



Conscience de la situation : invariants internes et invariants externes

Xavier Chalandon

► To cite this version:

Xavier Chalandon. Conscience de la situation : invariants internes et invariants externes. [Rapport de recherche] Cnam. 2007. <hal-00824020>

HAL Id: hal-00824020

<https://hal.science/hal-00824020v1>

Submitted on 20 May 2013

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

CONSCIENCE DE LA SITUATION : INVARIANTS INTERNES ET INVARIANTS EXTERNES

SITUATION AWARENESS MONOGRAPHIE DE LA CONSCIENCE DE LA SITUATION

xavier.chalandon@free.fr

Ce document reprend les parties théoriques de la thèse de Doctorat d'Ergonomie « Conscience de la situation : invariants internes et invariants externes » soutenue le 2 mai 2007 (CNAM)

Une revue des principaux modèles de la Conscience de la Situation dégage deux points de vue :

- *Issue de la psychologie ergonomique, la "vue du sujet" identifie la Conscience de la Situation à une représentation fonctionnelle dont la construction renvoie à un critère de pertinence pragmatique. Par anticipation partielle du contexte et pré-activation d'invariants internes, la Conscience de la Situation favorise l'inscription de l'activité dans la dynamique de l'environnement.*
- *Issue de l'ingénierie et de la psychologie écologique, la "vue de l'environnement" renverse la perspective en associant la Conscience de la Situation aux invariants externes du couplage sujet/environnement, notion élaborée à partir des affordances de la psychologie écologique. Son objet principal n'est donc pas tant la situation que les interactions possibles en situation.*

L'enjeu de notre recherche est l'étude du couplage entre ces deux approches, l'objectif applicatif sous-jacent étant l'utilisation des invariants externes en tant qu'extension représentationnelle de l'environnement afin de faciliter l'adaptation des opérateurs aux environnements dynamiques.

Mots-clefs : *situation awareness, conscience de la situation, environnement dynamique, schème, affordance, régulation, invariance, morphismes.*

En annexe est présenté un résumé en anglais du manuscrit de thèse

Référence bibliographique pour citation :

Chalandon, X. (2007) – *Conscience de la situation : invariants internes et invariants externes*. Mémoire de doctorat d'Ergonomie, CNAM, 2007.

RESUME

Cette recherche porte sur l'opérationnalisation en conception de la notion de *Conscience de la Situation*, concept présenté depuis quinze ans comme un élément clé de l'adaptation cognitive aux environnements dynamiques. Largement exploré par les anglo-saxons sous le terme de "*Situation Awareness*", ce concept souffre cependant d'une sous-spécification théorique relevée par de nombreux auteurs. La première partie de nos travaux propose une taxonomie des principaux modèles de la *Conscience de la Situation* dont une revue critique dégage deux points de vue ontologiquement différents :

- Issue de la psychologie ergonomique, la "**vue du sujet**" identifie la *Conscience de la Situation* à une représentation fonctionnelle dont la construction ne renvoie pas à un critère de vérité mais à un critère de pertinence pragmatique, soulignant ainsi l'individuation de son efficacité et de son efficience. Par anticipation partielle du contexte et pré-activation **d'invariants internes** assimilateurs, la *Conscience de la Situation* favorise l'autonomie synchronique du sujet vis-à-vis de la pensée conceptuelle, condition nécessaire à l'inscription de l'activité dans la dynamique de l'environnement.
- Issue de l'ingénierie et de la psychologie écologique, la "**vue de l'environnement**" renverse la perspective : quelle que soit l'activité représentationnelle du sujet, cette approche vise à formaliser et à expliciter au sujet un espace problème respectant des contraintes de performance et/ou de sécurité. Son objet principal n'est donc pas tant la situation que les interactions possibles en situation. La *Conscience de la Situation* est alors associée aux **invariants externes** du couplage sujet/environnement, notion élaborée à partir des affordances de la psychologie écologique.

L'enjeu de notre recherche est l'étude du couplage entre ces deux approches, l'objectif applicatif sous-jacent étant l'utilisation des invariants externes en tant qu'extension représentationnelle de l'environnement afin de faciliter l'adaptation des opérateurs aux environnements dynamiques.

En synthèse, en dépsychologisant le comportement, l'approche "centrée sur l'externe" semble essayer de faire l'économie de la confrontation à la complexité de la cognition en situation. Or l'invariance externe est intégrée dans, et modulée par, une structure interprétative beaucoup plus large selon les compétences, les intentions et d'autres paramètres contextuels plus singuliers. Ce dernier point rejoint le constat fait sur l'invariance interne : si le schème constitue la structure invariante d'une action, c'est la structure qui est invariante et non pas le détail de l'action. Les invariants internes et externes constituent donc une trame que l'activité adapte localement pour tenir compte de la singularité de chaque situation.

En conclusion de nos travaux, nous proposons un modèle cadre de couplage entre les structurations internes et externes de la régulation en environnement dynamique, un tel modèle étant susceptible de définir le champ de validité de la perspective applicative de notre étude.

Mots-clefs : situation awareness, conscience de la situation, environnement dynamique, schème, affordance, régulation, invariance, morphismes.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION GENERALE	4
1 LES MODELES DE LA CONSCIENCE DE LA SITUATION	6
1.1 LE MODELE LINEAIRE.....	8
1.2 LE MODELE DECISIONNEL	10
1.3 LE MODELE DE LA REGULATION	12
1.4 LE MODELE NEO-ECOLOGIQUE	14
2 REUSSIR ET COMPRENDRE	19
2.1 LE SUJET "REFLEXIF"	19
2.2 LE SUJET "DYNAMIQUE".....	21
2.2.1 <i>Les environnements dynamiques.....</i>	<i>23</i>
2.2.2 <i>Expertise et connaissances fonctionnelles.....</i>	<i>24</i>
2.2.3 <i>Contrôle cognitif.....</i>	<i>25</i>
2.2.4 <i>Interdépendance des fonctions cognitives.....</i>	<i>28</i>
2.2.5 <i>Représentation et Conscience de la Situation.....</i>	<i>29</i>
2.2.6 <i>Le rôle de la Conscience de la Situation.....</i>	<i>31</i>
2.2.7 <i>Inévitables incomplétudes et limites de la Conscience de la Situation.....</i>	<i>33</i>
2.3 LE SUJET "ECOLOGIQUE"	36
3 RETOUR SUR LES MODELES CADRE.....	42
3.1 LE MODELE LINEAIRE.....	42
3.2 LE MODELE DECISIONNEL	42
3.3 LE MODELE DE LA REGULATION	43
3.4 LE MODELE NEO-ECOLOGIQUE	45
3.5 SYNTHESE	47
4 INVARIANTS INTERNES ET INVARIANTS EXTERNES	51
4.1 REPRESENTATIONS ET MORPHISME : COHERENCE ET CORRESPONDANCE.....	51
4.2 MODELE DE COUPLAGE : MORPHISMES ENTRE INVARIANTS	55
BIBLIOGRAPHIE	66
ANNEXE - THEMES ET APPROCHES CONNEXES.....	75
L'ORIENTATION SPATIALE	75
LA CONSCIENCE DES MODES	76
LA CONSCIENCE DE LA SITUATION COLLECTIVE.....	76
MESURE DE LA CONSCIENCE DE LA SITUATION	77
ANNEXE – PHD EXTENDED ABSTRACT	79
1 SITUATION AWARENESS	80
1.1 "SUBJECT DRIVEN" SITUATION AWARENESS.....	81
1.2 "ENVIRONMENT DRIVEN" SITUATION AWARENESS	82
1.3 INVARIANTS IN THE HEAD, INVARIANTS IN THE WORLD.....	85
2 MORPHISMS AND INVARIANTS	86
2.1 COHERENCE MORPHISM.....	87
2.2 CORRESPONDENCE MORPHISM.....	89
3 SUMMARY AND CONCLUSION	92
4 REFERENCES	94

INTRODUCTION GENERALE

"Il faut que tout change pour que rien ne change"
Le Guépard, Lampedusa

Les opérateurs de conduite de processus dynamiques complexes (guidage et conduite de mobile, supervision de flux, gestion de sinistre, contrôle de processus de transformation de produit, etc.) sont confrontés à de multiples variables en interaction et en évolution au cours du temps. Ces évolutions sont irréversibles et s'opèrent en relative autonomie par rapport à l'activité des opérateurs : la situation continue à se modifier qu'il y ait ou non intervention. Le risque associé à certaines situations, l'urgence avec laquelle des décisions doivent être prises et des actions effectuées, l'ambiguïté et la conflictualité des informations disponibles ajoutent une composante psychologique à cette complexité structurelle [De Keyser, 1990].

En "réponse" à ces complexités, le concept de *Conscience de la Situation* (CS) est présenté depuis plus de 15 ans comme un élément clé de la maîtrise de la dynamique des situations et de l'inscription de l'activité de l'opérateur dans cette dynamique. Cependant des divergences sensibles existent quant à la nature de la CS et aux processus cognitifs impliqués : la *Conscience de la Situation* apparaît comme un concept "mou", tantôt dédié à la perception immédiate de la situation, tantôt censé embrasser tout le champ de la cognition en environnement dynamique. Les travaux présentés ci-après essaient d'opérationnaliser ce concept en considérant la situation comme un système dual opérateur-tâche dont les éléments se co-déterminent. L'activité est au cœur du fonctionnement de ce système et l'analyse doit articuler deux cadres de référence : **le système cognitif et le domaine d'action**.

Après une clarification conceptuelle reposant sur une revue critique des différents modèles proposés de la *Conscience de la Situation*, nous articulerons deux approches :

- Une approche "vue du sujet", issue de la psychologie ergonomique, qui s'attache à expliciter l'architecture et la régularité des processus cognitifs mis en jeu lors des adaptations (équilibre "Réussir et Comprendre").
- Une approche "vue de l'environnement" qui utilise les outils de l'ingénierie pour formaliser les contraintes externes significatives pour l'action (notion d'affordance).

L'objectif applicatif sous-jacent est l'utilisation des invariants externes en tant qu'extension représentationnelle de l'environnement afin de faciliter le processus d'adaptation des opérateurs aux situations dynamiques

Réalisés dans le domaine spécifique de l'aéronautique militaire, ces travaux prennent appui sur une activité "extrême", dans laquelle le risque, la "conscience des risques" et la réflexivité associée sont affirmés. Cette quintessence de l'Homme-Opérateur permet d'accéder à des fonctionnements cognitifs "prototypiques" permettant d'éclairer la facette "fonctionnelle" de la cognition de l'Homme-Individu, ce que semble indiquer les évolutions qu'a connu, et connaît encore, les terrains applicatifs de la recherche sur la *Conscience de la Situation* : de l'aéronautique militaire puis civile, au nucléaire puis étendue à toute "situation naturelle" de prise de décision (sécurité civile, conduite automobile¹, etc.).

¹ Voir en particulier les travaux de Bailly [2004].

Ce mémoire est composé de trois parties :

La première partie est dédiée au concept de *Conscience de la Situation* (CS) dont nous présenterons tout d'abord quatre grandes familles de modèles identifiées dans la littérature scientifique :

- **L'approche "linéaire"** qui identifie la CS au produit de fonctions cognitives séquentiellement organisées, précédant la décision et l'action.
- **L'approche "décisionnelle"** pour laquelle la CS serait un construit interne finalisé n'intervenant qu'en cas de résistance du réel à son assimilation cognitive par induction.
- **L'approche "centrée sur la régulation"** dans laquelle la CS peut être identifiée à une représentation fonctionnelle continuellement mise à jour.
- **L'approche "néo-écologique"** qui associe la CS à l'intégration dans l'activité des valeurs adaptatives des contraintes et ressources externes.

L'apparente diversité de ces approches réfère la problématique de la *Conscience de la Situation* à l'équilibre dynamique entre la *réussite pratique* et la *compréhension de ce qui fait la réussite*, tension que nous proposerons d'aborder au travers des éclairages théoriques suivants :

- **Le sujet "réflexif"** en référence aux travaux de Piaget et des chercheurs néo-piagétien sur le thème de la prise de conscience.
- **Le sujet "dynamique"** en référence aux travaux en psychologie ergonomique sur la cognition en environnement dynamique.
- **Le sujet "écologique"** afin de préciser la notion gibsonienne d'affordance et son rôle pour le couplage sujet / environnement.

Cette revue de questions nous permettra de dégager deux points de vue ontologiquement différents :

- La *Conscience de la Situation* "**vue du sujet**". Dans cette perspective, la *Conscience de la Situation* ne renvoie pas à un critère de vérité mais à un critère de pertinence pragmatique de la représentation fonctionnelle, soulignant ainsi l'**individuation** de son efficacité et de son efficience.
- La *Conscience de la Situation* "**vue de l'environnement**" qui renverse la perspective : quelle que soit l'activité représentationnelle du sujet, cette approche cherche à lui spécifier un espace problème des **interactions possibles en situation**.

Nous avons donc deux ensembles de contraintes : un jeu "intérieurisé" (i.e. "représenté" par le sujet) et un jeu externe "à présenter" au sujet. L'objectif des parties suivantes sera d'étudier les relations existantes entre ces deux ensembles, en s'appuyant notamment sur la notion de morphisme (relation orientée reliant deux ensembles structurés).

En conclusion de cette revue critique, nous mettrons en perspective nos développements dans une proposition de modèle cadre de couplage entre les structurations internes et externes de la régulation en environnement dynamique.

1 LES MODELES DE LA CONSCIENCE DE LA SITUATION

Depuis plus de 15 ans, la communauté des chercheurs en psychologie aéronautique, en particulier nord-américains, présente le concept de *Conscience de la Situation* (CS) comme un élément clé des processus cognitifs en environnement dynamique et comme un facteur psychologique essentiel contribuant à la sécurité et à l'efficacité du couple Homme-Machine.

Cette notion a tout d'abord été mise en avant par des pilotes militaires afin de qualifier leur degré d'adaptation aux contraintes de leur environnement de travail. Dans cette description empirique, une "forte" CS indique que le pilote a une compréhension précise de sa tâche, qu'il intègre les différents éléments de l'environnement dans une image cohérente en relation avec le contexte global de sa mission et qu'il est "synchronisé" avec la dynamique de la tâche. Une "faible" CS renvoie à l'expérience d'être "perdu", d'être confronté à une complexité sans cohérence apparente, d'être "derrière l'avion", i.e. déphasé par rapport à la forte dynamique externe.

Du côté de la recherche, la littérature est assez homogène sur les fonctions principales associées à la *Conscience de la Situation* : donner cohérence aux événements externes, créer des attentes et orienter la prise d'information, servir d'ancrage aux décisions et actions ultérieures, permettre l'anticipation des évolutions de la situation et des effets d'actions ([Endsley, 1995b], [Klein, 1995a], [Grau et al., 1996]). De plus les différentes approches de la CS sont unanimes sur sa modalité consciente ou du moins conscientisable ([Endsley, 1995], [Sarter & Woods, 1991], [Smith & Hancock, 1995]), bien qu'un facteur d'ambiguïté provienne du terme anglais *awareness* qui peut recouvrir un continuum de phénomènes allant du traitement pré-attentif à la conscience ([Theureau, 1997], [Schmidt, 2002]).

Ces traits généraux sont cohérents avec deux caractéristiques de la CS soulignées par les définitions empiriques : **sa finalisation** ("*savoir ce qui se passe pour savoir quoi faire*", cité par Adam [1996]) et **sa fonction anticipatrice** ("*être devant l'avion*", cité par Jouanneaux [1999]). Ces définitions sont révélatrices de la hantise des équipages de ne pas disposer du temps nécessaire pour anticiper sur les événements et donc d'échouer dans l'ajustement de leur activité à la dynamique de la situation [Valot, 1996].

Bien que l'importance expérientielle et fonctionnelle de la *Conscience de la Situation* soit affirmée, sa définition théorique reste confuse comme en attestent les nombreuses tentatives proposées dans la littérature (cf. le tableau I-1 ci-dessous qui présente une mise à jour du recensement effectué par Vidulich et al. [1994]).

De fait, des divergences sensibles existent quant à la nature de la CS et aux processus cognitifs impliqués : la *Conscience de la Situation* apparaît comme un concept "mou", tantôt dédié à la perception immédiate de la situation, tantôt censé embrasser tout le champ de la cognition en environnement dynamique. Cette sous spécification théorique a été relevée par de nombreux auteurs (en particulier [Sarter & Woods, 1991], [Flach, 1995a], [Hollnagel, 1998]) et, pour reprendre l'expression que Theureau applique au concept de charge mentale, la *Conscience de la Situation* semble rentrer dans la catégorie des "*notions floues et vrais problèmes*".

Tableau 1 - Définitions de la Conscience de la Situation (mise à jour du tableau de [Vidulich et al., 1994])

Définition	Référence
La perception des affordances spatio-temporelles de l'environnement.	Abeloos et al., 2002
Perception continue de soi et de l'avion en relation avec l'environnement dynamique du vol, des menaces et de la mission et la capacité de planifier et de réaliser des tâches sur la base de cette perception	Caroll, 1992
Etat de connaissance sur l'environnement [...] et ...] La perception des éléments de l'environnement dans un volume de temps et d'espace, la compréhension de leur signification et la projection de leur état dans un futur proche	Endsley, 1995a
La connaissance découlant de la focalisation de l'attention à un certain niveau d'abstraction	Fracker, 1989
Ajustement, mise à jour de la représentation en fonction de l'évolution de la situation courante. Comprendre consiste à intégrer les nouvelles informations à la représentation en cours.	Grau et al., 1996
La <i>Conscience de la Situation</i> comprend des attentes, des indices saillants, des buts possibles et des actions associées	Klein, 1995
Conscience des conditions et des menaces de l'environnement immédiat	Morishige & Retelle, 1985
La capacité à se positionner par rapport à un référentiel relatif constitué par les propriétés dynamiques des objets de l'environnement géographique et tactique	Menu & Amalberti, 1989
Le résultat d'un processus dynamique de perception et compréhension d'évènements permettant l'anticipation de changements et le pronostic quant aux conséquences sur la réalisation de la tâche.	Nofi, 2003
La capacité à maintenir une perception précise de l'environnement, interne et externe à l'avion, l'identification de problèmes ou de problèmes potentiels, de besoins d'action, de déviations de la mission et la conscience des tâches exécutées	Prince & Salas, 1997
Accès à une représentation cohérente et explicative de la situation continuellement renouvelée en accord avec les résultats des évaluations récurrentes	Sarter & Woods, 1991
La perception précise des facteurs et des conditions qui peuvent concerner l'avion et l'équipage sur une période de temps limitée	Schwartz D., 1993
Conscience adaptative tournée vers l'extérieur, générant les connaissances sur l'environnement dynamique de la tâche et le comportement nécessaires à la satisfaction d'un objectif externe	Smith & Hancock, 1995
Connaissance et anticipation des événements, facteurs et variables pouvant affecter la conduite sûre et efficace de la mission	Taylor, 1990
Extraction continue d'information de l'environnement, intégration de cette information aux connaissances préalables afin de construire une image mentale cohérente et utilisation de cette image pour orienter la perception et anticiper les futurs événements [...] Compréhension de la situation courante et de ses implications. Cela implique plus que la perception ou la reconnaissance de patterns. Cela nécessite l'ensemble des fonctions cognitives supérieures.	Vidulich et al., 1994
La prise d'information continue sur un environnement ou un système dynamique, l'intégration de ces informations aux connaissances antérieures pour créer une image mentale cohérente et l'utilisation de cette image pour la perception, l'anticipation et les réponses à des événements futurs	Wickens, 1996a

La notion de *Conscience de la Situation* est donc entourée d'un certain flou conceptuel et convoque une multitude d'implicites théoriques. De la profusion des publications sur le sujet, il nous semble néanmoins possible de dégager (au moins) quatre grandes familles de modèles dont la dénomination suivante nous est propre :

- **L'approche "linéaire"** qui identifie la CS au produit de fonctions cognitives séquentiellement organisées (Perception – Compréhension – Anticipation), précédant la décision et l'action.
- **L'approche "décisionnelle"** pour laquelle la CS serait un construit interne finalisé n'intervenant qu'en cas de résistance du réel à son assimilation cognitive par induction (i.e. par identification de patterns significatifs pour l'action).
- **L'approche "centrée sur la régulation"** dans laquelle la CS peut être identifiée à une représentation fonctionnelle continuellement mise à jour, tendue entre l'adaptation immédiate et la définition de la tâche.
- **L'approche "néo-écologique"** qui associe la CS à l'intégration dans l'activité des valeurs adaptatives des contraintes et ressources externes.

Les grandes lignes de force de ces principales approches sont présentées ci-après. La revue de questions du chapitre 2 permettra d'en faire une revue plus critique au chapitre 3.

1.1 Le modèle linéaire

Largement dominante jusqu'à la fin des années 90, l'approche que nous qualifierons de "linéaire" reste le modèle de référence dans la communauté internationale. Ce modèle repose principalement sur les travaux de Mica Endsley [1995a] qui propose la définition suivante de la *Conscience de la Situation* :

"La perception des éléments de l'environnement dans un volume de temps et d'espace, la compréhension de leur signification et la projection de leur état dans le futur proche".

