectées, les types de contrôle cognitifs engagés pour résoudre des conflits. Nous avons sondé la possibilité d'un contrôle anticipatif des conflits, à partir d'une technique de gel de la simulation à certains moments (Boudes & Cellier, 1996). Les opérateurs devaient alors dessiner les positions des avions sur une carte "radar" en papier. D'autre part, nous avons tenté d'accéder à un niveau de contrôle à court terme chez l'opérateur, via une mise en correspondance des étapes de l'activité cognitive (identification de problème, décision, action de résolution) avec certains états liés au trafic aérien à réguler dans le secteur. Cette articulation temporelle entre des étapes de l'activité et des états du trafic peut alors nous montrer la valeur adaptative de ces états pour l'opérateur (statut d'affordance).

Les résultats indiquent que les représentations graphiques exécutées par les opérateurs ont un caractère majoritairement anticipatif. Les avions seraient représentés mentalement en avance par rapport à leur position réelle. Par contre, les étapes de l'activité cognitive sont particulièrement bien synchronisées dans le temps, avec certains états du processus. Ces données nous permettent donc de supposer un fonctionnement en parallèle de différents niveaux de contrôle de l'activité : une représentation mentale anticipatrice et un traitement immédiat des affordances. Ils nous conduisent donc à soutenir l'idée de la nécessité d'intégrer le traitement cognitif des affordances dans un ensemble de niveaux de traitements portant sur des objets et horizons temporels différents pour une même activité. Ces premiers résultats vont permettre de nous guider dans la définition du système d'aide à la résolution de conflits, notamment dans le sens d'une prise en compte de ces différents horizons temporels dans la présentation des informations.

### **4 PREMIERS ÉLÉMENTS POUR UNE MODÉLISATION DES AFFORDANCES**

L'opacité fondamentale du fonctionnement de certains systèmes d'aide profiterait d'une conception fondée sur le traitement des affordances. Ainsi, l'opérateur pourrait comprendre de manière intuitive, ce que réalise le système et reprendre la main plus naturellement, si nécessaire.

D'autre part, les interfaces nouvelles basées sur la représentation d'environnements en images de synthèse (Réalité Virtuelle, Réalité Augmentée) ou basées sur une retranscription d'un environnement distant (téléopération) viennent solliciter les compétences sensori-motrices de l'être dans le cadre d'une activité portant sur des objets abstraits, car artificiels ou éloignés. Cette situation paradoxale nécessite également la mise en place d'une démarche d'élaboration d'affordance adaptée, lors de la conception des systèmes.

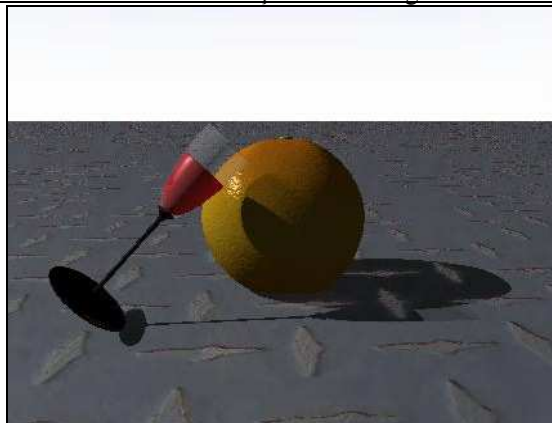
Sur la base de nos travaux actuels avec nos multiples collaborateurs dans le domaine des Sciences de l'Ingénieur (E. Colle, CEMIF, Evry ; P. Chedmail, IRCCyN, Nantes ; M. Parenthoën, ENIB, Brest), nous allons présenter ici une synthèse théorique sur les premiers éléments d'une modélisation des affordances et de leur sélection à un niveau non symbolique (Morineau, Chedmail, & Parenthoën, 2001).