Cette définition s'appuie sur le modèle suivant :

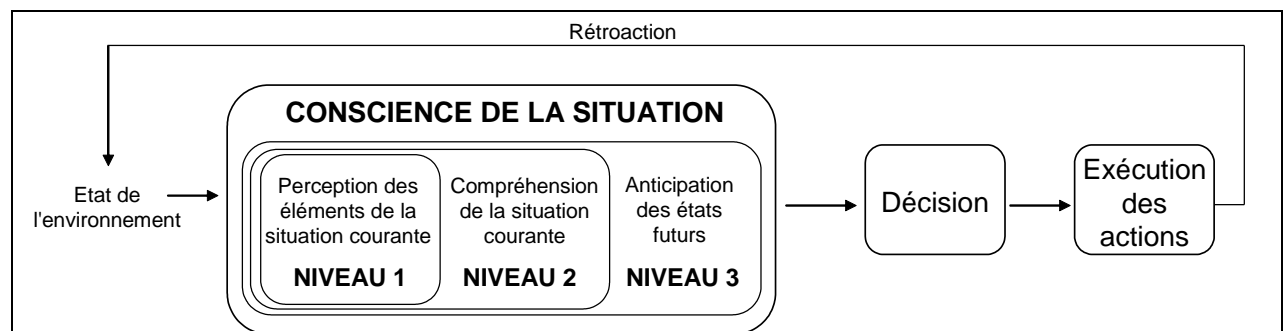


Figure 1 - Modèle de la Conscience de la Situation (schéma simplifié de [Endsley, 1995a] repris par Bryant et al. [2004])

Plus précisément, Endsley décrit l'acquisition de la CS par l'articulation de trois processus hiérarchiquement et temporellement organisés :

- **Niveau 1 - Perception des éléments de l'environnement**

La première étape consiste à percevoir les états, les attributs et la dynamique des éléments de l'environnement. Par exemple, un pilote a besoin de percevoir correctement les informations concernant son avion et ses systèmes (vitesse, position, altitude, route, plan de vol, etc.) ainsi que la météo, les autorisations du contrôle aérien, les informations d'urgence et autres éléments pertinents.

- **Niveau 2 - Compréhension de la situation actuelle**

Le niveau 2 va au-delà de la simple conscience des éléments présents (CS Niveau 1) et inclut la compréhension de la signification de ces éléments en rapport avec les objectifs poursuivis.

- **Niveau 3 - Anticipation des états futurs**

Le troisième et plus haut niveau dépend de la capacité à anticiper les actions futures des éléments de l'environnement, au moins pour le futur proche. Ceci est réalisé par la projection d'un modèle mental de comportement sur la connaissance des éléments (Niveau 1) et sur la compréhension de la situation (Niveau 2).

S'inspirant des travaux de Wickens [1984] et des modèles de traitement de l'information, Endsley [1995a] identifie les capacités limitées de l'attention et de la mémoire de travail comme les principaux freins à l'acquisition de la CS. Quand bien même les automatismes cognitifs et l'utilisation de schémas-scripts activés par "pattern matching" peuvent permettre de contourner ces limitations, l'auteur met en garde contre le risque de non perception de nouveaux éléments de la situation et donc d'une dégradation potentielle de la CS.

Bien que les définitions proposées soient basées sur la description de processus cognitifs, Endsley identifie clairement la CS au produit de ces processus dont la mise en œuvre est dénommée "évaluation de la Situation" ("*situation assessment*"). La CS est donc un état de connaissance ("*SA-product*"), produit du processus d'évaluation de la situation ("*SA-process*"). Cet (ou ces) état(s) sont posé(s) comme étant accessible(s) à la conscience et donc verbalisable(s).

Sur la base de cette approche théorique, Endsley [1995b] a mis au point une méthode d'évaluation de la *Conscience de la Situation*, méthode SAGAT (*Situation Awareness Global Assessment Technique*) consistant à poser au sujet des questions sur l'environnement lors de gels de la simulation. L'indice quantitatif d'évaluation, qualifié de mesure objective, est le nombre relatif de réponses correctes à ces questions issues d'une analyse de tâche effectuée à l'aide d'experts. Dédiée initialement à l'aéronautique militaire, cette méthode a été adaptée à d'autres domaines, en particulier au contrôle aérien [Endsley, 1995b] et au nucléaire [Hogg et al., 1995].

Plusieurs caractéristiques de ce modèle sont à souligner :

- La CS est abordée en tant qu'état(s) instantané(s) de connaissances sur le monde, intervenant de façon indépendante et sérielle en amont de la prise de décision et de l'action. La synchronisation avec la dynamique de l'environnement s'opère via une boucle de rétroaction qui est une "re-perception" de l'environnement après l'achèvement d'un cycle Perception-Compréhension-Anticipation-Décision-Action.
- Quelle que soit la variabilité inter ou intra individuelle des processus d'évaluation de la situation, Endsley propose d'établir des références optimales de la *Conscience de la Situation*. L'utilisation du modèle est donc normative puisque la CS doit être la plus précise et complète possible par rapport à un référentiel constitué de l'agrégat d'expertises et donc pré-existant au sujet (voir par exemple [Endsley, 1993] pour une liste de paramètres situationnels pondérés de leur niveau d'importance dans le cas du combat aérien).

1.2 Le modèle décisionnel

L'approche qualifiée de "*décisionnelle*" par Prince & Salas [1997] est issue du courant de recherche nord-américain NDM - *Naturalistic Decision Making* - qui s'attache à produire des modèles descriptifs de la façon dont des opérateurs expérimentés identifient et évaluent les situations, prennent des décisions et réalisent des actions dans des environnements dynamiques et incertains ([Orasanu & Connolly, 1993], [Klein, 1995], [Orasanu & Fisher, 1997]).

Les tenants de cette approche insistent sur le caractère individuel, personnalisé et dynamique de la *Conscience de la Situation* dont les états ne peuvent être étudiés en dehors de leurs processus de construction. En réaction au modèle linéaire, ces chercheurs considèrent comme impossible une analyse exhaustive de la situation sous contraintes temporelles. La reconnaissance implicite de patterns significatifs pour l'action est alors présentée comme une solution essentielle au problème de la synchronisation activité-environnement dans les situations à forte dynamique [Klein, 1995].

Un des modèles prédominant de cette approche est le modèle RPD ("*Recognition Primed Decision*") développé par Gary Klein [1995] et initialement proposé pour expliquer comment des militaires ou des sapeurs-pompiers pouvaient décider et réaliser des actions efficaces sans avoir à analyser et à comparer l'ensemble des options possibles (notion d'efficacité et de rationalité limitée).

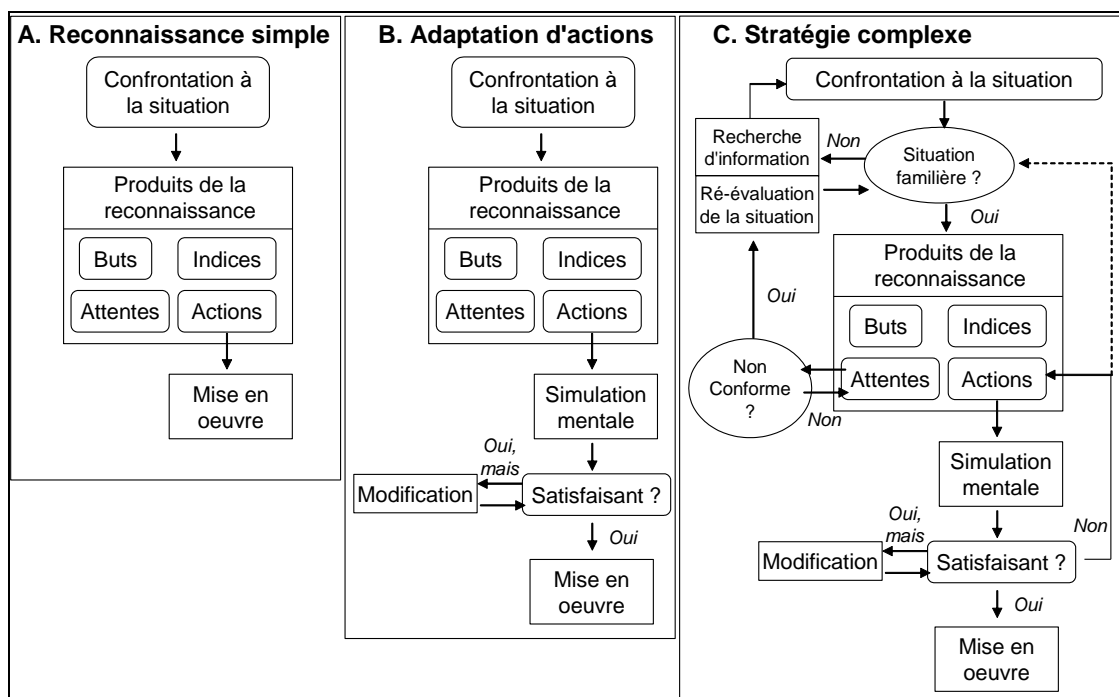


Figure 2 - Modèle RPD (schéma traduit de [Klein, 1995])

Le modèle propose trois modes possibles d'évaluation de la situation ("*situation assessment*") :

- **Reconnaissance simple** ("*simple match*")

La situation est reconnue et une action "évidente" est mise en œuvre sans qu'il y ait de comparaison et d'évaluation d'alternatives. Ce "*coup d'œil*" de l'expert qui l'oriente vers

l'action consiste en un appariement implicite entre les événements situationnels et les connaissances fonctionnelles possédées en mémoire.

- **Adaptation d'actions** ("*developing a course of action*")

La situation est reconnue ; une action est retenue à partir d'une liste d'actions typiques ; cette action candidate est simulée mentalement afin de vérifier par avance la faisabilité de sa mise en œuvre et de l'adapter éventuellement. Klein suggère que ce mode repose plus sur l'instanciation d'un schéma activé par jugement de prototypicalité que par utilisation d'analogies.

- **Stratégie complexe** ("*complex RPD strategy*")

Ce mode est mis en œuvre lorsque la dynamique de la situation induit des écarts par rapport au modèle d'attentes ou en cas d'échec du mode précédent, i.e. l'action candidate n'a pas été retenue suite à la simulation mentale de sa mise en œuvre. Dans le premier cas, il y a ré-évaluation de la situation et dans le deuxième cas, une autre action est sélectionnée pour être évaluée.

Quel que soit son "niveau de conscience", le produit de l'évaluation d'une situation est fortement finalisé et comporte les éléments suivants :

- la sélection et l'accentuation des points informatifs les plus importants,
- un modèle d'attente permettant d'évaluer la validité de l'évaluation de la situation,
- le (ou les) but(s) "*raisonnablement*" atteignable(s) par l'opérateur,
- les actions à entreprendre afin d'atteindre le but (ou les) buts souhaités.

Le modèle repose donc sur trois hypothèses fondamentales [Chauvin, 2003] :

- Les experts utilisent l'identification de patterns pour pallier l'incidence de la pression temporelle.
- Les experts génèrent et évaluent des options de façon sérielle et non pas concurrente. La première option considérée est le plus souvent une option efficace.
- Quand une option est retenue, son éventuelle évaluation repose sur la simulation mentale de ses conséquences.

Plusieurs caractéristiques de l'approche NDM et du modèle RPD sont à souligner :

- La situation pré-existe au sujet et lui est imposée : l'évaluation de la situation est simultanée à l'occurrence d'un événement particulier, elle est centrée sur ce "problème" et elle se termine avec la sélection d'une action à mettre en œuvre ([Klein, 1997], [Orasanu & Fisher, 1997]).
- La sélection d'action répond à un critère d'acceptabilité et non d'optimalité : "*trouver la première option qui marche, pas nécessairement la meilleure option possible*" [Klein, 1997].
- La sélection d'un des modes possibles d'évaluation de la situation dépend bien sûr du niveau d'expertise de l'opérateur mais également de contraintes contextuelles. Les stratégies plus "analytiques" ou anticipatrices ne sont mises en œuvre que si le sujet estime que la dynamique de la situation et le risque associé le permettent. Dans le cas

contraire l'opérateur peut être amené à agir avec une compréhension limitée [Orasanu & Fisher, 1997].

Dans le cadre de cette approche, l'opérateur ne dispose donc pas d'une représentation "courante" de la situation préalable au problème et la rapidité des prises de décision souvent constatée sur le terrain est associée à un continuum inconscient/conscient de stratégie de prise de décision qui rend les tenants de cette approche prudents sur les notions de représentation et de conscience ("*je ne suggère pas que l'opérateur commence par faire un jugement conscient*", [Klein, 1993b]). L'évaluation consciente de la situation (générant la *Conscience de la Situation*) n'intervient qu'en cas de résistance du réel mais, dans les situations à forte dynamique, l'intuition ou le raisonnement informel apparaissent comme les solutions préférentielles au problème de la synchronisation activité-situation ([Lipshitz, 1993], [Orasanu & Connolly, 1993]).

1.3 Le modèle de la régulation

Les modèles de l'approche centrée sur la régulation envisagent la compréhension non pas comme la construction d'une représentation en réaction à l'occurrence d'un événement particulier, mais comme l'ajustement permanent d'une représentation en fonction de l'historique de la situation et des buts à atteindre ([Grau et al., 1996], [Hoc & Amalberti, 1994], [Prince & Salas, 1997]). Sarter & Woods [1991] proposent la définition suivante :

"Accès à une représentation cohérente et explicative de la situation continuellement renouvelée en accord avec les résultats des évaluations récurrentes"

Une des caractéristiques communes aux modèles de cette approche est de proposer des modèles représentationnels dynamiques multi-niveaux et d'envisager la CS sous ses deux facettes (Produit et Processus).

Par exemple, le modèle développé par Bryant et al. [2004] identifie la CS-Produit à une représentation mentale de la situation "tendue" entre la réalité de la situation et un "modèle conceptuel" qui porte les buts à atteindre et les stratégies associées. La CS-Processus est constituée des fonctions cognitives CECA² qui assurent la cohérence entre les états passés, actuels et anticipés de l'environnement et les objectifs de la planification.

Dans le cadre de cette approche, le modèle cognitif proposé par Hoc [1996] et les chercheurs du Service de Santé des Armées ([Amalberti, 1996], [Valot et al., 1993], [Grau et al., 1996]) est certainement le plus abouti du point de vue des mécanismes et stratégies cognitives mis en jeu.

² "*Critique, Explore, Compare, Adapt*".

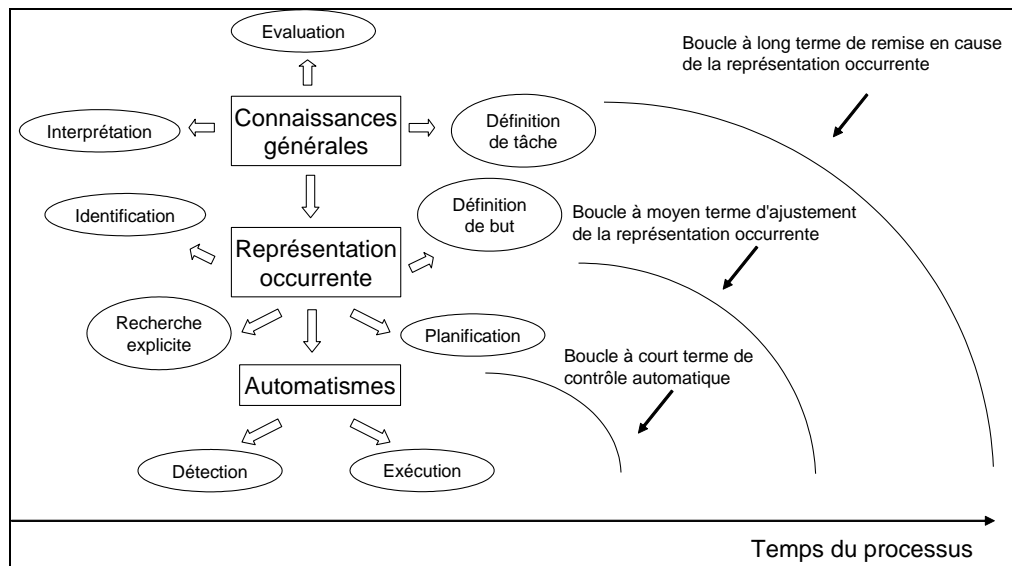


Figure 3 - La résolution de problème en situation dynamique (adapté de [Hoc, 1996])

Au centre du modèle se trouve une représentation symbolique ou conceptuelle, appelée "*représentation occurrente*", qui est alimentée en continu par des informations du processus et des connaissances générales. Élargissant le concept de diagnostic en y intégrant le pronostic et des modalités sub-symboliques, Hoc & Amalberti [1994] distinguent trois boucles de supervision et de contrôle de l'activité :

- Une boucle à court terme de contrôle quasi-automatique guidé par les possibilités d'action sur le moment. La représentation a alors un rôle de supervision car les diagnostics et réponses sont automatisés.
- Une boucle à moyen terme basée sur la représentation occurrente continuellement ajustée par anticipation ou en cas d'incompréhension. A ce niveau de contrôle, la représentation pré-active les automatismes cognitifs et sert de support à la planification.
- Une boucle à plus long terme permettant la recomposition totale ou partielle de la représentation en cas d'incompréhension profonde.

Cette architecture souligne la capacité du système cognitif à gérer plusieurs buts simultanément sur différents modes de contrôle : les activités de compréhension et de révision de la représentation fonctionnent en temps partagé avec des rendez-vous de synchronisation par rapport à la dynamique de la situation. La conduite synchronique est guidée par la partie de la représentation en cours jugée cohérente et l'ajustement ou la recomposition de la *représentation occurrente* s'effectuent en parallèle à des niveaux plus élevés d'abstraction [Amalberti, 1996]. A tout moment, une partie de la *représentation occurrente* est opérative et interactive avec la situation et une autre partie est en révision ou en chantier. Dans le cadre plus particulier des missions aériennes, les activités diachroniques sont particulièrement présentes par anticipation explicite des réponses aux problèmes susceptibles d'être rencontrés [Valot, 1996]. La phase de "préparation de mission" permet de construire une représentation de départ qui servira de base à la réalisation des tâches pendant l'exécution de la mission et qui subira des ajustements plus ou moins profonds selon l'évolution de la situation, des ressources internes, des objectifs et des moyens d'action.

Bien que le concept de *Conscience de la Situation* ne soit pas explicitement mis en avant dans les articles fondateurs du modèle, Morineau et al. [2003] avancent des liens de proximité évidents avec la représentation occurrente mais les auteurs soulignent que cette

dernière ne contient pas seulement des éléments se référant à la face externe de la situation mais également des "éléments internes" de finalisation et de contrôle métacognitif.

Plusieurs points de ce modèle sont à souligner :

- Un des mécanismes essentiels de ce modèle est l'acceptation par l'opérateur de "*ne pas comprendre*" (au sens de compréhension maximale, exhaustive) car les ressources qu'il devrait affecter à cette activité sont incompatibles avec la dynamique de la tâche : par souci d'économie et d'opérativité, l'opérateur recherche le niveau de compréhension minimal pour une efficacité maximale en termes d'objectifs d'action [Amalberti, 1996]. Cette efficacité de la compréhension est le produit d'un compromis cognitif que l'opérateur met en œuvre et contrôle par une activité métacognitive prenant en compte les exigences de la tâche, ses savoirs et savoir-faire et le niveau de risque accepté.
- Nous relevons une triple dualité :
 - **Le produit et le processus de l'activité de compréhension se co-déterminent** et la CS ne peut s'envisager en dehors des processus qui la sous-tendent.
 - **La Conscience de la Situation joue un rôle cognitif et métacognitif** : cognitif en relation avec la tâche et métacognitif par diagnostic de la qualité de la CS en relation avec soi-même (on pourrait parler ici de "*conscience de soi dans la situation*").
 - **La situation est un système dual opérateur-tâche** dont les éléments se co-déterminent. L'activité est alors au cœur du fonctionnement de ce système et *l'analyse doit articuler les deux cadres de référence : le système cognitif et le domaine d'action* [Leplat & Hoc, 1983].

1.4 Le modèle néo-écologique

La problématique de la CS est ici interprétée en terme de couplage dynamique entre l'homme et l'environnement. Cette approche souligne la nécessité de l'adaptation de l'opérateur aux contraintes et ressources de l'environnement et propose la définition suivante [Smith & Hancock, 1995] :

"Une conscience adaptative dirigée vers l'externe".

Refusant d'identifier la CS à un produit ou à une étape des processus cognitifs, la CS est identifiée à un **invariant** permettant de répondre aux exigences de "*l'arbitre des performances*", i.e. de l'environnement socio-technique définissant la tâche. Dans la lignée de ces travaux, Abeloos et al. [2002] proposent de définir la *Conscience de la Situation* comme :

"La perception des affordances spatio-temporelles de l'environnement".

Afin de mieux saisir les spécificités de cette approche, que l'on pourrait également qualifier de "centrée sur les contraintes", il convient dans un premier temps de s'attacher aux emprunts faits à la psychologie écologique développée par Gibson [1979] et à l'ingénierie cognitive développée par Rasmussen [1986]. Ces emprunts seront détaillés ci-après avant de revenir sur le modèle proposé.

- **Emprunts à la psychologie écologique**

S'opposant au concept de représentation et à la distinction sensation/perception, Gibson [1979] définit deux notions souvent fusionnées mais conceptuellement distinctes ([Shanon, 1991], [Varela et al., 1993], [McGrenere & Ho, 2000], [Albrechtsen et al., 2001]) : la notion d'affordance et la théorie de la perception directe.

- Une **affordance** peut être définie comme une entité mixte sujet / environnement qui spécifie les potentialités et contraintes d'interaction qui existent dans un environnement pour un organisme donné. L'idée développée par Gibson [1979] est que certaines composantes de l'environnement fournissent - ou proposent, "offrent" - au sujet des occasions, des possibilités d'interaction, bonnes ou mauvaises, favorables ou défavorables. Par exemple, un escalier offre à un être humain l'occasion de monter (ou de descendre), une proie offre à un prédateur l'occasion de se nourrir et inversement le prédateur offre à la proie l'occasion d'être mangée, un camion qui fonce offre à piéton sur la chaussée l'occasion d'être écrasé, etc. Les affordances permettent de décrire l'environnement comme porteur de propriétés significatives déterminant en partie l'action, les risques ou les obstacles.

Afin d'illustrer la notion d'affordance telle qu'adoptée dans ce modèle, nous pouvons nous reporter à un article précurseur de Gibson & Crooks [1938] dédié à l'analyse de contraintes situationnelles de l'activité de conduite automobile. Dans cet article, les auteurs définissent le *champ de déplacement sûr* ("*Safe Field of Travel*") comme l'ensemble des chemins possibles pour lesquels la voiture ne saurait être accidentée :

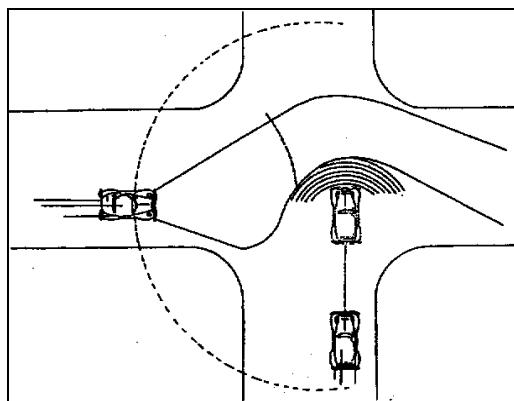


Figure 4 - Champ de déplacement sûr dans le cadre de la conduite automobile (reproduit de Gibson & Crooks [1938] avec la permission de l'éditeur)

Les limites de ce champ sont principalement fixées par les valences³ positives ou négatives portées par les objets de l'environnement (objets fixes ou mobiles). Le champ de déplacement sûr est dynamique : il s'allonge et se rétracte sans cesse en fonction des positions relatives des obstacles [Munduteguy, 2001]. Cette topologie relative et dynamique de l'environnement est mise en relation avec les capacités de freinage afin de révéler les contraintes de couplage sujet/environnement ... et donc certaines affordances de la situation (la zone minimale d'arrêt rapportée à ce gabarit de déplacement sûr).

³ Terme initialement emprunté à la psychologie de la Gestalt (travaux de K. Lewin) et que l'on peut imager par la notion de champ de force subjectif à valeur attractive ou répulsive. Ce terme sera plus tard précisé (en particulier par l'abandon de son aspect purement subjectif) et remplacé par celui d'affordance [Gibson, 1979].

- Le deuxième emprunt fait aux théories gibsoniennes repose sur **la notion de perception directe** pour laquelle la perception serait déterminée directement par la structuration des stimuli externes. Par exemple, le flux optique, i.e. l'arrangement spatio-temporel de lumière pénétrant dans l'œil, est structuré par les surfaces et les objets. Il fournit une information déjà organisée de l'environnement qui rendrait inutiles toutes procédures de calcul ou de traitement symbolique des informations contenues dans l'image rétinienne [Bruce & Green, 1993]. Cette structuration permet de détecter des invariants perception-action, mettant en relation des caractéristiques de l'environnement perçu et le comportement adopté. A titre d'exemple, on peut citer la perception directe d'une direction et d'une vitesse de déplacement à partir du focus d'expansion et du défilement optique de la texture environnementale :

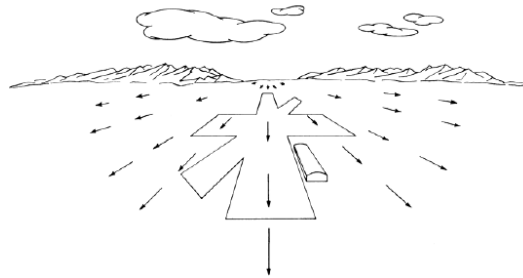


Figure 5 - Le champ de flux optique lors du survol d'une piste d'atterrissage [Gibson, 1950]

Gibson [1979] insiste sur la nature incorporée du flux optique qui lui confère des fonctionnalités de kinesthésie visuelle (perception de soi dans l'environnement)⁴ : toute perception implique donc une co-perception de l'objet et du soi percevant. La perception directe a un rôle déterminant pour la "saisie" ("*picking*") des affordances, i.e. pour la perception non pas des propriétés physiques de l'environnement mais des actions que ces propriétés permettent.

De cette théorie, le modèle néo-écologique retiendra principalement la possibilité de spécifier "directement" au sujet les affordances d'une situation, en limitant ainsi les processus mentaux d'interprétation [Flach, 1995b].

• Emprunts à l'ingénierie cognitive

Initialement développée par Rasmussen [1986], l'ingénierie cognitive propose une description systémique de "l'espace des possibilités" du domaine de travail. L'outil méthodologique utilisé est une matrice à deux dimensions : un axe "tout-parties" qui décompose le domaine de travail en sous-systèmes et un axe "fins-moyens" qui décrit les relations fonctionnelles et les contraintes de mise en œuvre du système. Un tel axe se compose de 5 niveaux d'abstraction :

- Le niveau des **objectifs fonctionnels** correspond aux buts pour lesquels le système doit être mis en œuvre, i.e. les fonctions attendues et leurs effets sur l'environnement.
- Le niveau des **fonctions abstraites** décrit les contraintes issues des lois "générales" s'appliquant aussi bien aux échanges du système avec son environnement qu'aux

⁴ De manière peut-être anecdotique, certaines fonctionnalités de la perception directe ne sont pas sans rappeler les fonctionnalités tactiles de la vision qu'avaient développées les Grecs anciens pour qui le regard était constitué de rayons visuels sensitifs, projection sensorielle sortant de l'œil pour aller en ligne droite palper les objets là où ils se trouvent [Simon, 2003].

échanges internes au système. A titre d'exemple, l'on peut citer les lois de la nature (conservation de la masse ou de l'énergie) ou les règlements.

- Le niveau des *fonctions générales* du système présente l'architecture fonctionnelle (et/ou organisationnelle) retenue pour réaliser les fonctions attendues.
- Le niveau des *fonctions physiques* décrit la projection des fonctions générales sur les constituants du système et précise leur fonctionnement interne.
- Le niveau des *formes physiques* précise les caractéristiques physiques des constituants et de leur installation (architecture physique).

Selon Rasmussen et ses collaborateurs (voir en particulier [Vicente & Rasmussen, 1990] et [Vicente, 1999]), une telle description doit permettre de définir l'espace problème de la tâche dans lequel l'opérateur pourra déployer son activité de manière sûre et performante. Flach [1990] considère alors les relations fonctionnelles et des contraintes significatives à chaque niveau d'abstraction comme la formalisation des "affordances" du domaine. Cette approche a donné naissance à des méthodes de conception système et de conception d'interfaces dites écologiques qui se donnent pour objectif d'expliciter ces "affordances" et de les transférer au niveau perceptivo-gestuel. Par analogie et par extension de la théorie de la perception directe, l'objectif poursuivi est que l'opérateur limite le recours à un modèle mental du domaine de travail grâce à un accès direct aux "affordances", affordances ici conceptuelles ([Albrechtsen et al., 2001], [Morineau & Parenthoën, 2003]). A ce titre cette approche rejoint certaines thèses de la Cognition Distribuée qui mettent l'accent sur le rôle fonctionnel joué par les représentations externes, décrivant alors le couple [Homme + Machine] comme un système cognitif [Hutchins, 1995].

Pour en revenir au modèle de la CS, Flach & Rasmussen [2000] présentent, dans une publication dédiée au thème de la "*conception pour la conscience de la situation*", une synthèse de leur approche selon les deux termes de l'équation [*situation - awareness*] :

- La situation est identifiée aux contraintes significatives (donc relatives) du domaine de travail et non à des procédures spécifiques issues de l'analyse de tâches. Bien que les auteurs affirment pouvoir formaliser les contraintes selon les différents niveaux de la hiérarchie d'abstraction, force est de constater que les exemples concrets les plus souvent cités dans le champ de la *Conscience de la Situation* concernent principalement la représentation fonctionnelle des lois de la physique (niveau des fonctions abstraites - [Smith & Hancock, 1995], [Smith et al. 1997], [Abeloos et al. 2002]). Un exemple typique est fourni par Flach & Rasmussen [2000] et Flach & Warren [1995a] sous la forme du diagramme suivant permettant de déterminer le champ de déplacement sûr pour un vol en basse altitude :

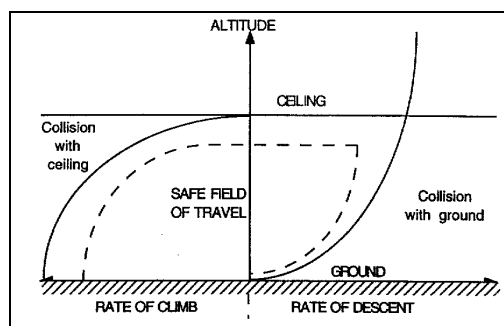


Figure 6 - Champ de déplacement sûr dans le cadre du pilotage d'avion (reproduit de Flach & Rasmussen [2000] avec la permission de l'éditeur).

Dans cette figure, l'axe vertical représente l'altitude de l'avion et l'axe horizontal représente la vitesse verticale de l'avion : vitesse ascendante (partie gauche) et descendante (partie droite). La limite inférieure portée sur l'axe des altitudes représente le sol et la limite supérieure représente un niveau d'altitude à ne pas dépasser (par exemple suite à une consigne opérationnelle de discrétion vis-à-vis d'un radar ennemi). La zone centrale de la figure représente une contrainte sur le *champ de déplacement sûr*, i.e. si l'avion se trouve en dehors de cette zone, il y aura "collision" avec une des limites à ne pas dépasser, et ce de façon déterministe compte tenu de l'inertie du comportement aérodynamique de l'avion. D'après les auteurs, un tel diagramme décrit les affordances positives ou négatives que l'environnement "offre" au pilote pour son activité de pilotage sous contraintes.

- Le traitement du terme "**awareness**" semble un peu plus délicat et différent quelque peu selon les auteurs :
 - Smith & Hancock [1995] utilisent explicitement le terme de "conscience" en précisant qu'il s'agit de la partie de la conscience dirigée vers l'externe - vers "*l'arbitre des performances*" - permettant de révéler les lois invariantes d'un couplage dynamique sûr et performant avec l'environnement de la tâche. A ce titre, la CS n'est pas une propriété du sujet ("*la CS ne réside pas dans l'agent*") mais une qualité de l'interaction sujet-environnement.
 - Prenant comme système d'analyse le couple [Homme + Machine], Flach & Rasmussen [2000] précisent que l'*awareness* des affordances est une propriété de ce "*système cognitif joint*" lors de ses interactions avec l'environnement. En effet, si les affordances sont intégrées dans la Machine et/ou perçues directement par l'Homme, il devient assez délicat de parler de "conscience des contraintes" chez le sujet quand bien même celles-ci sont respectées. Par contre, plus l'on s'éloigne de la contrainte de synchronisation immédiate de l'activité avec la dynamique de l'environnement, l'activité conceptuelle anticipatrice est de nouveau pleinement attribuée à l'Homme ... activité pouvant bien sûr être supportée par des fonctionnalités techniques de prédiction [Abeloos et al., 2002].

Il est à noter que si cette approche est prescriptive, elle l'est de manière très différente de la prescription de l'approche linéaire. Elle ne cherche pas à nier l'autonomie de l'opérateur mais à encadrer (à "éclairer") son comportement adaptatif en explicitant les invariances de couplage nécessaires à l'action efficace [Flach & Rasmussen, 2000]. A ce titre, Vicente [1999] parle d'approche "*formatrice*". Elle vise donc à spécifier au sujet un espace problème de la tâche au sein duquel les trajectoires comportementales improvisées respectent des contraintes de performance et/ou de sécurité [Rasmussen, 1997].

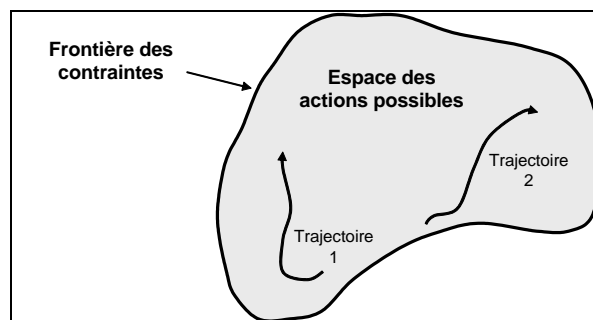


Figure 7 - Approche centrée sur les contraintes (traduit de Vicente [1999])

2 REUSSIR ET COMPRENDRE

"[...] comprendre consiste à dégager la raison des choses, tandis que réussir ne revient qu'à les utiliser avec succès, ce qui est certes une condition préalable de la compréhension, mais que celle-ci dépasse puisqu'elle en arrive à un savoir qui précède l'action et peut se passer d'elle." [Piaget, 1974b].

Malgré l'apparente diversité des différents modèles de la *Conscience de la Situation* exposés au chapitre précédent, il nous semble que le cœur du débat se situe dans l'équilibre dynamique entre la réussite pratique et la compréhension de ce qui fait la réussite, tension que nous proposons d'aborder au travers des éclairages théoriques suivants :

- **Le sujet "réflexif"** en référence aux travaux de Piaget et des chercheurs néo-piagétien sur le thème de la prise de conscience.
- **Le sujet "dynamique"** en référence aux travaux en psychologie ergonomique sur la cognition en environnement dynamique.
- **Le sujet "écologique"** afin de préciser la notion gibsonienne d'affordance et son rôle pour le couplage sujet / environnement.

2.1 Le sujet "réflexif"

La psychologie piagétienne envisage la connaissance comme le produit de l'interaction sujet-environnement, comme le résultat d'un processus d'adaptation qui tend à l'équilibre dynamique entre un mécanisme d'assimilation (intégration de l'environnement aux structures internes de connaissances) et un mécanisme d'accommodation (modification de ces structures internes à des fins d'assimilation). Dans la relation entre le sujet et l'objet de connaissance, l'assimilation représente l'action du sujet sur l'objet (cas d'une activité routinière) et l'accommodation exprime l'action de l'objet sur le sujet (cas par exemple d'une anticipation démentie par les faits qui va amener le sujet à modifier ses structures assimilatrices). Le champ spatio-temporel de l'adaptation s'accroît par un processus d'équilibration qui modifie le rapport du sujet au monde par modification de la nature des structures assimilatrices. Une perturbation cognitive (par exemple suite à une résistance du réel à l'assimilation) va provoquer la construction de nouvelles formes de connaissances pour lesquelles la perturbation initiale n'en est plus une.

Adaptant à la cognition "adulte" les travaux de Piaget [1974a, 1974b] sur la prise de conscience, Vermersch [1994] identifie le passage de la réussite (conscience pré-réfléchie) à la compréhension (conscience réfléchie) à un travail cognitif de transformation en quatre étapes qui diffèrent notamment selon le type de signifiés et signifiants internes mobilisés :

- Le réfléchissement est le passage au plan de la représentation d'un contenu qui n'était jusqu'alors qu'agi : passage de l'intelligence sensori-motrice à la *pensée représentative*. Cette opération cognitive peut porter sur des propriétés matérielles du réel (abstraction empirique) ou sur les actions du sujet (abstraction réfléchissante). Le réfléchissement introduit la fonction symbolique qui permet une différenciation entre le signifiant et le signifié [Dolle, 1997].
- Cette fonction symbolique, évocatrice des réalités présentes ou absentes, peut s'appuyer sur des signifiants internes ayant un lien "privé" avec le signifié (symboles individuels),

le signifié étant alors un pré-concept évoquant une réalité particulière (*pensée symbolique*) [Piaget, 1947]. Vermersch [1993] met particulièrement en évidence cette pensée privée à partir de données sur la manière dont des pianistes professionnels se représentent des partitions qu'ils jouent par cœur en mettant en œuvre de multiples codages sensoriels (kinesthésiques, visuels et auditifs).

- Les signifiants internes peuvent être arbitraires et conventionnels (signes), le signifié étant alors un concept abstrait (*pensée conceptuelle*) [Piaget, 1947]. L'utilisation du langage comme système de signifiants (la thématization) marque un nouveau stade dans la prise de conscience, dans la mesure où le langage permet une élaboration conceptuelle plus poussée que tout autre moyen [Vermersch, 1994].
- Enfin, l'abstraction réfléchie est une abstraction réfléchissante qui transforme le contenu thématized en objet conscient de connaissance (*pensée réflexive*), le sujet accédant ainsi à la compréhension proprement dite [Vermersch, 1994].

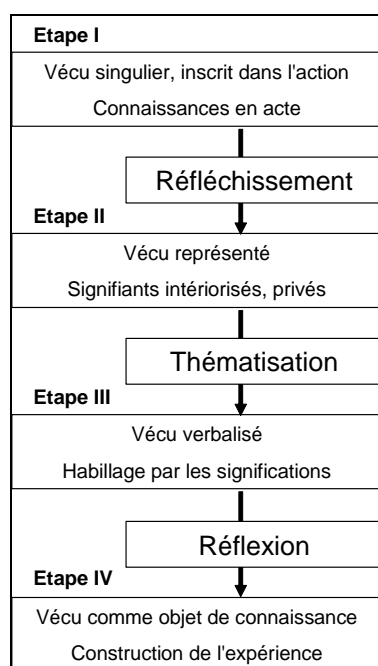


Figure 8 - Modélisation des étapes du passage du pré-réfléchi au réfléchi selon Piaget (adapté de [Vermersch, 1994])

Le champ de l'intelligence sensori-motrice est donc la situation présente, ici et maintenant. Avec la pensée symbolique, la fonction évocatrice permet d'accéder à une réalité absente mais la réalité manipulée reste particulière et concrète. La pensée conceptuelle change radicalement la distance sujet-situation : la lecture de l'expérience ne s'effectue plus seulement par une appréhension de ses propriétés immédiates mais en formulant des hypothèses, en insérant les relations du réel dans l'ensemble de celles qui sont possibles du point de vue du sujet [Dolle, 1997]. Un des apports essentiels de Vermersch [1978] est d'avoir postulé et montré que ces "intelligences", qui correspondent à des stades de développement chez Piaget, pouvaient correspondre chez l'adulte à des registres de fonctionnement coexistant en interdépendance (sans pour autant réduire un registre cognitif à un stade de développement piagétien).

La fonction évocatrice, anticipatrice de la situation et des actions futures, que l'on retrouve dans la définition empirique des pilotes "*être devant l'avion*", et la modalité consciente (ou conscientisable) de la *Conscience de la Situation* nous semblent l'inscrire dans ce processus

de prise de conscience de la situation par le pilote, de passage de l'agi au raisonnement formel, qui permet l'assimilation de réalités de plus en plus éloignées de l'action propre et une accommodation de cette action au possible considéré. L'interprétation de la *Conscience de la Situation* dans ce cadre néo-piagétien de la prise de conscience nous permet d'en envisager un certain nombre de caractéristiques :

- L'accommodation et l'élévation du niveau d'abstraction ne sont pas des processus spontanés mais déclenchés par une résistance du réel à l'assimilation et par un échec de l'accommodation à un certain niveau d'abstraction [Vermersch, 1994]. **La Conscience de la Situation est associée aux obstacles rencontrés ou anticipés par le sujet dans la réalisation de ses objectifs.**
- Les transpositions d'un plan d'abstraction psychologique à un autre ne sont pas des simples transferts mais s'accompagnent d'une réflexion, d'un travail de réorganisation des connaissances sur le plan supérieur [Dolle, 1997]. De plus, les modes de fonctionnement les plus abstraits étant les plus volontaires et les plus complexes, ils sont les plus coûteux à mettre en jeu [Vermersch, 1978]. **La construction de la Conscience de la Situation représente donc un coût en terme de mobilisation des ressources cognitives.**
- La prise de conscience est, par construction, toujours en décalage par rapport au vécu (décalage entre l'expérience immédiate et les informations inférées) : il y a une dissymétrie temporelle entre le comprendre et le réussir [Vermersch, 1994]. **La construction de la Conscience de la Situation est à envisager sur un mode diachronique.**
- Avec la théorie de la prise de conscience, Piaget a montré que les éléments intériorisés par le sujet vont de la périphérie vers le centre : le gradient de progression concerne successivement les informations sur le contexte, les données sensorielles et le but visé puis les actions et moyens qui permettent d'atteindre ce but et enfin le détail des actions et les raisons qui font que les moyens employés sont appropriés et efficaces [Vermersch, 1994], [Teiger, 1993]. L'équilibration et la prise de conscience sont des processus dynamiques dans lesquels peuvent coexister plusieurs niveaux de registres de fonctionnement selon les référents considérés. **La Conscience de la Situation serait donc une représentation dynamique dont les éléments sont conscientisables (car liés aux registres symboliques) mais non tous effectivement conscients à tout instant (au sens de la conscience réfléchie).**
- Enfin, Vermersch [1994] souligne que toute action, même la plus abstraite, la plus conceptualisée du fait des connaissances et des objectifs dont elle suppose la maîtrise, contient des connaissances pré-réfléchies ou non conscientisées. **Il y a donc une part de l'activité irréductible à la Conscience de la Situation.**

Si la théorie de la prise de conscience permet de définir un cadre épistémique d'analyse du concept de *Conscience de la Situation*, cette approche nécessite une instanciation par rapport aux modalités fonctionnelles du sujet, ce qui est l'objet des paragraphes suivants qui s'attachent à une revue des travaux en psychologie ergonomique sur la cognition en environnement dynamique.

2.2 Le sujet "dynamique"

De manière générale en psychologie cognitive, la compréhension traite des significations véhiculées par des informations symboliques et/ou par des situations physiques. La construction des interprétations concerne les éléments de la situation (catégorisation) et la

situation dans son ensemble (compréhension proprement dite). Richard [1990] distingue plusieurs mécanismes de construction ou d'accommodation des cadres d'assimilation sous-tendant la compréhension :

- Particularisation d'un schéma. Les schémas sont des structures organisées de variables concernant des événements ou des actions. Comprendre en utilisant un schéma consiste d'abord à le sélectionner (évocation) puis à instancier les variables du schéma (particularisation). L'évocation peut être sur un mode descendant à partir du nom du schéma ou ascendant à partir de certains traits de la situation. Le schéma permet une interprétation des éléments de la situation et l'inférence d'informations manquantes.
- Utilisation d'analogie. La construction de la représentation se fait par analogie avec une situation connue. Il s'agit du transfert et de l'accommodation au domaine situé des significations d'un autre domaine.
- Construction d'un modèle imagé de la situation : évocation mentale d'une scène particulière basée sur des traits topologiques.
- Construction d'un réseau de relations. Lorsque la situation n'est assimilable à aucune expérience passée, le sujet doit construire pas à pas un réseau de relations entre les différents éléments de la situation (situation de résolution de problème). Ce processus, très coûteux sur le plan temporel et des ressources cognitives, se déroule par cycles de collection, d'agrégation et d'abstraction d'informations.