#### 4.1. Une définition opérationnelle de l'affordance

Une affordance représente concrètement une interaction individu-environnement, où les propriétés de l'environnement (objets et lois physiques) sont perçues par l'individu en fonction de ses propres caractéristiques (taille, champ de perception, champ d'action) et sa position à un moment donné (distance entre les propriétés et lui-même, action mise en œuvre, posture actuelle...). Dans le champ de la psychologie expérimentale, un certain nombre de travaux montrent ainsi que l'on peut mettre en évidence une estimation des affordances sur la base d'équations mathématiques. Ainsi, par exemple Mark et Vogele (1987) ont montré que les sujets évaluaient leur hauteur maximale d'assise sur une chaise sur la base d'un rapport constant avec la longueur de leurs jambes. Cette estimation subjective est valable également pour un sujet observant un acteur se présentant devant une chaise. Certains travaux indiquent également le rôle que peut jouer la hauteur de perception à laquelle se trouve un observateur pour estimer une affordance, ou bien encore le rôle des caractéristiques biomécaniques de l'individu (voir Stroffegen, Gorday, Sheng, & Flynn, 1999).

Ces facteurs nous semblent particulièrement importants lorsque le sujet est dans une situation instrumentale où il agit et perçoit à travers des outils disposant de caractéristiques spécifiques. Cela est vrai notamment pour les interactions Homme-Réalité Virtuelle. Les interfaces de contrôle (écran, casque de réalité virtuelle) mettent à la disposition du sujet un champ de perception spécifique contraignant la perception des affordances. Les interfaces de commande (gant de réalité virtuelle, clavier, joystick, ...) proposent selon leurs caractéristiques propres des champs d'action spécifiques. En situation réelle, cela est tout particulièrement vrai lors de l'usage d'un véhicule ou un robot téléopéré. Celui-ci constitue un médium définissant de manière spécifique les affordances à prendre en considération selon ses caractéristiques propres. De manière très générale en situation d'utilisation d'outils, il sera nécessaire d'analyser les affordances sur la base des sollicitations environnementales retransmises par les outils et interfaces à l'individu. Prenons un exemple fictif élémentaire pour illustrer notre propos. Imaginons qu'un individu est immergé dans un environnement virtuel et perçoit à un moment donné la scène présentée dans la figure 2.

Figure 2 : scène virtuelle conçue avec le logiciel STRATA-3D



Cette scène malgré son réalisme écologique (texture, ombre, volume des objets, perspective donnée par la texture au sol) présente un ensemble de propriétés affordantes spécifiques. Tout d'abord, en ce qui concerne les objets et les lois physiques. On notera que le liquide présent dans le verre à pied ne subit pas la loi de la gravité, puisque le niveau du liquide reste perpendiculaire à l'axe du verre. En ce qui concerne le champ de perception de l'observateur, ce point de vue est inhabituel puisqu'il se situe à la hauteur de ces petits objets, quelque peu au-dessus de la surface du support (table ou sol). Le champ de perception présente donc des caractéristiques bien particulières vis-à-vis d'un point de vue habituel (adulte en position debout). Cela implique alors des questions sur la nature du champ d'action dont peut disposer le sujet immergé sur ces objets, par exemple est-ce que ces objets sont à une distance permettant de les atteindre directement ? La capture de ces différents éléments et la régulation du comportement en conséquence se feraient, selon nous, de manière non consciente durant l'exploration perceptivo-motrice de l'environnement. Cela ne signifie pas pour autant qu'au niveau symbolique, l'individu ne se construira pas en parallèle une représentation mentale particulière sur les formes et objets perçus, ayant pour but de les interpréter et les reconnaître.

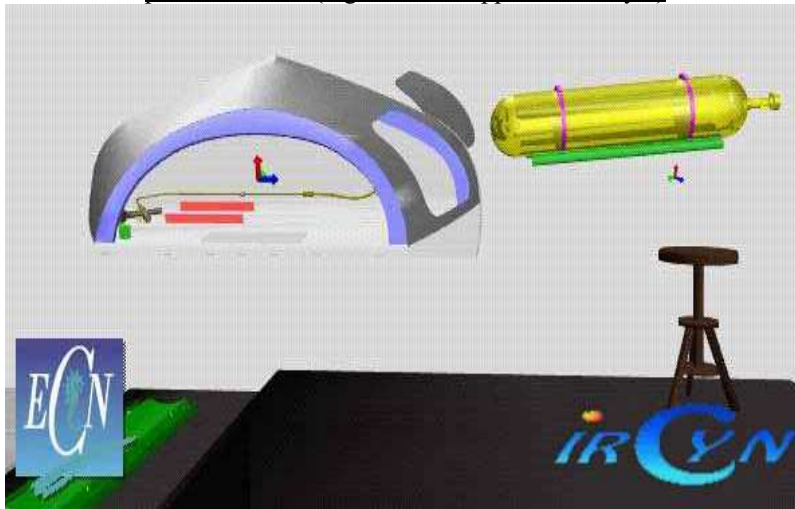
#### **4.2. La sélection des affordances**