Dans le cadre des activités finalisées (i.e. orientées vers un but) la construction de la représentation de la situation consiste à organiser un ensemble d'éléments en une structure significative qui est finalisée par une décision (d'action ou de non action). L'évaluation de cette représentation n'obéit pas à un critère de vérité mais à un double critère de cohérence entre les données recueillies et interprétées et d'opérativité, i.e. la possibilité de retirer de cette compréhension une décision pertinente à l'action [Richard, 1990]. La finalisation de l'activité de compréhension fait qu'à une même situation (externe) correspondent des interprétations et représentations multiples, en fonction des variabilités inter et intra-individuelles et des variabilités de la tâche [Leplat, 1985].

Afin de structurer la mobilisation de la littérature produite sur ce thème dans le champ de la psychologie ergonomique, il nous semble tout d'abord nécessaire de replacer l'activité de compréhension dans un cadre minimal de la cognition en environnement dynamique tel que le propose le schéma ci-dessous (très librement inspiré des travaux de Hollnagel [1993] et de la revue des modèles cognitifs effectuée par Cacciabue [1998])⁵ :

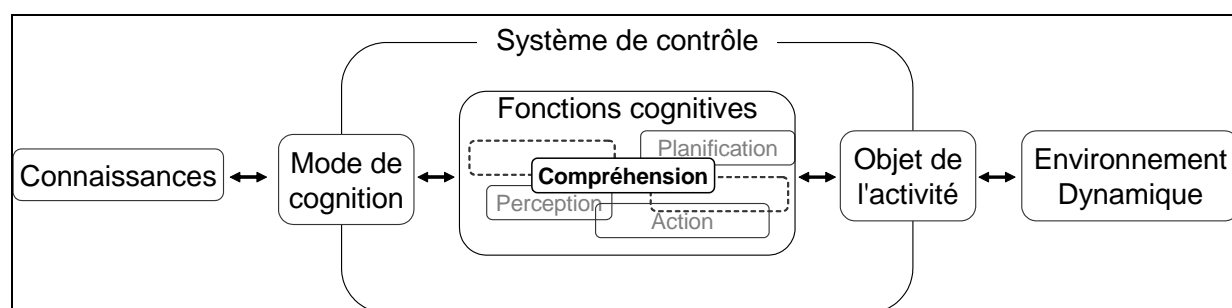


Figure 9 - Modèle minimal de la cognition en environnement dynamique

⁵ "Fil rouge" de notre revue de questions, ce schéma n'a pas pour réelle prétention à être un modèle de la cognition.

La compréhension y est vue comme une des fonctions cognitives élémentaires (au même titre que la perception, la planification, l'action ...) dont la mise en œuvre dépend d'un système de contrôle (les fonctions cognitives constituent donc le système contrôlé). Le contrôle s'effectue sur deux axes :

- L'axe "mode de cognition" qui désigne le type de connaissances mobilisées pour la réalisation des fonctions.
- L'axe "objet de l'activité" qui désigne ce sur quoi porte la fonction, en relation notamment avec la dynamique de l'environnement interprété.

Nous proposons ci-après de parcourir ce schéma de la périphérie vers le centre afin d'aboutir au produit même de la fonction de compréhension. Ceci nous permettra d'établir les fonctionnalités et les limites attendues de la *Conscience de la Situation* pour la gestion des environnements dynamiques.

2.2.1 Les environnements dynamiques

La notion d'environnement dynamique regroupe des situations de travail caractérisées par le fait que la dynamique est déterminée par d'autres facteurs que les actions de l'opérateur : la situation continue à évoluer qu'il y ait ou non intervention ([Cellier, 1996], [Amalberti & Hoc, 1998]). De plus les interventions sont souvent irréversibles : il n'est pas possible de revenir à la situation initiale [Sébillotte, 1984]. Les exigences de l'activité en environnement dynamique concernent donc non seulement la médiation du processus mais également les ajustements de l'action à l'évolution de l'environnement. Cette relative autonomie de la situation vis-à-vis de l'opérateur et cette irréversibilité se retrouvent dans des situations de travail diverses comme le guidage et la conduite de mobiles, la supervision de flux, la gestion de sinistre, le contrôle d'un processus de transformation de produit, etc. Afin de caractériser ces différentes situations sur le plan des exigences cognitives associées, Cellier [1996] identifie un certain nombre de dimensions spécifiques de la complexité de ce type d'environnement :

- La distance opérateur-situation dont l'accroissement oblige l'opérateur à construire la représentation de la situation à partir de représentations externes plus ou moins exhaustives et compatibles entre elles.
- La continuité ou non des variables de l'environnement. La coexistence de différents formats temporels de variables entraîne la nécessité pour l'opérateur d'articuler des représentations d'évolution inhomogènes.
- Les dynamiques de la situation (dynamique propre de l'environnement et dynamique de réponse à une action) dont l'accroissement contraint la prise d'information et les possibilités d'intervention.
- L'instabilité du processus qui sollicite les ressources attentionnelles et nécessite de fréquents diagnostics et décisions d'action.
- Le degré d'ouverture du système qui influe sur sa prédictibilité.

Notre terrain d'application étant la conduite de missions en aéronautique de combat, nous privilégierons les questions relatives aux environnements ouverts à forte dynamique, à délais de réponse courts et à risques. Deux composantes du risque peuvent être ici distinguées [Amalberti, 1996] : le risque externe, ou "*distance à l'accident*", qui est la conséquence

d'une combinaison événements/comportement sur la sécurité ou la performance et le risque interne de dépassement des ressources cognitives, aussi bien pour le contrôle de la situation que dans l'exécution de l'action. A ces risques sont associées des contraintes temporelles externes (respect de contraintes horaires, synchronisation avec la situation, dates butoirs pour la décision, délais de réponse du processus) et internes (durées nécessaires à la mise en oeuvre des mécanismes de compréhension, d'organisation de l'activité, de passage à l'acte). Face à cette complexité, l'opérateur va chercher à réduire l'ouverture excessive de la situation afin de la rendre assimilable. La maîtrise du temps et la maîtrise du risque sont alors au centre des stratégies de réduction de la complexité des environnements dynamiques [Smith & Hancock, 1995].

Bien que notre terrain d'étude soit très spécifique, il est à noter que ce type d'environnement est partagé avec d'autres terrains pour lesquels la *Conscience de la Situation* est également un objet de recherche (en particulier la conduite automobile, voir par exemple les travaux récents de Bailly [2004]).

2.2.2 Expertise et connaissances fonctionnelles

Dans le cadre de nos travaux, nous considérerons que l'opérateur n'est ni naïf, ni novice mais expert. L'expertise est spécifique d'un domaine et se caractérise par des connaissances finalisées, apprises et organisées [Leplat, 1995]. La différence expert/novice est plus qualitative (fonctionnalité des connaissances) que quantitative (nombre d'éléments stockés en mémoire à long terme). Une des caractéristiques principales de la sous-classe des environnements dynamiques ici considérés est la pression temporelle, i.e. le temps disponible à l'opérateur pour prendre sa décision et agir sur le système. Cette contrainte va influencer sur le type d'expertise que les opérateurs développent et favorise l'intégration des activités de compréhension et d'action par la disponibilité et l'accessibilité de cadres et moyens d'assimilation pragmatiques pré-construits [Amalberti, 1996].

Ainsi, autant par souci d'efficacité que d'efficience, les opérateurs favorisent les situations d'exécution de procédure guidée par des schémas aux situations de résolution de problème qui sont à coût élevé en temps et en ressources cognitives ([Klein, 1993a], [Amalberti, 1996], [Valot, 1996], [Van Daele & Carpinelli, 1996]). L'efficience de cette modalité de l'activité repose sur l'habileté à opérer des catégorisations pertinentes par mobilisation de connaissances fonctionnelles organisées elles-mêmes de façon fonctionnelle en mémoire à long terme ([Reason, 1993], [Dubois et al., 1993]).

Les schémas pragmatiques guident la prise d'information et la formation d'hypothèses liées aux possibilités d'actions, ils rendent disponibles des inférences et activent des décisions d'action [Lipshitz, 1993]. Spécifiques d'un domaine de tâches, ces connaissances, que Hoc [1987] appelle **Systèmes de Représentation et de Traitement (SRT)**, sont le produit d'adaptations successives développées au cours de l'activité du sujet dans un domaine d'action donné. Les SRT comportent à la fois des aspects déclaratifs et des aspects procéduraux dont l'évocation produit conjointement le type de représentation et le type de traitement qui seront appliqués en situation. Ils sont donc le support d'une compréhension finalisée permettant de guider une action élémentaire ou de planifier des actions plus globales [Hoc, 1987]. Ces cadres assimilateurs comportent des *patterns* permettant de traiter par reconnaissance des configurations d'états situationnels ([Cellier, 1996], [Van Daele & Carpinelli, 1996], [Reason, 1993]). Ces connaissances intègrent également la dimension temporelle : les experts manipulent plus des évolutions et tendances que des états statiques

[Cellier et al., 1997]. Les schémas permettent donc non seulement d'expliquer mais aussi d'anticiper pour agir sur la situation [Amalberti, 1996].

Si la réticence des opérateurs à la construction synchronique d'espace problème est affirmée par de nombreux auteurs, la nature des connaissances mobilisées pour l'exécution des fonctions cognitives dépend en fait du contexte intériorisé et cette sélection est la fonction du système de contrôle décrit ci-après.

2.2.3 Contrôle cognitif

La célèbre classification SRK (*Skill-Rules-Knowledge*) de Rasmussen [1986] propose un modèle de contrôle de l'activité reposant sur trois modes hiérarchisés qui sont utilisés en fonction des objectifs, des exigences de la situation et des ressources et connaissances disponibles :

- *Le niveau basé sur les habiletés* est celui de l'activité réglée par des automatismes sensori-moteurs ou cognitifs. Chaque action d'un automatisme est déclenchée soit à partir de signaux ou indices (configurations perceptives directement liées à l'action), soit à partir de la fin d'exécution ou en parallèle d'une autre action. Le traitement des signaux ne nécessite pas d'activité interprétative et l'opérateur est orienté vers l'action avant construction d'une représentation symbolique [Hoc & Amalberti, 1994].
- *Le niveau basé sur les règles* correspond à l'application d'un savoir procéduralisé à une situation reconnue. Le déclenchement d'une règle d'action s'appuie sur l'activité interprétative de symboles (*signs*⁶) et nécessite donc la pensée symbolique. Cependant ce mode ne nécessite que le stockage de cadres d'assimilation pragmatiques qui déclenchent l'exécution des règles.
- *Le niveau basé sur les connaissances* correspondant à l'utilisation de connaissances déclaratives non procéduralisées. Cette modalité rend compte des activités de compréhension requises pour traiter des situations inhabituelles pour lesquelles l'opérateur ne dispose pas de connaissances pragmatiques efficaces. Ce mode s'appuie sur des procédures interprétatives générales pour comprendre les informations au niveau des signes (*symbols*) et nécessite donc la pensée conceptuelle.

La hiérarchisation des modes correspond à un accroissement de la mobilisation des ressources attentionnelles et à une diminution de la capacité de traitement en parallèle. Par principe d'efficience, le mode de contrôle ne s'élèverait dans la hiérarchie que lorsque les compétences ou connaissances associées à un niveau donné sont inefficaces.

Une des critiques que l'on peut faire à ce modèle est que les niveaux semblent exclusifs les uns des autres. Or de nombreux travaux, en particulier ceux d'Amalberti & Deblon [1992] sur le pilotage d'avion et ceux de Michon [1985] dans le domaine de la conduite automobile, ont mis en évidence qu'une des caractéristiques de l'expertise est la capacité à répartir la régulation de l'activité sur plusieurs niveaux, permettant ainsi des traitements en parallèle et en temps partagé [Hoc, 1996]. Afin de rendre compte de cette activité "multi-tâche", deux dimensions du contrôle peuvent être proposées :

⁶ L'usage actuel a inversé les utilisations classiques de signe/symbole de la classification sémiologique de F. de Saussure et telles qu'utilisées au § 4.1. L'usage américain en vigueur depuis Peirce fait correspondre le terme de *symbol* à l'équivalent du *signe* conventionnel et arbitraire.

- Un axe "**mode de cognition**" (ou encore "type de performance") pour lequel la classification SRK apparaît comme une taxonomie des compétences mobilisées pour l'accomplissement des fonctions cognitives. Le mode de cognition ainsi mobilisé va également influencer sur les nombreux courts-circuits entre fonctions cognitives, ce que Hollnagel [1993] illustre à partir de l'échelle de décision de Rasmussen (sur laquelle nous avons reporté les niveaux SRK en nous inspirant de Cacciabue [1998]) :

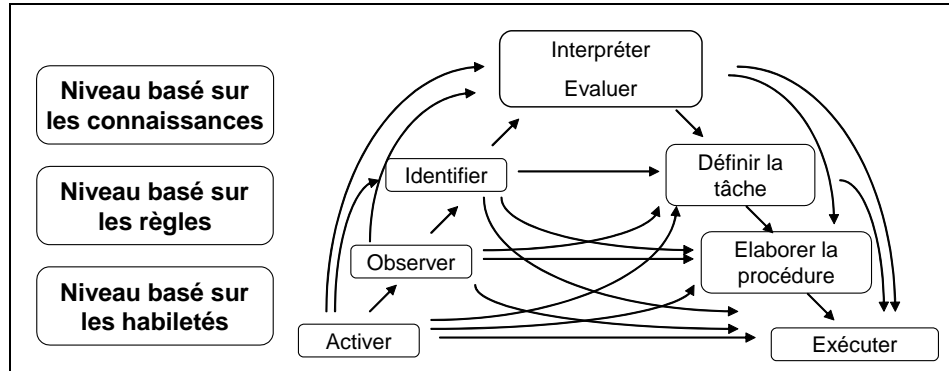


Figure 10 - Echelle de décision et modèle SRK de Rasmussen (d'après Hollnagel [1993] et Cacciabue [1998])

- Un axe "**objet de l'activité**" qui reflète le niveau d'abstraction de la tâche interprétée et se confond souvent avec l'empan temporel du contrôle (on retrouve ici les modèles multi-niveaux de la régulation). A titre d'exemple, on peut citer les niveaux proposés par Michon [1985] dans le cadre de la conduite automobile :
 - **Le niveau stratégique** concerne la planification et englobe le choix du mode de transport, l'itinéraire, le choix du moment du trajet, l'estimation du temps nécessaire au trajet, etc. Ce niveau concerne également les objectifs généraux et les contraintes globales de la tâche (par exemple la nécessité de respecter un horaire d'arrivée).
 - **Le niveau tactique** concerne le choix des actions à mettre en œuvre dans un contexte situationnel spécifique. Il intègre les objectifs locaux et les contraintes associées à la réalisation des actions envisagées (par exemple les capacités techniques du véhicule pour une action de dépassement).
 - **Le niveau opérationnel** est fortement lié au contrôle synchronique de l'activité et concerne la mise en œuvre des actions décidées au niveau tactique.

Plus récent, le modèle ECOM de Hollnagel et al. [2003] revient à séparer le niveau tactique en deux niveaux : le niveau surveillance ("*monitoring*") en charge de la surveillance globale et de la replanification au cours du trajet et le niveau régulation ("*regulating*") qui est le support symbolique du contrôle synchronique.

Ranney [1994] illustre le croisement de ces deux dimensions (Mode de cognition vs Objet de l'activité) pour une application à la conduite automobile :

Mode vs Objet	Opérationnel	Tactique	Stratégique
Habiletés	Tenue de route dans les virages	Franchissement de carrefours familiers	Chemin utilisé régulièrement
Règles	Conduite d'un véhicule non familier	Dépassement de véhicules	Choix entre deux chemins connus
Connaissances	Premières leçons de conduite	Dérapiage contrôlé	Navigation dans un quartier mal connu

La question de l'**intégration** à l'intérieur d'un tel modèle hiérarchique de contrôle peut être vue comme étant adressée par le modèle COCOM - *Contextual Control Model* - d'Hollnagel [1993] qui identifie quatre **styles de contrôle**⁷ :

- **Le style erratique** qui est un style de quasi-panique dans lequel l'action de l'opérateur est imprédictible, avec une "pensée paralysée". Ce style correspond à une perte totale de la *Conscience de la Situation* [Hollnagel, 1998].
- **Le style opportuniste** dans lequel l'action de l'opérateur résulte largement des caractéristiques saillantes du contexte et des solutions les plus immédiates qui se présentent (on retrouve ici une partie du modèle RPD, cf. § 2.2). Il y a peu de planification et d'anticipation.
- **Le style tactique** repose sur une planification limitée de l'action à partir de règles internes et de procédures externes.
- **Le style stratégique** dans lequel l'opérateur considère le contexte global de la tâche, réalise une planification avancée et en intègre les conséquences dans l'ensemble des objets de son activité.

Selon le style, le champ spatio-temporel du contrôle est donc plus ou moins grand et l'activité est régulée par une combinaison plus ou moins large d'habiletés, de règles et de raisonnements, ainsi que l'indique le tableau suivant traduit de Hollnagel [1993] :

Style vs Cog.	Automatismes	Règles	Raisonnements
Stratégique	Sous la dépendance des règles et procédures	Prédéfinies ou construction de procédures / règles	Planification et construction de nouveaux plans
Tactique	Sous la dépendance des règles et procédures	Application de procédures / règles prédéfinies (connues)	Combinaison ou modification de plans déjà établis
Opportuniste	Sous la dépendance des règles et procédures, parfois en indépendance	Application avec peu de flexibilité	-
Erratique	En indépendance	-	-

La dynamique de sélection d'un style de contrôle dépend du contexte intériorisé, i.e. de la rencontre entre les contraintes externes et les compétences du sujet, notamment les métaconnaissances qui sont des connaissances de deuxième ordre portant sur d'autres connaissances. Valot et al. [1993] distinguent les "*métaconnaissances de connaissances*", savoir sur le savoir, et les "*métaconnaissances de compétences*" (ou métacognition) définies comme le savoir de l'opérateur sur les spécificités et limites de son propre fonctionnement cognitif. Au-delà des connaissances de "premier ordre", l'expertise se caractérise également par la disponibilité et l'utilisation pertinente des métaconnaissances : l'expert cherche à rester dans le domaine de ses connaissances et savoir-faire par la constitution d'heuristiques efficaces de mobilisation de ses connaissances [Grau et al., 1996]. Les métaconnaissances participent donc à la sélection des Systèmes de Représentation et de Traitement pertinents pour la poursuite de l'activité en fonction des évolutions de la situation et des ressources internes.

⁷ Attention à la confusion possible de terminologie avec l'objet de l'activité ! Par exemple, le style "stratégique" de COCOM intègre l'ensemble des objets de l'activité depuis l'opérationnel ... jusqu'au stratégique.

2.2.4 Interdépendance des fonctions cognitives

Les modèles linéaires de la cognition, où la compréhension intervient en aval de la perception et en amont de la prise de décision et de l'action, sont en fait des artefacts de méthodes de description ce dont témoignent les nombreux courts-circuits et boucles de rétroactions qui y sont généralement associés [Hollnagel, 1993]. Pour reprendre l'expression d'Amalberti [1996], le modèle sériel Perception-Compréhension-Décision-Action est d'une "*désarmante naïveté*" et il existe un parallélisme et des interdépendances qui sont amplifiés par l'expertise en situation dynamique.

2.2.4.1 Perception-attention et Compréhension

L'interdépendance perception-compréhension est classique et reconnue par l'ensemble des chercheurs du domaine. La construction de la représentation est un processus progressif de sélection et d'encodage alimenté par deux flux d'informations : un flux ascendant (perception dirigée par les stimuli de l'environnement) et un flux descendant (perception dirigée par les connaissances activées) [Bisseret, 1995].

Les relations entre compréhension et perception ont été particulièrement étudiées par certains chercheurs dans le cadre des théories de l'attention [Wickens, 1996b]. Les notions de traitement pré-attentif et d'attention sélective, focalisée reprennent les notions de flux ascendant / flux descendant [Endsley, 1995a]. L'attention focalisée est considérée comme un filtre sélectif : après un traitement initial automatique, l'information pertinente est sélectionnée par un mécanisme attentionnel d'activation. L'information non pertinente n'étant pas activée, elle ne fait pas l'objet d'un traitement cognitif ultérieur. Dérivée de la théorie de l'information et adoptée par Endsley [1995a], l'hypothèse du canal unique de transit informationnel associe à l'attention la notion de capacité limitée qui entraînerait une limitation structurelle du débit d'information en provenance du monde extérieur. Cette théorie a fait l'objet de nombreuses critiques, en particulier :

- Issue de la psychologie expérimentale, la théorie des ressources multiples de Wickens [1984] souligne que l'attention peut être divisée vers plusieurs objets (traitements parallèles) si les modalités sensorielles ou cognitives de traitement des informations n'entrent pas en conflit.
- Débordant le simple cadre de la perception, plusieurs travaux, aussi bien en psychologie cognitive [Cheng, 1985] qu'en ergonomie [Spérando, 1984], ont montré que les limites en ressources attentionnelles peuvent être contournées par une restructuration des processus de traitement (automatisation de l'activité par exemple).

2.2.4.2 Décision-action et Compréhension

Dans le cadre de la résolution de problème, Richard [1990] identifie deux critères d'arrêt à l'analyse d'un problème : la représentation du problème est sémantiquement acceptable et elle permet l'application d'une procédure, ce qui souligne les interactions entre l'interprétation (objectif de compréhension) et la recherche de solution (objectif de réussite). Les relations entre la compréhension et la prise de décision et l'action s'articulent autour de trois axes :

- **Le répertoire d'actions comme préalable à la compréhension**

La compréhension est un processus d'attribution de significations dans lequel interviennent notamment des connaissances procédurales et des savoir-faire applicables en situation [Richard, 1990]. Il y a intersection des traitements de diagnostic et de résolution et l'opérationnalisation du diagnostic s'opère par une représentation de l'espace des faits et des hypothèses en fonction des actions disponibles ([Bisseret, 1995], [Hoc, 1996]). Le répertoire d'actions possibles influe donc sur la sélection des éléments de la situation et sur la signification qui leur est attribuée ([Amalberti, 1996], [Orasanu & Fisher, 1997]).

- **La compréhension par simulation mentale de l'action**

La compréhension peut éventuellement s'appuyer sur une simulation mentale des actions envisagées ce qui permet l'anticipation du résultat d'action [Leplat, 1985]. La régulation de l'activité s'effectue alors à partir de l'action simulée en elle-même et non pas de son résultat effectif. En retour cette simulation mentale alimente la représentation par sélection et intégration d'éléments nécessaires à l'action et peut donc amener une accommodation de l'action envisagée ou de la représentation de la situation. Ce point est particulièrement souligné par le modèle de prise de décision de Klein [1997] déjà exposé.

- **La compréhension par l'action effective**

Un certain nombre d'actions visent à l'acquisition et à l'élaboration d'information pour "alimenter" la représentation de la situation [Amalberti & Hoc, 1998]. Ces actions peuvent s'inscrire dans le cadre de la mise en oeuvre d'une prise d'information habituelle et quasi-permanente (par exemple la surveillance des paramètres de base du pilotage), dans le cadre de la mise en oeuvre d'une procédure ou bien dans le cadre d'une activité de diagnostic (évocation/confirmation d'hypothèses, diagnostic différentiel, construction d'un réseau de relations causales). Ce type d'action a été particulièrement mis en évidence par Sebillote [1984] dans les activités de diagnostic médical (surveillance de grossesse pathologique) et est au centre du modèle de cycle de décision de Connolly [1988] (cité par [Lipshitz, 1993]) qui distingue, sous des appellations imagées, deux types de stratégie de prise de décision : "*abattage d'arbre*" qui renvoie à des décisions prises à la suite d'une compréhension et planification exhaustives et "*tonte de haie*" qui décrit un processus incrémental de rétroactions compréhension/action. L'auteur souligne que les opérateurs, lorsqu'ils peuvent mener des séries d'actions aux conséquences limitées, préfèrent la stratégie incrémentale autant par nécessité de créer une information manquante que par souci d'économie cognitive.

2.2.5 Représentation et Conscience de la Situation

De façon très "classique", à la suite d'autres chercheurs (par exemple Dusire [2000], Munduteguy [2001], Bailly [2004]) et dans la continuité de notre première approche [Chalandon, 1998, 2003], nous associerons la *Conscience de la Situation* à la notion de représentation fonctionnelle, notion développée dans le champ de la psychologie ergonomique sur la base des apports des travaux soviétiques des années 1940-1970, en particulier ceux d'Ochanine sur l'image opérative ([Leplat, 1985], [Bisseret, 1995]).

Par le terme "images opératives", Ochanine désigne "*des structures informationnelles spécialisées qui se forment au cours de telle ou telle action dirigée sur des objets*" : "*l'image opérative forme un ensemble informationnel spécialisé dont le contenu et la structure*

dépendent des tâches qui constituent une action concrète sur un objet"⁸. Les images opératives sont des construits internes, reflets de référents externes, qui conditionnent le choix et la préparation d'actions finalisées sur les objets. Elles peuvent être définies comme des images conjointes et intégrées de l'objet et de l'action projetée sur l'objet.

Afin d'éliminer tout a priori concernant les signifiants internes de ce construit, la notion d'image opérative a été adoptée par la psychologie ergonomique sous le terme de *représentation* avec divers adjectifs que nous considérerons comme équivalents : "*représentation fonctionnelle*", "*représentation opérationnelle*", "*représentation circonstancielle*", "*représentation pour l'action*", etc. ([Weill-Fassina et al., 1993], [Bisseret, 1995]). Cette représentation est identifiée au contenu de la mémoire opérationnelle que Amalberti [1996] qualifie de "*spot dans la mémoire à long terme*", i.e. l'information contenue en mémoire de travail et la partie activée de la mémoire à long terme [Richard, 1990].

La représentation est fonctionnelle dans la mesure où elle permet à l'opérateur d'agir, d'utiliser, d'organiser et de transformer la situation afin de satisfaire ses objectifs. La fonctionnalité de la représentation lui confère un certain nombre de caractéristiques ([Leplat, 1985], [Bisseret, 1995]) :

- Elle est finalisée, i.e. orientée vers la réalisation d'un objectif. L'interprétation vise autant la caractérisation de la situation que la régulation par l'opérateur de sa propre activité face à cette situation.
- Elle est sélective, i.e. par sélection ou inférence des informations pertinentes pour l'activité la représentation ne retient que ce qui est directement utile à l'action.
- Elle est déformée, i.e. par accentuation des points informatifs les plus importants la représentation effectue une déformation fonctionnelle de la structure du référent externe.
- Elle est dynamique, i.e. elle se modifie en fonction de l'évolution de la situation, des ressources de l'opérateur et des buts poursuivis. De plus, cette construction n'est pas permanente mais circonstancielle selon son utilité pendant l'activité.
- Elle ne renvoie pas à un critère de vérité mais d'adéquation pragmatique situation/activité, ce qui souligne l'individuation de son efficacité et de son efficience.

S'appuyant sur les travaux de l'école soviétique, Bedny & Meister [1999] proposent un modèle de l'activité où l'image opérative et la *Conscience de la Situation* sont associées dans un bloc fonctionnel baptisé "*conditions de la tâche subjectivement pertinentes*". Reflet interne et finalisé de la situation externe, un tel bloc joue un rôle essentiel dans l'attribution de signification et dans l'orientation de l'activité (buts et actions). Au sein de ce bloc la CS serait un construit logico-conceptuel conscient élaboré à partir de l'image opérative dont certains éléments peuvent être également conscients mais sans nécessairement impliquer la pensée conceptuelle⁹. Les auteurs insistent particulièrement sur la dynamique du taux d'échange entre les éléments conscients et pré-conscients : "*la transformation continue de l'information d'un sous-bloc à l'autre génère la transformation des composants conscients à inconscients et vice-versa*". Un tel processus serait sous la dépendance de l'attention et de la volonté, renvoyant ainsi au rôle de la *Conscience de la Situation* dans la gestion de l'activité en environnement dynamique.

⁸ Les citations d'Ochanine sont extraites de la thèse de Bailly [2004] qui propose une revue détaillée des travaux de l'école soviétique.

⁹ On retrouve ici certaines considérations développées dans la revue de questions consacrée au "sujet réflexif", cf. § 4.1.

2.2.6 Le rôle de la *Conscience de la Situation*

La conduite de processus dynamique complexe impose à l'opérateur de réaliser un compromis entre le "comprendre" et le "réussir" : l'opérateur ne dispose pas des ressources internes nécessaires à une compréhension exhaustive, à une réduction totale de l'incertitude de la situation dans le rythme qui s'impose à lui [Valot, 1996]. Bien que permettant la synchronisation activité/situation et dégageant des marges en temps et en ressources attentionnelles, l'automatisation de l'action ne saurait réduire totalement la complexité en situation qui nécessite un engagement intentionnel de l'opérateur pour gérer le compromis imposé par la limitation des ressources. Principalement guidée par les métaconnaissances, la gestion du compromis s'appuie sur des stratégies anticipatrices, synchroniques et réactives qui ont pour objectif de maintenir l'opérateur dans le domaine de ses connaissances et savoir-faire [Amalberti, 1996].

2.2.6.1 *Stratégies anticipatrices*

En répartissant dans le temps les traitements cognitifs, l'anticipation et la planification sont des moyens de réduction de la complexité associée aux environnements dynamiques [Van Daele & Carpinelli, 1996]. L'anticipation consiste à évaluer l'état futur de la situation et des ressources disponibles, à déterminer les actions à entreprendre et à évaluer les résultats possibles de ces actions [Eyrolle et al, 1996]. La planification vise à créer une organisation des buts et actions associées compatible avec les possibilités d'actions de l'opérateur et la satisfaction d'un objectif visé. Le plan est donc une représentation anticipatrice mais qui reste schématique, en ce sens qu'elle ne comporte pas le détail du déroulement de l'action, ce qui lui confère une flexibilité d'adaptation aux conditions réelles qui seront rencontrées [Hoc, 1987].

Les travaux sur les activités d'anticipation et de planification en environnement dynamique modifient la conception classique de l'activité de diagnostic. Tout d'abord, le but du diagnostic n'est pas seulement de comprendre les causes d'un événement mais également d'en prédire les effets sur une situation en constante évolution. A ce titre le diagnostic inclue le pronostic [Hoc & Amalberti, 1994]. Plus profondément, le diagnostic n'est plus considéré comme uniquement réactif et co-occurent à la survenue d'un problème, mais comme visant à maintenir la validité de la planification en simulant les futurs possibles de la situation, en imaginant des conjectures pour tester la robustesse du plan. Dans le cadre des environnements à forte dynamique, la planification et l'anticipation consistent pour l'opérateur à définir, préalablement à l'action, un ensemble d'espaces problèmes "possibles" (envisageables) et "traitables" par une ou des procédures organisées en plans ([Hoc, 1996], [Amalberti, 1996]). Les stratégies anticipatrices ont donc un double objectif de résolution de problèmes par avance et de pré-organisation de l'action pour bénéficier au mieux des compétences. Reprenant les expressions de Weill-Fassina [1993], le "*se représenter en action dans la situation*" va influencer le "*se représenter la situation*" suivant deux axes :

- **Influence sur "*se représenter*".** L'anticipation et la planification vont créer un système d'attente, orientant de façon descendante non seulement l'acquisition d'information mais également l'attribution de signification aux éléments de la situation par pré-activation de cadres d'assimilation. Les stratégies anticipatrices ont pour effet de renforcer l'accessibilité de certaines connaissances ou compétences disponibles et donc d'en favoriser la sélection par un phénomène d'amorçage plus ou moins explicite. Par exemple les heuristiques implicites de sélection de schémas développées par Reason [1993] sont des mécanismes d'évocation qui reposent non seulement sur la ressemblance et

l'occurrence des états situationnels mais également sur la disponibilité (i.e. la présence en mémoire) et sur l'**accessibilité** (i.e. la facilité de recouvrement) des connaissances.

- **Influence sur la "situation"**. Si une partie de la situation est autonome vis-à-vis de l'opérateur, celui-ci peut cependant en contrôler certains éléments par l'intermédiaire de ses actions. La situation est alors **co-déterminée** par le contexte de la tâche et l'opérateur qui va chercher à toujours se placer dans un des espaces problèmes qu'il a préalablement défini et pour lequel il a une ou des procédures applicables (stratégie d'évitement de problème) [Valot, 1996]. Cette co-détermination de la situation se retrouve également dans la notion d'*arena setting* développée dans le champ de la cognition située, avec l'*arena* définie comme la situation "donnée" et le *setting* comme la situation construite par l'activité du sujet [Béguin & Clot, 2004]¹⁰.

En étant "devant l'avion" par le contrôle partiel du contexte et la pré-activation de structures pragmatiques d'assimilation, la *Conscience de la Situation* favorise l'autonomie synchronique de l'activité vis-à-vis de la pensée conceptuelle, condition nécessaire à l'efficacité et à l'efficience de l'activité en environnement dynamique.

2.2.6.2 Stratégies synchroniques

L'assimilation et le contrôle de l'activité sont les mécanismes premiers dans la gestion synchronique de la situation : l'opérateur vérifie que la situation est conforme au système d'attente contenu dans la *Conscience de la Situation* et contrôle certaines étapes clés des procédures associées au schéma pragmatique activé. La profondeur et la largeur de ces activités de surveillance et de contrôle dépendent étroitement du risque accepté par l'opérateur et donc de ses métaconnaissances : les contrôles basés sur des raisonnements formels sont réservés aux situations identifiées comme potentiellement incidentelles ou accidentelles [Amalberti, 1996]. La *Conscience de la Situation* est un guide et le passage à l'action s'appuie sur des schémas procéduraux exécutables avec un contrôle attentionnel réduit. Les opérations sont déclenchées de façon indirecte par la *Conscience de la Situation* et ne sont généralement pas conscientes lors de l'exécution, mais font l'objet d'une supervision. Il y a alors une anticipation implicite des effets attendus et prise de conscience en cas d'incident, c'est-à-dire de déroulement anormal [Richard, 1990]. Cette anticipation implicite est également liée au phénomène d'émergence attentionnelle qui permettrait un contrôle conscient "saltatoire" des étapes de progression vers les objectifs [Amalberti, 1996].

2.2.6.3 Stratégies réactives

Face à une incompréhension, i.e. à des états du réel qui ne pourraient être assimilés par la représentation courante, l'expert ne recherche pas une décision optimale mais poursuit simultanément deux buts : réduction du risque et économie de temps [Cellier et al., 1997], [Orasanu & Fisher, 1997]. Les solutions pour réduire une complexité non anticipée sont assez limitées et la gestion du temps et la gestion du risque sont au centre du choix entre les différentes stratégies possibles :

- Avant action, modifier la représentation de la situation par une activité de diagnostic obéissant au double critère de cohérence et d'opérativité. Cette activité est mobilisatrice de ressources internes (ressources cognitives) et souvent externes (ressources système). Elle peut être incompatible avec les informations disponibles ou avec la synchronisation

¹⁰A noter cependant que la notion d'*arena* de la cognition située semble susceptible d'accueillir un contexte beaucoup plus large que le seul domaine d'action immédiat (historique des interactions, contextes socio-technique et culturel, ...).

activité/processus si la nécessaire accommodation de la représentation s'avère trop profonde.

- Ne rien faire, i.e. attendre que l'évolution de la situation produise des informations pertinentes ou fasse disparaître les perturbations observées (cas d'événements transitoires) [Amalberti, 1996].
- Mener des actions à court terme sur la base de la partie de la représentation jugée encore cohérente, avec souvent un triple objectif : production d'information (action de diagnostic), stabilisation de la situation (action de temporisation) et disparition du problème (action de résolution). Ainsi que le soulignent Orasanu & Fisher [1997], les transformations de la situation associées aux actions de diagnostic ont souvent un double statut : épistémique (produire des informations pertinentes) et pragmatique ("résolution" du problème). Les stratégies de temporisation et de stabilisation ont été également mise en évidence par Senach [1984] dans le cadre des activités des régulateurs de trafic RER qui, en présence d'un incident, ont pour objectif premier d'éviter que la dégradation ne s'accroisse. La stabilisation de la situation peut alors permettre à l'opérateur d'opérer son diagnostic et un réajustement de sa représentation sur un mode diachronique.

2.2.7 Inévitables incomplétudes et limites de la *Conscience de la Situation*

En reprenant et développant certains arguments déjà avancés, ce paragraphe met en évidence certaines incomplétudes et limites fonctionnelles de la *Conscience de la Situation* :

- La dynamique de la situation ou de l'interaction oriente le sujet vers l'action avec une compréhension incomplète.
- La *Conscience de la Situation* est placée à une certaine distance de l'action en cours, i.e. l'interaction sujet/situation est en partie gérée par des mécanismes autres que symboliques ou conceptuels.
- La *Conscience de la Situation* est partiellement distribuée dans l'environnement, en particulier sur (ou dans) les artefacts techniques médiatisant l'interaction sujet / environnement.

2.2.7.1 La compréhension incomplète

Les environnements dynamiques complexes se caractérisent par de nombreuses incertitudes pour l'opérateur, incertitudes qui peuvent être dues à la relative autonomie de la situation, à la non disponibilité d'une information ou encore à l'ambiguïté de l'information disponible [Valot, 1996], [Orasanu & Connolly, 1993]. La construction de la représentation nécessitant un certain recul par rapport à la situation et représentant une certaine mobilisation de ressources internes, les contraintes associées aux environnements dynamiques obligent parfois les opérateurs à mener des actions avec une compréhension incertaine ([Cellier et al., 1997], [Klein, 1993a]).

Cette orientation vers l'action avant structuration de la représentation peut être analysée à deux niveaux antagonistes :

- L'incomplétude résultante peut être considérée comme le symptôme de l'efficacité de l'adaptation de la cognition (notion de suffisance de la compréhension développée par Amalberti [1996]).

- La contrainte temporelle associée à un risque élevé a un rôle de "stresseur cognitif", en fixant l'opérateur sur des connaissances déjà activées ou sur celles qui sont les plus accessibles. Ce "tunnel cognitif", que les pilotes identifient à de la "*viscosité mentale*", a des effets suivant les deux dimensions descriptives de Rasmussen [1986] : suivant la dimension tout/parties, le mécanisme de filtrage est accentué (restriction aux seules informations déjà activées et jugées les plus importantes) et suivant la dimension abstrait/concret, l'opérateur privilégie le niveau d'abstraction le plus orienté vers l'action, même s'il est inefficace [Leplat, 1985].

2.2.7.2 L'autonomie de l'action

Si les différentes approches de la *Conscience de la Situation* sont pratiquement unanimes sur sa modalité explicite, elles identifient également des modalités implicites de l'activité. On constate que la *Conscience de la Situation* est placée à une certaine distance de l'action en cours, i.e. l'interaction sujet/situation est en partie gérée par des mécanismes entretenant des relations ambiguës avec la représentation symbolique ou conceptuelle : perception pré-attentive pour Endsley [1995a], intuition et raisonnement informel pour Klein [1993b], diagnostic sub-symbolique pour Hoc & Amalberti [1994]. Certains auteurs de la communauté aéronautique sont même allés encore plus loin en assimilant l'expertise des pilotes à trois mécanismes : la perception quasi-subliminale, les automatismes et la mémoire implicite [Hartman & Secrist, 1991]. En dehors du champ spécifique des modèles de la CS, ces compétences, connaissances ou modalités implicites renvoient à divers concepts que nous identifierons par la suite sous le thème générique "d'implicite" : les automatismes ([Richard, 1990], [Rasmussen, 1986]), les opérations dans le modèle de Leontiev [1975] (cité par Leplat [1995]), les schèmes sensori-moteurs [Piaget, 1947], la perception directe d'invariants perceptifs spécifiant les affordances [Gibson, 1979], les connaissances procédurales [Richard, 1990], les registres pré-réfléchis [Vermersch, 1978], etc.

Leplat [1995] parle de "*compétences incorporées*" qui, en tant que *compétences*, sont finalisées, apprises, organisées en unités coordonnées et, étant *incorporées*, sont facilement accessibles dans l'activité, difficilement verbalisables, à faible coût pour les ressources internes mais relativement peu flexibles et très dépendantes du contexte. S'il semble acquis que les opérateurs utilisent des connaissances, compétences ou modalités implicites dans la régulation de leur activité, de nombreux auteurs mentionnent le caractère non-binaire de l'articulation sub-symbolique/symbolique, procédural/déclaratif ou inconscient/conscient (en particulier Sébillote [1993] pour les schémas d'action, Discry [1996] pour l'apprentissage implicite, Hoc & Amalberti [1994] pour les automatismes). En effet, les activités pleinement automatiques sont caractérisées par leur rapidité d'exécution, leur caractère irrépressible et involontaire, l'absence de coût attentionnel associés et elles sont considérés comme étant inaccessibles par la conscience. Ces critères sont difficiles à satisfaire et beaucoup de processus dit automatiques sont plus ou moins sensibles aux ressources attentionnelles et plus ou moins contrôlables [Eysenck & Keane, 1990]. Ainsi Richard [1990] réserve le terme de "*processus modulaires*" aux activités irrépressibles et les termes de "*processus d'exécution automatisés*" ou "*opérations*" aux processus automatiques sous le contrôle d'objectifs de haut niveau. Du fait de leur faible flexibilité, l'efficacité des implicites semble alors dépendre d'un encadrement par une représentation symbolique ou conceptuelle pour en contrôler le déclenchement et en surveiller le déroulement [Hoc, 1996].

Le rôle de ces implicites peut être analysé sur deux plans complémentaires :

- **Les implicites sont nécessaires car les ressources cognitives attentionnelles sont limitées.** Ces connaissances sont alors utilisées par l'opérateur comme des ressources

opératives pour gérer le compromis cognitif entre réussir et comprendre. Elles permettent de libérer les "processus supérieurs" et sont ainsi identifiées comme étant des facteurs de réduction de la complexité des situations de travail. C'est en transformant des procédures interprétatives générales en règles et en automatismes que l'opérateur réalise des économies attentionnelles, pouvant ainsi allouer des ressources à la résolution de problème [Hoc, 1996]. Cette interprétation rejoint celle de Leontiev [1975] pour qui les "opérations" sont des moyens, devenus non conscients par apprentissage, de réalisation d'une "action", i.e. d'un processus soumis à un but conscient. Leplat [1995] et bien d'autres auteurs soulignent que plus l'activité est experte, plus une grande partie de la régulation de cette activité est ainsi susceptible d'échapper à la représentation.

- **Les implicites sont nécessaires car l'activité représentative symbolique ou conceptuelle ne peut évoquer totalement l'action ou ne peut gérer les micro-ajustements de l'interaction sujet/environnement.** Cette incapacité de la pensée symbolique, et plus encore de la pensée conceptuelle, peut s'expliquer par une déficience des formes déclaratives à représenter certaines activités ou gestes techniques [Teiger, 1993] ou par un décalage temporel entre le comprendre et le réussir : l'activité synchronique est en anticipation permanente par rapport à sa conceptualisation car le symbolisme, pour signifier, doit nécessairement figer les référents et donc annuler la dynamique [Schwartz Y., 1993]. Pour Rabardel [1993], cette incomplétude de la représentation *"ne serait pas seulement une conséquence d'une élaboration "économique" de la fonctionnalité et de l'opérativité des représentations, mais serait une condition de l'adaptation fine de l'action à la singularité des situations, l'espace dans lequel cette adaptation peut être assurée par d'autres mécanismes"* (pré-réfléchis). Ce dernier point peut être rapproché de l'approche de la planification développée par Suchman [1987] qui contraste l'attitude réflexive (la planification) et l'agir (l'action en cours). L'agir est une action située dont l'organisation émerge des interactions agent/environnement supportées par des routines perception/action. Le plan ne sert pas à guider le détail de l'action mais à assurer la permanence des buts et à placer le sujet dans des conditions lui permettant d'utiliser au mieux ses compétences incorporées pour réguler son action.