Une fois que l'ensemble des affordances nécessaires a été défini, il faut prendre en considération le fait que l'individu va de manière singulière sélectionner dans l'ensemble des possibles, certaines affordances plus que d'autres. A contrario de l'approche de Vicente et Rasmussen sur le mode de sélection des affordances, nous supposons qu'une sélection peut s'effectuer sans faire appel à une hiérarchisation "fin-moyen" conduisant à l'appel à des traitements cognitifs d'ordre supérieur. Cette sélection de nature "sub-symbolique" est en accord avec l'hypothèse d'un superviseur non-conscient sur le plan des structures cognitives (Norman & Shallice 1980 ; Paillard, 1994). Un premier critère automatique de sélection d'une affordance pourrait être sa valeur pour l'individu compte tenu de sa disposition actuelle et/ou de la disposition de l'outil qu'il utilise. Ainsi, Lewin (1936) proposa une théorie des champs de force dans laquelle chaque objet dispose d'une valeur attractive ou répulsive pour un individu. Plus récemment comme nous l'avons vu précédemment, Lahlou (2000) envisage les affordances comme des attracteurs cognitifs menant à une sélection automatique des schémas d'activités à mener, selon une hiérarchisation pouvant être contraire à celle menée à un niveau stratégique par le sujet (but planifié). Dans le cadre du déplacement d'un mobile (outil utilisé), les chemins constituent de manière directe des affordances attractives pour le mobile. Toutefois, un chemin se définira de manière intrinsèque en fonction des caractéristiques de ce mobile. Par exemple, un chemin pourra devenir un obstacle selon qu'il s'agisse d'une voiture classique ou bien d'un véhicule à quatre roues motrices à haut gabarit. Les propriétés répulsives seront celles ayant valeur d'obstacle dans ce cas-là.

Pour tendre vers une estimation des affordances, nous remarquons ainsi qu'il est nécessaire de mettre en correspondance les propriétés présentes dans l'environnement immédiat à un moment  $t$  et les caractéristiques du sujet et/ou de son outil. Dans cette optique, nous proposons de dresser des tableaux de contingences, dans lesquels nous allons réaliser une comptabilisation du nombre de relations de dépendance entre une propriété de l'environnement liée à un objet par exemple, et les caractéristiques de l'outil utilisé. La somme des relations de dépendance observée a priori entre une certaine propriété et l'ensemble des caractéristiques du sujet et/ou de l'outil concerné conduira à la mise en évidence de la valeur d'affordance de cette propriété. Nous pouvons alors réaliser une première hiérarchisation des propriétés de l'environnement entre elles selon leurs valeurs absolues d'affordance. Par exemple, nous travaillons en collaboration avec l'IRCCyN (Patrick Chedmail et Mathieu Guibert), sur une description des valeurs d'affordance des objets présents dans un environnement virtuel pour la CMAO (figure 3). Le système informatique développé recherche de manière automatique la trajectoire dans ce cas d'une bouteille d'oxygène pour l'insérer dans un avion. Il est assisté par l'opérateur via les images virtuelles sur lesquelles ce dernier peut agir et réguler la trajectoire proposée par le système automatique (Chedmail & Le Roy, 1999). Le tableau 2 présente, à titre illustratif, une première tentative de calcul des valeurs absolues d'affordances des propriétés rattachées aux objets dans la scène présentée (hormis le tabouret présent dans la figure 3).



Figure 3 : Point de vue sur l'application de planification automatique de trajectoire pour un mobile (logiciel développé à l'IRCCyN)



Les totaux obtenus en bas des colonnes du tableau indiquent a priori la “ force ” d’attraction ou de répulsion au sens Lewinian du terme que présentera chaque objet à l’égard de la bouteille d’oxygène. On notera que les rails du fait de leurs caractéristiques perçues permettent de les mettre en relation en priorité avec les rails disposés sous la bouteille, comparativement aux autres affordances attractives (valeur égale à 7). Cela suppose que lors d’une exploration de l’environnement, le sujet trouverait de manière intuitive l’action à réaliser, comme lors de la réalisation d’un puzzle élémentaire.