Mobilisant peu l'activité représentative, ces implicites sont donc unanimement identifiés comme étant nécessaires à l'activité et leur inscription dans les outils ou interfaces est un enjeu de conception afin de limiter les activités réfléchies. A ce titre, on peut citer les notions de compatibilité des outils cognitifs développée par Rogalski & Samurçay [1993], de transparence opérative avancée par Rabardel [1993] et le concept d'interface écologique proposé par Vicente & Rasmussen [1990].

2.2.7.3 La distribution de la Conscience de la Situation

La *Conscience de la Situation* peut être considérée comme partiellement distribuée dans l'environnement, en particulier sur (ou dans) les artefacts techniques médiatisant l'interaction sujet / environnement¹¹. Cette distribution se décline selon deux principaux thèmes d'étude :

- L'étude des cas d'automatisation poussée avec délégation à la Machine d'une fonction d'interaction avec l'environnement. Ce type d'automatisation pose un certain nombre de problèmes maintenant bien connus : problème du partage de la responsabilité, perte de la compétence de contrôle, charge de travail paradoxalement induite en situation incidentelle, incompréhension du système, etc. [Amalberti, 1997]. L'opérateur étant placé

¹¹ Malgré l'expression un peu facile de "*distribution de la Conscience de la Situation*", nous ne prétendons pas ici prendre partie dans le débat concernant l'éventuelle attribution de la Cognition aux Machines.

en dehors de la boucle de contrôle, l'activité de surveillance et l'attribution de signification pour l'action s'avèrent malaisées et certaines informations peuvent être "délaisées" par phénomène de surconfiance ou de contentement.

- L'étude du rôle fonctionnel joué par les représentations externes, thème d'un des axes de la Cognition Distribuée développée par Hutchins [1995] depuis le début des années 90. Dans ce cadre, les activités cognitives sont envisagées comme la propagation et l'émergence d'états représentationnels au sein d'un système fonctionnel composé d'agents individuels et d'artefacts [Salembier, 1996]. S'attachant plus particulièrement aux fonctions des représentations externes, Zhang & Norman [1994] en identifient plusieurs propriétés¹² :

- Elles peuvent bien sûr constituer des aide-mémoire.
- Elles peuvent fournir une information directement perçue sans interprétation explicite.
- Elles peuvent structurer le comportement cognitif par spécification de l'espace problème de la tâche.
- Elles peuvent faciliter le comportement cognitif par guidage au sein de l'espace problème de la tâche.

Prenant partiellement en charge la fonction d'attribution de signification, les représentations externes apparaissent alors comme des constituants indispensables d'une tâche cognitive distribuée. C'est pourquoi Jeannot et al. [2003] s'interrogent sur la légitimité d'une approche expérimentale de la *Conscience de la Situation* détachée des couplages [représentation interne – représentations externes].

Au-delà des problématiques expérimentales, cette approche de la distribution de la cognition a contribué à populariser la notion d'affordance, prise au sens de "*connaissance dans le monde*" [Leplat, 2005] : voir par exemple les travaux de Norman [1988] particulièrement repris par la communauté HCI - *Human Computer Interaction* – ou encore les travaux plus récents de Noizet & Amalberti [2000] ou de Morineau [2001] en psychologie ergonomique. L'affordance y est le plus souvent assimilée à des propriétés surfaciques devant révéler les fonctionnalités d'un artefact ou à des propriétés perçues jouant parfois le rôle d'un attracteur comportemental déclenchant une action adaptative immédiate. Bien que fonctionnellement d'intérêt pour l'analyste, ces appropriations et interprétations nous semblent toutefois s'éloigner des concepts gibsoniens initiaux et des récents développements entrepris par les chercheurs post-gibsoniens, travaux dont nous essayons de rendre compte dans le paragraphe suivant.

2.3 Le sujet "écologique"

Selon Wagman & Miller [2003], le fondement des théories gibsoniennes est certainement la critique de la "perception helmhotzienne" du début du siècle dernier que Miller [1962] illustre par une saynète humoristique résumée ci-dessous :

*Imaginons que quelqu'un est en train de visiter un laboratoire de psychologie en 1915. Un psychologue l'approche et lui demande ce qu'il voit sur la table :
- Un livre.*

¹² On peut remarquer que ces fonctionnalités ne sont pas "nouvelles" et font écho à bien des travaux antérieurs (à titre d'exemple ceux de Bisseret repris dans [Bisseret, 1995] ou encore ceux de Vicente & Rasmussen [1990]).

- *Oui, naturellement que c'est un livre, mais qu'est-ce que vous voyez en réalité ?*
 - *Je viens de vous dire que je vois un livre, un petit livre avec une couverture rouge.*
 - *Quelle est votre perception réellement ?*
 - *Voulez-vous dire que ce n'est pas un livre ? De quoi s'agit-il, d'un piège ?*
 - *Il n'y a pas de piège. Ce que je veux c'est que vous me décriviez ce que vous voyez exactement, ni plus ni moins.*
- Le visiteur devient très méfiant.*
- *Eh bien, de l'endroit où je me trouve, la couverture du livre ressemble à un parallélogramme rouge foncé.*
 - *Oui, dit le psychologue très content, oui, vous voyez une partie rouge foncée en forme de parallélogramme. Et quoi d'autre ?*
 - *Au dessous je vois la table.*
- Le psychologue sursaute ...*

En fait Gibson non seulement critique la pertinence de ces niveaux de description mais récuse également les processus inférentiels comme nécessaires facteurs explicatifs de la perception et des comportements. En effet, une description de l'environnement par les seuls paramètres "de bas niveau" issus de la physique classique (e.g. la décomposition de la lumière en termes énergétiques d'intensité et de longueur d'onde) nécessite de faire appel à de nombreux facteurs endogènes hypothétiques (i.e. les processus mentaux de traitement de l'information) pour expliquer les comportements observés. En opposition, Gibson affirme que l'information est "au monde" et qu'elle peut être directement saisie par des invariants perceptifs. Le reproche est donc celui d'une asymétrie de niveaux d'abstraction entre la description de l'environnement et la description du comportement adaptif au sein de cet environnement. Cité par Gibson [1979] et formalisé par Lee [1980], un exemple emblématique de cette approche est l'estimation du temps de contact avec une cible. Lee [1976] a montré qu'une telle estimation ne nécessite pas le "calcul cognitif" [*Distance / Vitesse*] mais peut être spécifiée par une variable optique baptisée Tau (τ), directement disponible dans le flux optique par l'inverse de la variation temporelle relative de la taille angulaire de la cible¹³ :

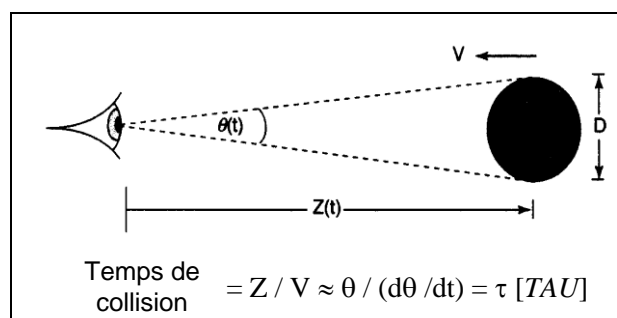


Figure 11 – Temps de collision et variable optique TAU (adapté de [Tresilian, 1999])

La variable Tau peut être qualifiée d'*invariant* car elle révèle directement un paramètre de "haut niveau" (le temps de collision) correspondant à des combinaisons de paramètres de

¹³ Dans son roman de science-fiction "*The Black Cloud*" publié en 1957, l'astrophysicien Fred Hoyle propose une première formalisation de cette expansion optique : il décrit un nuage noir se dirigeant vers la terre dont l'angle solide sous-tendu à la surface augmente alors que son centre reste parfaitement dans la même direction. Les scientifiques utilisent alors le rapport entre cet angle et son taux de variation temporelle afin de déterminer le temps restant avant la collision.

"bas niveau" (distance et vitesses de la cible et du sujet). Cet invariant perceptif peut, selon les sujets et le contexte, spécifier une affordance de saisie ou d'évitement.

Le programme gibsonien va alors consister à construire les outils théoriques nécessaires à une description du couplage sujet / environnement, en différenciant de plus en plus la notion d'affordance de la notion d'invariants perceptifs (en particulier dans son dernier ouvrage, [Gibson, 1979]).

Rappelons qu'une affordance peut être définie minimalement comme ***une potentialité d'interaction présente dans l'environnement pour un organisme donné***. Elle est relative à un sujet (i.e. "l'offrande" est pour un sujet donné) et Gibson [1979] en fournit de nombreux exemples : *l'air "offre" la respiration et la perception acoustique, l'eau "offre" boire, laver et se baigner, certaines substances "offrent" la nutrition, le feu "offre" brûler ou se réchauffer, une grande surface rigide horizontale "offre" la marche, un objet rigide avec un côté anguleux aiguisé "offre" découper, un escalier "offre" monter ou descendre, un serpent "offre" le danger, etc.*¹⁴

L'organisation globale du couplage adaptatif est décrite par la notion de *niche écologique*, structure fonctionnelle au sein de laquelle il nous semble possible de distinguer deux types d'imbrication des affordances : des imbrications "verticales" (*l'air "offre" la respiration qui contribue à "l'offre" de locomotion, etc.*) et des imbrications "horizontales" (*le prédateur "offre" à la proie l'occasion d'être mangée et le buisson "offre" à la proie l'occasion de se cacher, etc.*).

Deux propriétés des affordances "gibsoniennes" sont particulièrement à souligner :

- L'affordance est un descripteur fonctionnel et son existence ne dépend pas de la "perception" ou de la "conscience" que peut en avoir le sujet ([Gibson, 1979], [Michaels, 2003]). Cette propriété est en fait affirmée depuis le concept initial de *champ de déplacement sûr* qui *"existe objectivement comme le champ dans lequel la voiture peut se déplacer sans risque, que le conducteur en soit conscient ou pas"* [Gibson & Crooks, 1938]¹⁵.

La confusion souvent rencontrée en dehors du champ de la psychologie écologique entre *affordance* et *perception d'une affordance* provient sans doute de la popularité des travaux de Norman [1988] qui identifie l'affordance à des propriétés perçues, voire interprétées [Flach, 1995b]. Par la suite, Norman tentera de distinguer des "*affordances réelles*" et des "*affordances perçues*", sans pour autant clairement séparer l'affordance des propriétés surfaciques (les "*affordances réelles*" de Norman se référant aux moyens physiques d'interaction et non pas à l'interaction en elle-même, [McGrenere & Ho, 2000]).

- L'affordance est elle-même un invariant, non pas du fait des invariants perceptifs qui la spécifient éventuellement, mais du fait de son indépendance par rapport à un éventuel besoin exprimé par un sujet [Gibson, 1979].

Contrairement à la notion de valence de la psychologie de la Gestalt, une affordance pré-existe donc à la perception ou au besoin du sujet [Gibson, 1979]. Si la réalité des affordances ne dépend pas du fait que l'organisme les reconnaisse ou non, la plupart sont par contre spatio-temporellement situées, i.e. leur existence émerge de configuration

¹⁴ Pour tous ces exemples tirés de Gibson [1979], nous aurions dû bien sûr rappeler à qui l'affordance est relative.

¹⁵ Les limites du *champ de déplacement sûr* dépendent bien sûr des compétences du sujet et l'activité du sujet dépend en fait du champ *subjectif* construit à partir des obstacles imaginés ou effectivement perçus [Gibson & Crooks, 1938].

situationnelles sujet – environnement (e.g. *une falaise "offre" l'escalade à celui qui est en bas mais la chute à celui qui est en haut* [Panaccio, 2005]).

L'affordance apparaît donc comme un invariant fonctionnel qui spécifie une potentialité d'interaction entre un "organisme" et son environnement et qui, dans le cadre de la théorie de la perception directe, est spécifié par des invariants perceptifs. L'affordance est une potentialité spatio-temporellement située qui ne porte pas en elle-même son actualisation.

Les débats actuels au sein même de la communauté des chercheurs en psychologie écologique permettent d'apporter plusieurs précisions à cette définition :

- **La nature et le niveau d'abstraction de l'interaction potentielle spécifiée.** Dans le livre de Gibson [1979], le spectre des affordances est relativement large et semble recouvrir l'ensemble des interactions à valeur adaptative (positive ou négative) pour un organisme donné. Chez les psychologues post-gibsoniens, il semble exister un consensus quant à la restriction au seul comportement finalisé ("*goal-directed behavior*", qui inclut les non-actions) mais avec certains avis très conservateurs qui n'associent le terme d'affordance qu'aux seules actions comprenant un mouvement guidé par des invariants perceptifs ([Michaels, 2003] par exemple) et d'autres points de vue beaucoup plus libéraux qui englobent l'ensemble des actions adaptatives possibles ([Stoffregen, 2004] par exemple). Notons que dans tous les cas, l'affordance ne spécifie pas le détail de l'action mais est susceptible d'adaptation selon les paramètres contextuels lors de son actualisation [Shaw cité par Michaels, 2003].

Bien que nous soyons plutôt en phase avec le point de vue libéral, il nous semble que ces prises de positions ne rendent pas compte des actions de l'environnement sur le sujet (*le serpent "offre" le danger, le prédateur "offre" à la proie l'occasion d'être mangée, etc.*). En conséquence nous préférons le terme "interaction" à celui d'action qui nous apparaît trop restrictif par rapport au concept initialement décrit par Gibson [1979]¹⁶.

- **Où se trouve l'affordance : dans l'environnement, dans le couplage ou dans la tête ?** Situer l'affordance "dans la tête" (i.e. en tant qu'interprétation symbolique) est une hérésie dont seuls des cognitivistes traditionalistes sont capables (par exemple [Fodor & Pylyshyn, 1981], [Vera & Simon, 1993]). Au sein de la communauté des chercheurs en psychologie écologique, le choix ne peut être qu'entre l'environnement et le couplage :
 - La position dominante est celle de l'environnement, i.e. l'affordance est une propriété de l'environnement définie en relatif par rapport à une caractéristique d'un organisme. La nature de la réciprocité environnement / organisme fait cependant débat : pour certains tenants de l'approche réduite aux affordances "sensorimotrices" une affordance doit être définie relativement à des capacités de type structurel (stature, poids, ...) alors que d'autres chercheurs recourent à la notion d'*effectivité* qui se réfère plus aux notions de capacités ou d'habiletés [Shaw et al., 1995]. Cette différence de point de vue peut être illustrée à partir d'une affordance très "sensorimotrice": la "montabilité" d'un escalier. Alors que Warren [1984] associe cette affordance au simple rapport entre la hauteur des marches et certaines caractéristiques anthropométriques du sujet, Chemero [2003] met en avant une notion plus globale de "capacité à monter" qui permettrait de distinguer des individus de stature égale (jeunes adultes vs personnes âgées par exemple). Le choix n'est donc pas neutre vis-à-

¹⁶ Nous aurions pu également proposer de distinguer des affordances "afférentes" (actions de l'environnement sur le sujet) et des affordances "efférentes" (actions finalisées du sujet sur l'environnement), ces affordances se répondant mutuellement au sein de la niche écologique du sujet.

vis de la notion de compétence que pourrait accommoder l'effectivité suivant la nature des affordances considérées.

- Stoffregen [2003] et Chemero [2003] reprochent à cette définition de ne pas rendre assez explicite la nature duale de l'affordance et de considérer les caractéristiques de l'environnement et du sujet comme des prédispositions dont la rencontre conduirait inéluctablement à l'actualisation de l'affordance. Devant la multiplicité des affordances non actualisées, ces auteurs préfèrent définir une affordance comme une relation fonctionnelle entre l'environnement et l'organisme (vu sous l'angle de ses effectivités, i.e. de ses capacités). Concernant l'actualisation Stoffregen met en avant une "*fonction psychologique de choix*", fonction largement sous-spécifiée de l'avis même de l'auteur ("*je ne sais pas d'où viennent les intentions et je ne sais pas comment s'opère le choix entre intentions*") et Chemero se réfère à la notion de niche écologique qui induirait des actualisations en chaîne selon les besoins du sujet et les événements de l'environnement.

Dans le cadre de nos travaux nous adopterons le point de vue dominant (i.e. *l'affordance est une propriété de l'environnement relative à*), tout en actant l'insuffisance théorique, i.e. l'actualisation d'une affordance ne peut être déterminée par la seule rencontre avec sa contrepartie (i.e. *l'effectivité*).

- **Affordances et outils.** En cohérence des affordances identifiées comme propriétés de l'environnement, Shaw et al. [1995] proposent une vue duale dans le cas des activités médiatisées par des outils :
 - *L'outil-objet* considéré comme un élément de l'environnement et qui peut posséder ses propres affordances d'utilisation.
 - *L'outil-fonction* considéré comme une extension structurelle et/ou fonctionnelle du sujet et qui contribue au répertoire des effectivités du sujet lors des interactions du couple [Homme+Machine] avec son environnement.

Nous retiendrons bien sûr cette proposition qui n'est pas sans rappeler la perspective instrumentale développée par Rabardel [1995] au travers des notions d'usage et d'action instrumentée. A ces points de vue, il convient cependant de rajouter *l'outil-représentation*, i.e. l'outil considéré comme une extension représentationnelle de l'environnement et pouvant à ce titre représenter les affordances du domaine d'action (thème central de l'approche des interfaces dites écologiques [Vicente, 1999]).

En synthèse, nous proposons d'adopter la définition suivante :

Une affordance est une propriété de l'environnement qui spécifie une potentialité d'interaction pour un sujet doté de certaines effectivités (i.e. de caractéristiques structurelles et de capacités fonctionnelles).

Avec les précisions suivantes :

- C'est un invariant fonctionnel qui pointe un répertoire d'interactions possibles indépendamment de l'immédiateté du besoin ou de la perception du sujet.
- Cet invariant est spatio-temporellement situé, i.e. il émerge de configurations situationnelles sujet - environnement.

- **Les outils éventuellement mobilisés par le sujet peuvent posséder le triple statut d'élément de l'environnement, d'extension structuro-fonctionnelle du sujet et d'extension représentationnelle de l'environnement.**
- **Dans le cadre de la théorie de la perception directe, une affordance est spécifiée au sujet au travers d'invariants perceptifs contenus notamment dans le flux optique.¹⁷**
- **L'actualisation d'une affordance dépend de paramètres contextuels et des intentions du sujet, intentions largement sous-spécifiées par cette seule approche.**

Telle qu'exposée ci-dessus, la notion d'affordance semble pertinente pour rendre compte de l'organisation fonctionnelle du domaine d'action, bien que l'organisation interne du sujet et ses intentions en soient absentes.

¹⁷ Cette structuration informationnelle peut être étendue aux autres "flux énergétiques", en particulier au flux auditif.

3 RETOUR SUR LES MODELES CADRE

3.1 Le modèle linéaire

Avant toute chose, il convient de souligner l'influence déterminante du modèle de Mica Endsley qui a inscrit le concept de la *Conscience de la Situation* sur l'agenda de la recherche internationale et qui reste LE modèle de référence dans la communauté élargie de la psychologie aéronautique. Cette popularité encore actuelle provient sans doute de l'évidente simplicité et de l'apparente rationalité de tout modèle linéaire ([Amalberti, 1996], [Hollnagel, 1998]). Cette force didactique en fait sa faiblesse théorique et de nombreuses critiques sont apparues au fil des ans dans la communauté plus restreinte des chercheurs en psychologie et en ergonomie cognitive (voir en particulier [Rousseau et al., 2004] et [Bryant et al., 2004]). Le "pêché originel" de ce modèle est sans doute de considérer les activités cognitives comme des étapes sérielles et non des fonctions, ce qui le prive de tout recours à un système de contrôle permettant d'expliquer l'adaptation cognitive à la dynamique des situations. Il n'y a donc aucun jeu possible entre "réussir" et "comprendre" et la mise en œuvre du modèle implique une discrétisation du temps entre deux boucles Perception-Compréhension-Décision-Action.

Bien sûr le trait est ici un peu forcé et, en étant au centre des débats, Endsley a fait évoluer son discours théorique en fonction des avancées des autres chercheurs mais nous pensons que l'essence du modèle proposé se retrouve dans la méthode expérimentale qui lui est associée. Rappelons que cette méthode SAGAT relève d'une approche normative où la CS, en tant qu'état instantané de connaissances "de premier ordre" sur le monde, doit être la plus précise et complète possible, au pire par rapport à un référentiel absolu (objectivisme fort), au mieux par rapport à un référentiel constitué de l'agrégat d'expertises issues d'analyse de la tâche (objectivisme intersubjectif). En conclusion d'un ouvrage récent assez critique vis-à-vis de son modèle, Endsley [2004] précise que la scientificité de sa démarche repose sur l'évaluation dite objective et quantifiée de la CS indépendamment des modèles descriptifs et explicatifs des processus mentaux tirés des études de terrain. Loin d'être un simple corrélat du modèle, la méthode SAGAT en révèle donc les principes fondateurs.

Bien qu'actées par Endsley, les conséquences conjointes de la finalisation et de la pression temporelles sont donc plus vues comme des "impuretés" que comme les moteurs essentiels de la cognition en environnement dynamique. Sur la base de ces constats, le modèle linéaire nous apparaît alors comme un modèle de la cognition statique à la pertinence limitée dans le cadre des études centrées sur l'adaptation aux environnements dynamiques.

3.2 Le modèle décisionnel

Le courant NDM a réellement provoqué un renouveau des études nord-américaines en psychologie cognitive. Visant à obtenir des modèles plus descriptifs que normatifs, ces chercheurs privilégient les études sur le terrain et mettent l'accent sur les "*méthodes de capture de processus*" qui, ainsi que le soulignent Moray [1997] et Theureau [1997], s'apparentent aux méthodes de l'ergonomie centrée sur l'activité (analyse de protocoles comportementaux, verbalisations simultanées et autoconfrontatives, enregistrements vidéo, etc.). Par contre, il est étonnant que cette approche fasse du passé table rase et se réfère peu aux travaux anglo-saxons antérieurs sur le sujet (nous pensons en particulier aux travaux de

Rouse [1983] ou de Reason [1993]). Seule la classification SRK de Rasmussen [1986] est explicitement référencée, les trois modes du modèle RPD de Klein pouvant s'apparenter aux modes SRK.

Le modèle RPD "résonne" avec beaucoup de point soulevés lors de la revue de question : finalisation, compréhension suffisante ou sub-optimale, modèle d'expertise, registre pré-réfléchi, ... mais l'importance accordée à la modalité implicite de la fonction de reconnaissance nous semble être délicate dans le cadre d'un modèle réactif. En effet, devant la multiplicité des significations possibles de l'environnement, le principal problème que rencontre l'approche décisionnelle est "*la prise en compte de la signification dans la saillance perceptive*" [Dubois et al., 1993] et le recours à l'intuition ou au "*coup d'œil*" de l'expert est ici peu explicatif. Nous pensons que ceci renvoie à la position intentionnelle qu'assume l'opérateur vis-à-vis de la situation, position qui lui permet de faire des choix (conscients ou inconscients) parmi les interprétations possibles. Dans le cadre des environnements dynamiques complexes, cette intentionnalité peut difficilement s'expliquer en dehors d'une fonction anticipatrice et l'on peut même remettre en cause partiellement la notion de "problème" en l'absence d'une représentation pré-existante.

Au bilan, ce modèle nous paraît pouvoir être "englobé" par le modèle de la régulation tout en soulignant deux points plus spécifiques : l'importance attachée à la simulation mentale de l'action et le contenu du produit de l'évaluation de la situation (indices pertinents, buts, actions, attentes).

3.3 Le modèle de la régulation

Au cours de ces dernières années, le modèle de gestion des situations dynamiques a subi de nombreuses évolutions, principalement suite aux travaux de Raufaste [1999] sur la structure du modèle, à ceux de Noizet & Amalberti [2000] sur les activités routinières et suite aux développements de Hoc & Amalberti [2003] puis Hoc et al. [2004] sur le contrôle métacognitif.

Raufaste [1999] propose deux modifications reprises et adaptées par Amalberti [2001] :

- Les trois niveaux du modèle sont intégrés dans une base de connaissances partiellement activée au niveau conscient et partiellement mobilisée au niveau inconscient par une activation sous contrôle de la représentation occurrente. Dans le schéma d'Amalberti [2001], les trois boucles temporelles de la régulation sont alors explicitement associées aux niveaux SRK du modèle de Rasmussen [1986], ce qui correspond à une projection du modèle selon la diagonale de la matrice [*Mode de Cognition – Objet de l'activité*] présentée au § 3.2.3.
- Au modèle initial est rajouté un superviseur attentionnel capable de redistribuer l'activation courante dans la base de connaissances. Par le biais d'un double processus de surveillance et contrôle, ce superviseur permet de gérer la distribution de l'activité sur les différents modes de cognition (SRK) ainsi que de moduler la pondération des informations en provenance de l'environnement. Ce dernier point est particulièrement soulevé par les travaux de Noizet (cf. [Amalberti & Noizet, 2000]) qui recourt à la notion d'affordance pour décrire la régulation de l'activité routinière selon deux boucles de contrôle : les boucles *perception-action* permettent le déclenchement automatique de l'action appropriée et les boucles *perception-contrôle* correspondent au renfort de contrôle attentionnel déclenché par les risques perçus de la face externe de la situation.

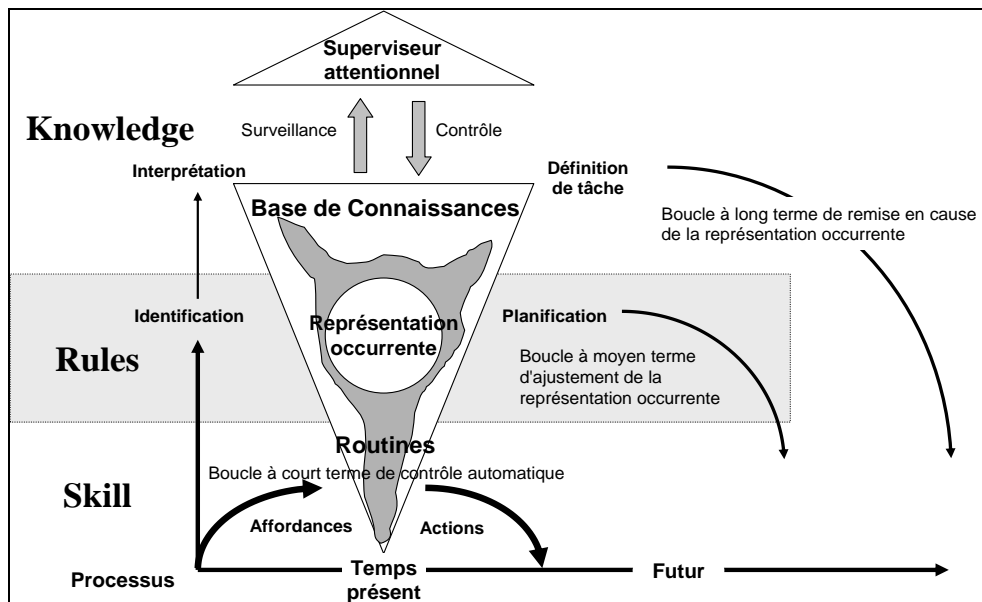


Figure 13 – Architecture cognitive de contrôle dynamique (selon [Raufaste, 1999], [Noizet & Amalberti, 2000] et [Amalberti, 2001]). La partie grisée de la base de connaissances est mobilisée au niveau inconscient, sous contrôle de la représentation occurrente.

Les auteurs fondateurs du modèle ont alors développé cette notion de superviseur par l'adjonction d'un modèle de contrôle métacognitif qui se déploie selon deux dimensions ([Hoc & Amalberti, 2003] puis [Hoc et al., 2004]) : le niveau d'abstraction du contrôle (sub-symbolique vs symbolique) et l'origine des données du contrôle (externe vs interne). Quatre modalités de contrôle sont alors définies par le croisement de ces deux axes :

Abstraction vs Origine des données	Données dans l'environnement : référence externe (activités réactives)	Données mentales : référence interne (activités anticipatives)
Données symboliques (activités symb.)	<i>Contrôle symbolique externe</i> (ex : suivi de consignes écrites lors de résolution de problème)	<i>Contrôle symbolique interne</i> (ex : résolution de problème avec guidage externe minimal)
Données sub-symboliques (routines)	<i>Contrôle sub-symbolique externe</i> (ex : guidage des routines par éléments "affordants" de l'environnement)	<i>Contrôle sub-symbolique interne</i> (ex : habiletés sensorimotrices intériorisées avec guidage externe minimal, calcul mental)

Les taux d'échange entre ces modalités sont assurés par deux mécanismes de "reconfiguration" du système cognitif : la supervision et l'émergence [Hoc et al., 2004]. Basée sur les modalités symboliques, la supervision encadre l'exécution des routines. Basée sur les modalités sub-symboliques, l'émergence transpose des informations au niveau symbolique au-delà d'un certain seuil d'activation des modalités de contrôle sub-symboliques. Le contrôle métacognitif distribue le contrôle entre ces différentes modalités suivant une estimation des risques et des coûts cognitifs associés.

Si certaines des évolutions exposées ci-dessus sont cohérentes avec des points déjà soulevés lors du rapprochement effectué entre la *Conscience de la Situation* et la représentation fonctionnelle (en particulier les taux d'échange entre les sous-blocs Image Opérative et CS du modèle de Bedny et Meister [1999], cf. § 3.2.5), la séparation proposée entre données externes et données internes nous paraît plus ouverte à discussion :

- Tout d'abord, en évidence convenue, les "données de l'environnement" ne sont pas absentes des "données mentales" puisqu'elles y sont représentées (cf. la discussion des postulats du représentationnalisme du chapitre précédent). Ensuite, associer la référence

externe aux seules activités réactives nous semble discutable car les données de l'environnement peuvent non seulement guider l'activité synchronique (sans que l'opérateur soit nécessairement passé "derrière" la situation) mais peuvent également intégrer des valeurs d'anticipation prises en compte par le couple [Homme + Machine], par application des principes de la Cognition Distribuée ou des interfaces dites écologiques. De manière plus générale, on peut également regretter que le modèle, ou du moins sa représentation graphique de la figure I-13, n'immerge pas plus le sujet dans son environnement, i.e. le seul point de contact "concret" semble être celui de la synchronisation avec le temps présent du processus externe. Or l'ensemble des registres de l'activité et donc des boucles de régulation est susceptible d'interaction avec des artefacts et/ou des agents individuels (voire collectifs)¹⁸.

- L'utilisation de la notion d'affordance est ici quelque peu ambiguë. Amalberti & Noizet [2000] l'associent au "*phénomène de perception directe de la valeur pour l'action d'un objet de l'environnement*" et par corollaire "*aux structures invariantes de l'espace visuel*". Ce glissement de l'*affordance* vers la *perception d'une affordance* est confirmé lorsque Hoc & Amalberti [2003] l'identifient à "*des invites à l'action sans médiatisation par la représentation symbolique*" et aux signaux du niveau des habiletés du modèle SRK de Rasmussen [1986]. Bien que moins affirmé, un autre glissement semble s'opérer de la *perception d'une affordance* à une *affordance perçue* lorsque Amalberti [2001] s'appuie sur les travaux de Norman [1988] et parle de "*contraintes perçues ou imaginées*" (qui constituent le champ subjectif de déplacement sûr selon les termes de Gibson & Crooks [1938]). Les auteurs semblent donc plus faire référence à des jugements d'affordance (ou aux valences de la Gestalt) qu'à des affordances réellement gibsoniennes.

Au bilan, le modèle semble révéler bien plus d'*environnement* dans le *mental* et de *mental* dans l'*environnement* que ne le laisse supposer la séparation affirmée entre l'*interne* et l'*externe*.

3.4 Le modèle néo-écologique

L'approche centrée sur les contraintes (externes) a pour objectif de favoriser l'émergence de l'adaptation en disposant dans l'environnement des signaux révélant les affordances sûres et efficaces. Comportant une forte dimension d'ingénierie, ce modèle est ontologiquement très différent des trois autres et on éprouve le sentiment d'une "perte du sujet" sur plusieurs plans :

- Tout d'abord, notons que le modèle cherche avant tout à formaliser des contraintes significatives pour l'action mais que les affordances sont à rechercher dans le rapport spatio-temporellement situé entre le sujet et ce champ de contraintes.
- Ensuite, de telles affordances ne peuvent être définies qu'en relation avec le (ou les) objectif(s) que se fixe l'opérateur¹⁹. Or cette notion d'intention est une problématique qui

¹⁸ A noter que les auteurs, sur la base de cette architecture multi-niveaux, ont également développé un modèle de la coopération Homme-Homme qu'ils proposent d'étendre à la coopération Homme-Machine [Hoc, 1998]. Une interprétation possible serait alors d'opérer un changement de système d'analyse en considérant que le modèle du sujet s'applique aussi bien à un sujet individuel qu'à un sujet "collectif", les modèles de la coopération venant par la suite détailler les échanges entre les agents composant un tel sujet multiple.

¹⁹ On peut soulever ce point dès l'article séminal de Gibson & Crooks [1938] puisque le "*champ de déplacement sûr*" est situé à l'avant du véhicule, ce qui suppose implicitement que le conducteur désire aller tout droit. On peut également remarquer que les applications les plus formelles de cette approche (la nouvelle robotique à base de champs de potentiels) se trouve confrontée au problème des *situations conflictuelles* déjà identifié par K. Lewin : le robot se trouve

semble encore irrésolue dans le champ de la psychologie écologique et nous doutons que des objectifs trop généraux permettent d'identifier les signaux pertinents de l'environnement dans le cadre des systèmes complexes : *"Dans le monde des animaux, nous pouvons être assez précis quant à l'information de l'environnement qui est requise pour guider l'activité, car nous pouvons nous référer à leurs exigences pour la survie et la reproduction. Pour l'homme, nous ne pouvons raisonner de la même façon, sauf pour des nécessités simples comme éviter les falaises, marcher tout droit, esquiver ou attraper des objets en l'air."* [Bruce & Green, 1993]. Ce point est d'autant plus incontournable que la variabilité de stratégies et de tâches effectives entre experts a été démontrée par de nombreuses études (par exemple [Visser & Falzon, 1992], [Bisseret et al., 1988]) et que les objectifs vont dépendre du style de contrôle cognitif adopté et donc également des variations de contexte.

- Enfin, par extension des affordances "naturelles", le modèle des contraintes vise à définir des affordances à partir des effectivités du couple (Homme+Machine), la Machine étant considérée comme une extension fonctionnelle de l'Homme. Or, de telles effectivités ne dépendent pas seulement des potentialités techniques de la Machine mais également des savoirs et savoir-faire de l'Homme. En conséquence, ainsi que l'avait souligné Grant [1995], quand bien même le champ des actions structurellement²⁰ sûres pourrait être décrit, un tel champ contiendrait pour un individu donné des "îlots de contrôlabilité" associés à ses compétences. La sortie de l'un de ces îlots peut alors induire une dynamique non récupérable de franchissement des frontières de l'espace de la tâche qualifié de sûr.

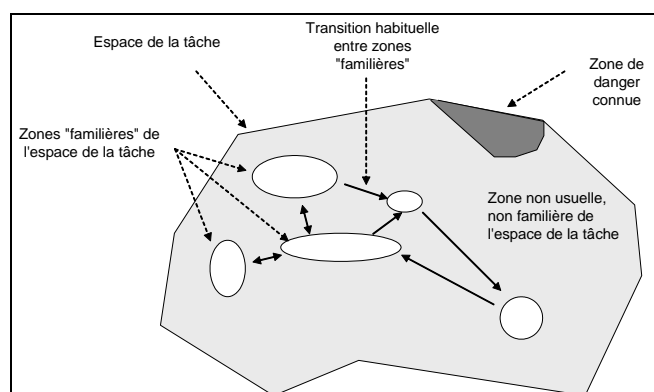


Figure 14 - Zones de l'espace de tâche (adapté de [Grant, 1995])

Cette analyse rejoint celle d'Amalberti [1996] pour qui l'automatisation et certains systèmes d'aide technocentrés peuvent exposer le sujet à travailler à un niveau artificiel de performance où ses propres mécanismes internes de sécurité sont dépassés, provoquant ainsi une augmentation du risque d'erreurs non détectées et non récupérées.

Il apparaît donc que le modèle des contraintes ne peut faire l'économie d'un modèle de l'activité et d'un modèle des compétences [Morineau & Parenthoën, 2003]. Bien sûr, là encore le trait est forcé, et cette approche se réfère au modèle de l'architecture cognitive de

piégé entre attracteurs positifs et négatifs de l'environnement et alors s'immobilise [Sigaud & Flacher, 2002]. La "des-immobilisation" du robot passe alors par la création artificielle d'instabilité locale de potentiel (ce que pourrait apporter "naturellement" un environnement dynamique) ou par une heuristique de création temporaire d'objectif créant une valence positive d'attraction.

²⁰ Pris au sens piagétien de l'ensemble des possibles en opposition au "matériellement possible" définie comme le champ des possibles du point de vue du sujet [Dolle, 1997].

Rasmussen (échelle de décision et modèle SRK) mais cette référence n'est pas sans poser problème :

- Tout d'abord, les modèles de Rasmussen - ou les interprétations qui en sont données dans la littérature (que conteste par ailleurs Vicente [1999]) - présentent certaines caractéristiques peu adaptées à la cognition en environnement dynamique : principalement la nature réactive de l'échelle de décision et l'exclusivité des modes SRK déjà discutée au § 3.2.3.
- Ensuite, la référence est le plus souvent en "deuxième rideau" : la quasi-totalité des cas d'application de la méthode de Vicente [1999] que nous avons consultés la restreignent à la première étape – *Analyse du Domaine de Travail* - dont l'activité du sujet est absente (voir [Chalmers et al., 2000] ou [Sanderson, 2003] par exemple).

3.5 Synthèse

En synthèse, nous sommes confrontés à deux points de vue ontologiquement différents pour l'étude de la situation vue comme un système dual opérateur-tâche :

- La *Conscience de la Situation* "**vue du sujet**" :

Bien que notre approche de la *Conscience de la Situation* définisse celle-ci comme le "produit" d'une activité d'interprétation, le cadre des représentations fonctionnelles nous démarque clairement de l'approche anglo-saxonne dominante : la *Conscience de la Situation* n'est pas une propriété générale de la situation mais une construction dynamique personnalisée. La revue de questions a permis de mettre en évidence que la situation ne préexiste pas totalement pas à l'opérateur mais qu'elle est en fait de nature duale : elle est co-déterminée par la tâche (contexte, objectifs prescrits, outils) et par l'opérateur (objectifs effectifs, intentions, connaissances, savoir-faire, ressources). L'opérateur tend à déterminer le champ des possibles auquel il est confronté en réduisant le champ structuralement possible (situation externe aux combinaisons quasi-infinies) au champ matériellement possible (situation intériorisée que l'opérateur estime pouvoir contrôler). L'activité de compréhension d'une situation est donc conjointement déterminée par les données du contexte et les objectifs, compétences, ressources et possibilités d'action de l'opérateur : le produit et le processus se co-déterminent et la *Conscience de la Situation* ne peut s'envisager en dehors des processus qui la sous-tendent. Dans cette perspective, la *Conscience de la Situation* ne renvoie pas à un critère de vérité (i.e. il n'existe pas de "bonne *Conscience de la Situation*") mais à un critère d'adéquation pragmatique situation/activité, ce qui souligne l'**individuation** de son efficacité et de son efficience

- La *Conscience de la Situation* "**vue de l'environnement**" :

La "vue de l'environnement" renverse la perspective : quelle que soit l'activité représentationnelle du sujet, l'approche néo-écologique cherche à spécifier un espace problème de la tâche au sein duquel les trajectoires comportementales respectent des contraintes de performance et/ou de sécurité. Cette approche n'est pas réellement une prescription de la tâche car elle ne cherche pas à régler l'activité suivant des procédures mais à encadrer le comportement adaptatif par la formalisation des contraintes significatives pour l'action. **Son objet principal n'est donc pas tant la situation que les interactions possibles en situation.** Reste à l'opérateur en situation de se situer dans ce champ de contraintes explicitées et alors de "saisir les affordances" (i.e. les possibilités d'interaction) qui lui sont ainsi "offertes". Dans le cadre des environnements dynamiques, en particulier dans la conduite de mobiles, cette approche s'attache particulièrement à la

représentation fonctionnelle des lois de la physique sous-tendant les interactions (niveau des *fonctions abstraites* d'une situation).

La différence entre ces deux points de vue peut s'illustrer concrètement en contrastant deux types d'analyse de la notion de « temps de collision ».

De nombreuses situations de la vie quotidienne nécessitent la gestion de contact physique avec l'environnement ou l'évitement de collision avec des objets en mouvements : conduire un véhicule au milieu du trafic, traverser une rue, attraper une balle, etc. Ces activités nécessitent de synchroniser nos actions par rapport à un moment précis, ce dernier pouvant être le moment du contact entre nous et un objet soit pour l'éviter (éviter une collision), soit pour atteindre une position précise de l'espace (comme dans le saut en longueur par exemple), ou bien encore le moment où l'on pourra intercepter un objet (frappe de balle par exemple) [Prevost, 2002].

La psychologie écologique s'est particulièrement intéressée à ces situations afin de déterminer les invariants perceptifs permettant un couplage perception-action efficace pour la planification et la synchronisation des mouvements. En s'appuyant notamment sur le facteur perceptif *Tau*, déjà présenté dans la première partie de nos travaux, D.N. Lee et ses collègues ont montré l'implication du flux optique dans la régulation de l'action pour un certain nombre d'activités d'évitement d'obstacle ou d'interception de mobile, aussi bien en cognition animale qu'en cognition humaine : le plongeon du fou de Bassan (qui doit replier ses ailes avant le contact avec l'eau), le freinage en conduite automobile, la frappe de balle, la locomotion, le saut en longueur, etc. (voir [Bruce & Green, 1993] pour une revue assez exhaustive). Repris par l'ingénierie, le facteur *Tau* a maintenant des applications assez diverses telles que le développement d'aide au pilotage d'hélicoptère [Padfield et al., 2001] et la robotique mobile [Duchon et al., 1998].

Bien que de nombreux travaux remettent en cause le facteur *Tau* comme unique variable utilisée pour l'estimation du temps de contact, l'importance du temps à la cible est affirmée comme facteur de régulation de l'action au niveau perceptivo-gestuel de l'activité (voir [Cavallo, 1989], [Tresilian, 1999], [Benguigui, 2001] ou encore [Prevost, 2002]).

A un niveau d'une cognition plus "tactique", en particulier dans le cadre des activités médiatisées par des systèmes complexes, deux études ont particulièrement retenu notre attention :

Issue du courant de la psychologie néo-écologique, l'étude de Smith & Hancock [1995] (reprise et détaillée dans [Smith et al., 1997]) porte sur les stratégies qu'adoptent les pilotes afin de gérer la séparation entre avions dans le cas d'un espace aérien non contrôlé (i.e. en l'absence de contrôle aérien au sol). Cette étude a été réalisée avec 10 pilotes de lignes sur simulateur de Boeing 757. Sur la base d'un plan de vol pré-programmé, chaque pilote était confronté à 12 scénarios comportant de 6 à 16 autres avions pouvant générer pour certains des situations de conflit. Les pilotes devaient alors ajuster leurs paramètres de vol afin de maintenir les distances minimales de séparation telles qu'imposées par l'autorité de régulation. Les principales sorties de cette étude sont les suivantes :

- Au delà de la distance réglementaire minimum de séparation entre avions, le temps de collision est un invariant structurant le choix de stratégie des pilotes entre "*ne rien faire*" et "*modifier la trajectoire pour gérer en anticipation un conflit potentiel*". Il est à noter que ce temps de collision n'était pas indiqué dans l'interface utilisée au cours de cette étude et donc que les pilotes semblent "*extraire*" cette information à partir des informations de trafic qui leur sont présentées.