Une fois ces valeurs obtenues, il est nécessaire pour poser un modèle de la sélection automatique des affordances de tenir compte du niveau d’accessibilité des affordances, les unes à l’égard des autres. Prenons par exemple le cas d’un automobiliste se trouvant à l’entrée d’un carrefour giratoire. Sur la base du calcul des valeurs d’affordance des sorties du carrefour (routes), on peut obtenir des valeurs absolues identiques. On fait alors l’hypothèse que l’automobiliste se laissant guider par les affordances (étape d’exploration de son environnement) va prendre la sortie la plus proche à un moment donné, c’est-à-dire la plus accessible dans l’espace. Toutefois ici encore, il faut différencier une accessibilité perceptive : l’affordance perçue la plus directement et une accessibilité motrice : l’affordance la plus directement à portée de l’outil ou du sujet sans outil. Ces niveaux d’accessibilité perceptive et motrice viendraient ainsi pondérer la valeur absolue d’une affordance pour lui donner une valeur relative selon la disposition de l’acteur ou de son outil à un moment donné. Nous obtenons ainsi un second niveau de hiérarchisation des affordances.

Tableau 2 : Valeurs absolues d’affordances des propriétés rattachées aux objets de la scène (figure 2) sur la base de leurs relations avec les caractéristiques de l’outil (bouteille d’oxygène)

	ATTRACTEURS			RÉPULSEURS			
	CHEMIN	PASSAGES		OBSTACLES			
	Rail Dans l’avion	Porte ouverte	Paroi transparente (avion)	Paroi Externe (avion)	Paroi Interne (avion)	Sol	Plafond
<b>BOUTEILLE</b>							
POSITION	1					1	1
ORIENTATION	1	1	1	1	1		
VOLUME		1	1		1		
FORME							
POIDS							
RESISTANCE				1	1	1	1
CONTACT							
<b>RAILS</b>							
POSITION	1						
ORIENTATION	1	1		1			
VOLUME							
FORME	1				1		

RESISTANCE	1			1	1		
CONTACT	1						
<b>TOTAL</b>	<b>7</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>2</b>

Nous sommes actuellement en train de mener des expérimentations sur la base d'environnements virtuels ou de téléopération pour valider le caractère prédictif de ce modèle sur l'activité d'exploration de l'individu. À ce niveau, il est important de souligner que le rôle primordial de l'affordance sur le comportement est envisagé tout spécialement dans le cadre de situations ou de phases d'exploration d'un environnement. Lors d'interactions répétées, il faudrait ajouter un facteur de fréquence de mise en œuvre de certains comportements dans le répertoire pour mettre en évidence le rôle de l'apprentissage sur la sélection automatique de ce qui serait alors une routine comportementale.

Enfin, nous testons des formalismes mathématiques pour modéliser le traitement des affordances (collaboration sur le thème du pilotage d'un voilier avec M. Parenthoën, ENIB, Brest), (voir Morineau, Chedmail, & Parenthoën, 2001).

## 5 CONCLUSION

Notre approche du concept d'affordance vise à modéliser un niveau singulier de contrôle cognitif de l'individu dans son adaptation à l'environnement, de manière à en extraire les apports directs et les limites. Ce contrôle cognitif concerne le rapport qui s'élabore entre un individu occupant un point de l'espace et disposant d'un ensemble de compétences sensori-motrices, et un ensemble de propriétés de l'environnement reliées aussi bien à des objets perceptibles qu'à l'environnement dans sa globalité (par exemple, le flux optique ou la gravité). Cette régulation est tout particulièrement observable selon nous, lorsque le sujet explore à certains moments l'espace environnant dans son activité cognitive. Il s'agit des situations par exemple, de Contrôle de Trafic Aérien, où l'exploration d'informations se renouvelant sans cesse est critique, ou bien encore lorsque l'opérateur doit orienter une pièce mécanique à déplacer dans un espace de synthèse, ou bien encore lorsqu'il analyse son environnement pour réguler la trajectoire d'un voilier de compétition ou d'un robot. Le contrôle cognitif basé sur des affordances serait également prégnant à un niveau plus macroscopique, lorsque l'individu découvre un environnement nouveau (immersion pour la première fois dans un environnement virtuel).

Nous pensons que l'étude précise de ces étapes d'exploration est importante, car il s'agit de phases qui vont configurer les informations de base sur lesquelles l'individu va fonder une analyse, qui est elle plutôt symbolique, de la situation. Il pourra alors planifier des buts, résoudre des problèmes ou bien acquérir des habiletés. Toutefois, il ne s'agit que d'un niveau de contrôle parmi d'autres, disposant d'avantages et d'inconvénients. L'avantage est une réponse immédiatement adaptée aux aspects de l'environnement auquel l'individu fait face et cela à un coût réduit en ressources attentionnelles - si naturellement cette adaptation fonctionne correctement. L'inconvénient principal réside dans le caractère précaire de cette adaptation si l'environnement ou bien l'individu lui-même évolue, et d'autre part, dans le risque que présentent des apparences trompeuses (par exemple, un chemin est en fait une impasse). Pour dépasser ces inconvénients, une approche symbolique classique permet de faire apparaître que l'être humain est en mesure de développer des schémas de connaissances permettant de prendre en considération l'expérience passée et des représentations anticipatrices vis-à-vis notamment de l'évolution de l'environnement (par exemple, le point de conflit des avions dans le contrôle de trafic aérien). D'autre part, il dispose d'une connaissance de lui-même, de ses capacités à discerner les pièges de l'adaptation immédiate (notion de méta-connaissance), (Hoc et Amalberti, 1995).

Dans ce cadre, l'objectif de développer des interfaces écologiques permettant une meilleure interaction Homme-Machine prend une place mieux circonscrite. Comme l'indiquent Flach et Bennett (1996), il ne s'agit pas de concevoir une interface ou un système automatique comme le reflet du fonctionnement cognitif de l'opérateur ou d'un expert dans la tâche. L'interface écologique affiche le champ des possibles ouvert à l'action de l'opérateur dans le domaine de travail et cela de manière intuitive. L'interface écologique peut alors être vue comme un contexte cognitif, élaborée à partir

d'un ensemble d'affordances facilement signifiantes pour l'action de l'opérateur et servant de base stable pour la mise en œuvre de manière vicariante, d'intentions, de prise de décision, de résolution de problèmes, de plan d'actions et d'apprentissage.

## REMERCIEMENTS

Ces travaux reçoivent un soutien financier d'une part, du Ministère de la Recherche, ACI COGNITIVE 2000 et d'autre part, du Centre d'Etude de la Navigation Aérienne pour ce qui est des travaux sur le contrôle de trafic aérien. L'auteur remercie très sincèrement, J.M. Hoc (IRCCyN, PsyCoTec), E. Colle, Y. Rybarczyk (LPC, CEMIF, Evry), P. Chedmail & M. Guibert (IRCCyN, Nantes), M. Parenthoën (ENIB, Brest) pour leur collaboration aux travaux présentés.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Bideaud, J., & Lautrey, J. (1983). De la résolution empirique à la résolution logique du problème d'inclusion : évolution des réponses en fonction de l'âge et des situations expérimentales. *Cahiers de Psychologie Cognitive*, 3, 295-326.

Boudes, N., & Cellier, J.M. (1996). Functional biases in anticipation : the case of air traffic control. Paper presented at *the 1<sup>st</sup> International Conference on Applied Ergonomics*. Istanbul : May.

Christoffersen, K., Hunter, C. N., & Vicente, K. J. (1998). A longitudinal study of the effects of ecological interface design on deep knowledge. *International Journal of Human-Computer Studies*, 48, 729-762.

Chedmail, P., & Le Roy, C. (1999a). A Distributed Approach for Accessibility and Maintainability Check with a Manikin. *DAC-8677, ASME Design Engineering Technical Conferences*, Las Vegas, Nevada, Sept. 12-15.

Cronin, P. (1997). *Report on the application of Virtual Reality to Education*. Report, HCRC, University of Edinburgh.

Effken, J. A., Kim, N-G, Shaw, R. E. (1997). Making the constraints visible : testing the ecological approach to interface design. *Ergonomics*, 40, 1-27.

Flach, J. M. (1990). The Ecology of Human-Machine Systems I: Introduction. *Ecological Psychology*, 2, 191-205.

Flach, J. M., & Bennett, K. B. (1996). A Theoretical Framework for Representational Design. In R. Parasuraman & M. Mouloua (eds.) *Automation and human performance : Theory and application* (pp. 65-87). Mahwah, N.J. : Erlbaum.

Gibson, J., J. (1958). Visually controlled locomotion and visual orientation in animals. *British Journal of Psychology*, 49, 182-194.

Gibson, J., J. (1979). *The Ecological Approach to Visual Perception*. London: Lawrence Erlbaum Associates.

Hoc, J.M., & Amalberti, R. (1995). Diagnosis: Some theoretical questions raised by applied research. *Current Psychology of Cognition*, 14, 73-101

- Hoc, J.-M., Morineau, T., & Denecker, P. (2000). *Gestion de l'espace problème et organisation temporelle de l'activité de contrôleurs aériens professionnels sur simulateur*. Rapport technique. Athis-Mons, F: CENA.
- Houdé, O. (1995). *Rationalité, développement et inhibition*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Lahlou, S. (2000). Attracteurs cognitifs et travail de bureau. *Intellectica*, 30,
- Lewin, K. (1936). *Principles of topological psychology*. New York: McGraw-Hill.
- Mark, L., S., & Voegle, D. (1987). *A biodynamic basis for perceived categories of action: A study of sitting and stair climbing*. *Journal of Motor Behavior*, 19, 367-384.
- Morineau, T. (1996). *Adaptation cognitive à un environnement virtuel, lors de premières immersions*. Thèse de Doctorat, Université d'Angers.
- Morineau, T. (2000a). Context effect on problem solving during a first immersion in a Virtual Environment. *Cahiers de Psychologie Cognitive/Current Psychology of Cognition*, 19, 533-555.
- Morineau, T. (2000b). Approche de la discontinuité dans l'activité de contrôle d'un processus continu : Illustration dans le domaine du contrôle de trafic aérien. *Actes de la conférence ERGO-IHM* (pp. 298-302)., Biarritz : oct.
- Morineau, T. (2000c). Time-To-Collision and Action Sequencing on Aircraft Conflicts in Air Traffic Control. In P. Wright, S. Dekker, & C.P. Warren (Eds.) *"Confronting Reality", Proceedings of the Tenth European Conference on Cognitive Ergonomics, ECCE'10* (pp. 186-192). Linköping Sweden : Aug.
- Morineau, T., Chedmail P., & Parenthoën M., (2001). An affordance-based model to support simulation in Virtual Environment. *The Third Virtual Reality International Conference*, Laval Virtual 2001, Laval, F : 17-18 May.
- Norman, D.A., & Shallice, T. (1980). *Attention to action: willed and automatic control of behavior*. Center for Human Information Processing, Technical Report, 99.
- Padmos, P., & Milders, M. V. (1992). Quality Criteria for Simulator Images : A Literature Review. *Human Factors*, 34, 727-748.
- Paillard, J. (1994). L'intégration sensori-motrice et idéo-motrice. In M. Richelle, J. Requin, & M. Robert (Eds). *Traité de Psychologie expérimentale*. Tome 1, Paris : PUF.
- Pejtersen, A., M. & Rasmussen, J. (1997). Ecological Information Systems and Support of Learning : Coupling Work Domain Information to User Characteristics. In M. Helander, T. K. Landauer, P. Prabhu (eds.) *Handbook of Human-Computer Interaction* (pp. 316-346). Second edition, North Holland : Elsevier Science.
- Piaget, J. (1946). *Les notions de mouvement et de vitesse chez l'enfant*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Piaget, J. & Inhelder, B. (1966). *La psychologie de l'Enfant*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Piaget, J. & Szeminska, A. (1967). *La genèse du nombre chez l'enfant*. Neuchâtel : Delachaux et Niestlé.

Reed, E. S. (1993). The Intention to Use a Specific Affordance : A conceptual Framework for Psychology. In R. H. Wozniak & K. Fischer (eds.) *Development in context, acting and thinking in specific environments* (pp. 45-75). Lawrence Erlbaum.

Spence, R. (1999). A framework for navigation. *International Journal of Human-Computer Studies*, 51, 919-945.

Stroffregen, T., A., Gorday, K.,M., Sheng, Y-Y., & Flynn, S., B. (1999). Perceiving Affordances for Another Person's Actions. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 25, 120-136.

Vicente, K. J., & Rasmussen, J. (1990). The Ecology of Human-Machine Systems II : Mediating " Direct Perception " in Complex Work Domains. *Ecological Psychology*, 2, 207-249.