- La valeur seuil de déclenchement de ces stratégies d'évitement était d'environ 3 minutes, ce qui est bien supérieur aux seuils d'alarme des systèmes embarqués gérant l'anticollision air (de 15 à 50 secondes selon l'altitude et le type d'alarme) et bien avant l'atteinte des distances minimales imposées. Cette constatation est symptomatique de la volonté des pilotes "d'être devant l'avion", i.e. de gérer les conflits par anticipation et non pas sur un mode réactif.

Dans le cadre de cette application, Smith & Hancock [1995] représentent la *Conscience de la Situation* par un "espace de risque" constitué par la distance entre avions et leur vitesse de rapprochement : la position d'un avion dans cet espace indique le temps de collision et détermine la stratégie d'interaction à adopter.

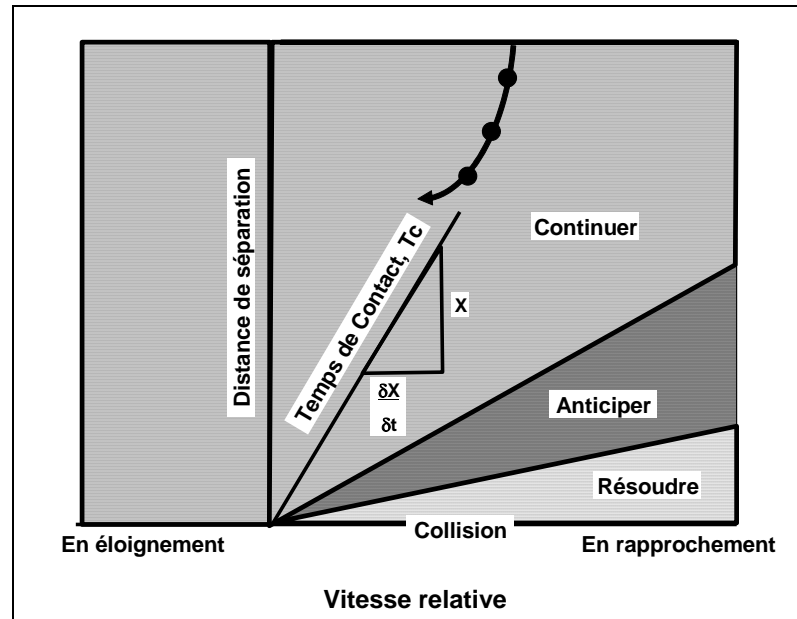


Figure III-1 – L'espace de risque (traduit et adapté de [Smith et al., 1997])

On retrouve ici les diagrammes avec les diagonales "iso-temps" de l'approche néo-écologique. L'hypothèse de **l'espace de risque** ouvre des perspectives ergonomiques intéressantes sur le plan de la compatibilité homme-système. En effet l'inscription d'un tel espace dans l'interface ou le système pourrait faciliter la construction ou l'ajustement de la représentation de la tâche par l'opérateur.

Rattachée au courant de la psychologie de la régulation, la deuxième étude retenue est celle menée par Morineau [2000] dans le cadre du contrôle aérien (étude reprise et détaillée dans Morineau et al. [2003]). Cette étude était dédiée à l'analyse de l'importance du Temps de Collision pour l'activité des contrôleurs aériens lors de la résolution de conflit entre avions. Cette étude a été réalisée avec 6 "paires" de contrôleurs (Contrôleur Radar ; Contrôleur Organique) sur un simulateur de trafic aérien. Chaque paire de contrôleurs était confrontée à un scénario de 30 minutes avec un trafic assez dense (70 avions / heure). Les principales sorties de cette étude sont les suivantes :

- Dans 75 % (± 9.3) des cas, les actions de régulation des Contrôleurs Radar concernent les couples d'avions exhibant le plus petit Temps de Collision (7.6 ± 0.7 minutes, $SD = 2.8$), et dans 23% des cas les actions concernent les couples "de rang 2" selon ce critère temporel²¹. Parmi ces 23%, 75% des cas correspondent à des détections des priorités de

²¹ A l'instar de l'étude de Smith & Hancock [1995], le temps de collision n'était pas indiqué dans l'interface.

rang 1 postérieures à l'action de régulation effectuée. Le Temps de Collision apparaît donc comme un invariant externe structurant l'activité de régulation de séparation entre avions.

- Cependant, les contrôleurs radar semblant respecter le plus ce critère (plus de 90% de leurs actions de régulation) ont également rencontré le plus de problèmes dans la surveillance du trafic (charge de travail) et dans leur coordination avec leur contrôleur organique en charge de la coordination avec les autres secteurs de contrôle.
- Effectuée à partir des dessins de la situation produits par les contrôleurs lors de gels de la simulation, l'analyse de la représentation mentale du trafic, que les auteurs assimilent à la *Conscience de la Situation*, met en évidence une anticipation de la position d'environ 70% des avions, que ceux-ci soient en conflit potentiels ou non. Cette anticipation permettrait de disposer du temps nécessaire à la définition de l'espace problème avant d'engager la régulation.

Morineau [2000] et Morineau et al. [2003] concluent à la co-existence de deux modes de contrôle cognitif interdépendants :

- Un mode "automatique" qui utiliserait le Temps de Collision comme invariant externe de synchronisation avec le processus.
- Un mode "symbolique", plus anticipatif, qui prendrait en charge la signification contextuelle des conflits détectés, notamment le fait que certains des avions concernés sont encore "en partage" avec les secteurs de contrôle adjacents.

Selon les auteurs, le niveau de contrôle symbolique modulerait l'utilisation du Temps de Collision dont un respect trop rigide pourrait perturber la coordination entre acteurs.

4 INVARIANTS INTERNES ET INVARIANTS EXTERNES

Se détachant des situations singulières, le modèle de la régulation et le modèle néo-écologique sont à la recherche de régularités mais ne les cherchent pas au même endroit. Pour paraphraser l'expression de Norman [1988]²², le modèle de la régulation les cherche "**dans la tête**" et celui des contraintes "**dans le monde**". Si le modèle néo-écologique semble prometteur pour modéliser la tâche et le domaine d'action, le modèle de la régulation semble le plus approprié pour l'étude de l'adaptation du système cognitif au sein de ce domaine d'action.

4.1 Représentations et morphisme : cohérence et correspondance

De manière globale, le couplage de ces deux modèles peut s'effectuer en considérant que la représentation fonctionnelle et occurrente va permettre d'intégrer les affordances dans une pensée anticipatrice et que les mécanismes de régulation et les modes de contrôle vont contribuer à la sélection et à l'actualisation des affordances à valeur adaptative en fonction des objectifs poursuivis et des paramètres contextuels.

Il est cependant à souligner que les différents modèles de la *Conscience de la Situation* ainsi que les différents éclairages théoriques explorés entretiennent des rapports assez différents et parfois ambigus avec le concept de Représentation. Avant d'opérationnaliser le couplage en hypothèses d'étude, il convient alors de positionner ces différentes approches par rapport à deux grands extrêmes de la littérature sur la notion même de représentation.

Une approche minimale du représentationnalisme repose sur le simple postulat qu'un système cognitif dispose de la capacité de se référer à l'environnement en tant que pourvu de telle ou telle détermination [Roy, 2003], indépendamment de toute autre hypothèse concernant notamment la nature des signifiants internes mobilisés ainsi que la nature des propriétés ainsi représentées (indépendantes à des fins épistémiques vs relatives à des fins pragmatiques). Cette capacité permet de dépasser le simple comportement réflexe : le système cognitif est capable de classer les événements perçus et de tirer parti de l'expérience passée afin d'agir conformément aux exigences de chaque catégorie [Proust, 2003]. Il est à souligner que cette catégorisation des entrées perceptives nous semble intégrée dans l'approche gibsonienne puisque, dans une perspective développementale, l'organisme a appris à saisir les affordances au travers de la différenciation des invariants perceptifs lors des interactions répétées avec les objets de l'environnement ([McGrenere & Ho, 2000], [Wagman & Miller, 2003])²³. Cependant il ne s'agit pas d'une catégorisation en termes de concepts mais en termes d'interactions possibles : "*Vous n'avez pas besoin de classifier et de nommer les choses pour percevoir ce qu'elles vous offrent*" [Gibson, 1979]). Dans le champ de la cognition animale, Proust [2003] introduit la notion de protoreprésentation dont le contenu est "immergé" dans la réactivité de l'animal : "*une association est sélectionnée entre la perception d'un trait et un certain type de mouvement vers une cible ou loin d'elle (selon qu'il s'agisse de consommer ou de fuir)*"²⁴. Dans le champ de la psychologie ergonomique,

²² "Knowledge in the head, knowledge in the world" ("*Connaissances dans la tête, connaissances dans le monde*").

²³ Cette construction ontogénétique n'est pas exclusive du point de vue phylogénétique pour lequel les systèmes perceptifs d'une espèce auraient évolué afin de rentrer en "résonance" avec les affordances de la niche écologique.

²⁴ Proust [2003] cite en exemple les catégorisations opératives effectuées par l'araignée selon les traits vibratoires de sa toile.

cette influence de l'action sur les structures catégorielles a été particulièrement illustrée par Dubois et al. [1993] dans le cadre d'analyse de situations routières.

A ce représentationnalisme que l'on peut qualifier de "faible", le représentationnalisme "fort" ajoute plusieurs postulats souvent objets de vives discussions ([Shanon, 1991], [Varela, 1993], [Roy, 2003], [Proust, 2003]) :

- **Le postulat "symbolique"**, i.e. les signifiants internes mobilisés sont des symboles (au sens anglo-saxon de signes conventionnels et arbitraires).

Bien que nous ayons associé la *Conscience de la Situation* à la fonction symbolique, ce postulat pose problème lorsque confronté aux multiples registres de fonctionnement existant entre la pensée conceptuelle et une simple co-variation du comportement avec les changements d'état de l'environnement ("*bien faire sans rien savoir*", [Proust, 2003]). Ce point a déjà été évoqué au travers des différents éclairages théoriques de notre revue de questions et on peut également citer la notion de *proto-représentation* avancée par Proust [2003] en cognition animale ou encore les notions de *concept-en-acte* et de *théorème-en-acte* développées par Vergnaud [1985] dans la théorie des champs conceptuels. Ces notions ont en commun d'assurer la fonction de catégorisation adaptative sans nécessaire recours à des signifiants internes conventionnels, en particulier de type langagier. Le postulat symbolique au sens fort ne nous semble donc pas une condition nécessaire au représentationnalisme au sens faible. Cependant, il influe certainement sur le champ spatio-temporel de l'adaptation permise par l'activité représentationnelle, depuis une pensée immergée dans l'action jusqu'à une pensée "détachée" accédant à la compréhension et à l'anticipation.

- **Le postulat "réaliste"** impliquant que le référent de la représentation ne doit rien, ni quant à son existence ni quant à sa nature, au fait d'être pris dans un rapport référentiel avec le système cognitif [Roy, 2003].

Cette hypothèse nous semble tout à fait recevable tant qu'il s'agit de l'opposer à un idéalisme absolu pour lequel la réalité ne serait qu'une projection de l'imagination. Cependant, en particulier dans le cadre de la représentation fonctionnelle, l'indépendance par rapport à l'activité représentationnelle ne serait être totale du fait de la détermination partielle de l'environnement par l'activité déployée concrètement par le sujet, activité dont une partie dépend de la représentation. Le réalisme est donc ici un ***réalisme constructif***, en cohérence de la nature duale de la situation avancée par Leplat & Hoc [1983] ou encore du *setting* de l'*arena* de la cognition située [Béguin & Clot, 2004] : "*Dans sa conception pragmatique, les composantes de la situation sont redéfinies par l'introduction du caractère dynamique, intrinsèque, de l'activité (dite précisément située) de l'opérateur considéré comme un acteur. Par son activité même, l'opérateur modifie sa situation*" [Rogard & de Montmollin, 1997].

Pour Gibson [1979], l'existence même de l'environnement ne dépend pas du sujet : "*L'organisme dépend de l'environnement pour sa [sur]vie, mais l'environnement ne dépend pas de l'organisme pour son existence*". L'auteur souligne cependant que l'Homme modifie son environnement pour créer des nouvelles affordances et que tout référent sous-tendant le comportement adaptatif est une entité mixte sujet / environnement (par définition même de la notion d'affordance).

- **Le postulat "objectiviste", ou principe d'isomorphisme**, qui impose à l'activité représentationnelle une exigence de fidélité de reproduction du référent²⁵.

²⁵ A noter que le postulat "réaliste" est une condition nécessaire au postulat "objectiviste", bien qu'il n'implique aucune contrainte sur la nature fidèle ou déformée de la représentation [Roy, 2003].

En généralisant la définition mathématique, un morphisme peut être défini comme une relation entre deux ensembles structurés (par exemple : une structure d'ordre au travers de la loi "plus grand, plus petit", une structure topologique au travers de la loi d'inclusion, etc.). Cette relation est orientée d'un ensemble de départ vers un ensemble d'arrivée et met en correspondance les éléments des deux ensembles et leur structure respective. Dans le cas d'un isomorphisme, la relation est parfaitement symétrique : la relation entre éléments est bijective (correspondance "point à point") et les structures sont équivalentes, sans pour autant faire l'hypothèse de l'identité de forme des éléments des deux ensembles. Dans le cas d'un homomorphisme (ou morphisme simple), la relation n'est plus univoque et il n'est pas possible d'inférer la structure de l'ensemble de départ à partir de la seule structure de l'ensemble d'arrivée : il y a eu "déformation".

Les théories gibsoniennes offrent peu de prise à ce postulat objectiviste. En effet, en rupture totale avec la psychologie représentationnaliste, ce cadre théorique suppose que la structuration fonctionnelle de l'environnement n'est pas le résultat d'un processus mental : elle est directement inscrite dans la notion d'affordance et directement saisie au travers de la structure des invariants perceptifs. Cependant, ces considérations ne dédouanent pas la *physique écologique* de l'étude de morphisme entre deux structures mixtes sujet / environnement : la structure fonctionnelle des potentialités d'interaction et la structure des invariants perceptifs. En effet, si le comportement adaptatif peut s'expliquer en couplant affordances et effectivités, encore faut-il prouver que l'affordance est effectivement spécifiée au sujet : "*La question centrale de la théorie des affordances n'est pas de savoir si elles existent ou si elles sont réelles mais de déterminer si l'information les spécifiant est disponible dans le flux optique*" [Gibson, 1979]. La conjonction de ces structures affordantielle et perceptive constitue la niche écologique du sujet au sein de laquelle se déploie le comportement adaptatif, ainsi que le propose la figure I-12 ci-dessous :

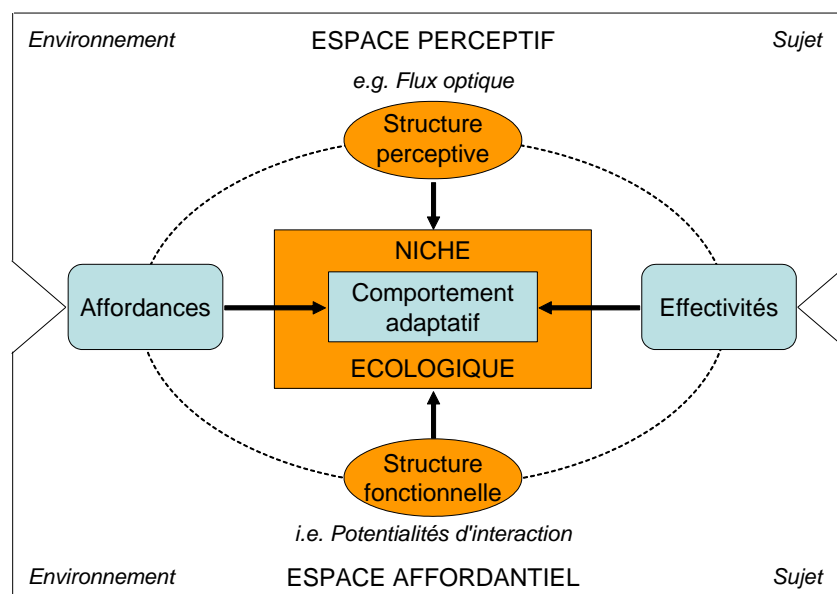


Figure I-12 – Proposition de structures de la psychologie écologique

La généralisation de ces structures à la cognition en environnement complexe semble cependant se heurter à trois problèmes :

- Le cadre strict de la perception directe limite le recours au sujet interprétant : il conviendrait de "réhabiliter" le *champ subjectif* initialement promu par Gibson & Crooks [1938] en considérant des *jugements d'affordance* en complément de la *perception des affordances* [Panaccio, 2005].

- L'intégration des affordances dans une pensée anticipatrice, i.e. le sujet peut-il "saisir mentalement" des affordances qui ne sont pas présentes dans son environnement "ici et maintenant" ?
- La problématique de la sélection des affordances à actualiser qui nous semble sous-spécifiée en l'état.

Sans aller aussi loin que Fodor & Pylyshyn [1981] qui considèrent Gibson comme le Skinner de la perception, nous convenons avec Benguigui [2001] que certaines hypothèses fondatrices des théories gibsoniennes, en particulier le refus d'admettre l'implication de la cognition inférentielle, rendent ces obstacles assez incontournables. Afin de coupler le modèle néo-écologique et celui de la régulation, il nous apparaît alors nécessaire (ou en tout cas pragmatique) de recourir à une cognition représentationnaliste.

En revenant dans le champ de la psychologie cognitive, rappelons que la représentation fonctionnelle repose sur un double mécanisme actif de sélection et de déformation. A ce titre elle ne prétend nullement à un quelconque isomorphisme avec la "réalité". C'est bien là un point de rupture avec le représentationnalisme du modèle linéaire dans lequel la finalisation est une étape postérieure à la construction de la représentation. Vergnaud [1985] souligne cependant que la fonction principale de la représentation est de "*conceptualiser le réel pour agir efficacement*" et donc que le rapport référentiel ne saurait être totalement arbitraire. L'auteur s'appuie alors sur le principe d'homomorphisme qui permettrait une conservation partielle de la structure de départ, homomorphisme assuré par les *invariants opératoires* qui correspondent aux "*objets, propriétés, relations et processus que la pensée découpe dans le réel pour organiser l'action*". Mais la pertinence opérationnelle de ces invariants reste interne au sujet car elle se réfère à ses propres normes adaptatives [Récopé, 1997]. Cette hypothèse de référence interne "déformant" la référence externe se retrouve également dans les développements théoriques d'Ochanine qui contraste la structure générale d'un système – l'ensemble des relations existantes entre tous ses éléments – et la structure opérative qui réunirait les relations et les éléments indispensables à l'activité du sujet [Bailly, 2004]. L'image opérative serait alors le reflet interne de cette deuxième structure.

La définition mathématique de morphisme semble cependant pointer certaines circularités des arguments ainsi développés, notamment en ce qui concerne la définition des ensembles structurés à mettre en relation. En effet, la "réalité" ne saurait être considérée "en tant que telle", non pas du fait du très grand nombre des éléments qui la composent (bien des ensembles mathématiques sont également infinis) mais plutôt du fait de la multiplicité de structures pouvant relier ces éléments. Cette multiplicité de lois structurantes reflète bien sûr la multiplicité des points de vue que l'on peut porter sur le référent externe et tout morphisme impliquant la "réalité" ne peut donc être que subjectif car nécessitant un choix quant aux éléments et structures de référence. Afin de lever cette indétermination, les ensembles à mettre en relation peuvent être identifiés en combinant deux principes que Vicente [1990] oppose mais que nous jugeons complémentaires pour l'analyse du sujet et de son domaine d'action :

- ***Le principe de cohérence*** (sous-entendu, avec le sujet) consiste à identifier l'ensemble de départ (i.e. la réalité structurée) à partir de l'ensemble d'arrivée (i.e. la représentation). Sur la base d'une explicitation du contenu et de la structure de la représentation, il convient alors d'identifier et de décrire les référents externes de même niveau d'abstraction et d'étudier la nature du morphisme entre ces deux ensembles. Partant du sujet, cette relation peut être qualifiée de ***morphisme intrasubjectif***.

- **Le principe de correspondance** (sous-entendu, avec le domaine d'action) consiste à interroger la représentation du sujet à partir d'une description de la réalité. Par exemple, la grille d'analyse systémique de Rasmussen [1986] met en évidence de multiples descriptions possibles : l'axe "tout/parties" dénombre les éléments de l'ensemble de départ et l'axe "fins/moyens" adresse le niveau d'abstraction des éléments considérés ainsi que le type de structure les reliant. Le principe de correspondance implique de nombreux choix "externes au sujet" dont des éléments de finalisation (niveau des *objectifs fonctionnels* qui influe sur la description des autres niveaux). Partant d'une prise de position externe portée sur l'objet, la relation étudiée peut être alors qualifiée de **morphisme intersubjectif**.

La prise en compte de ces morphismes amène deux remarques complémentaires :

- Les deux approches sont bien sûr confrontées à la multiplicité des registres de la pensée représentationnelle, chaque registre devant en toute rigueur correspondre à un ensemble d'arrivée. Le problème pour l'analyste est alors non seulement d'accéder à ces différents plans d'abstraction psychologique mais également d'analyser leurs interdépendances.
- Dans l'application du principe de correspondance, le choix du (ou des) niveau(x) d'abstraction de référence n'est pas neutre quant à l'éventuelle prescription qui peut en découler. Ainsi, on peut considérer que l'approche néo-écologique norme la *Conscience de la Situation* ... mais à des niveaux d'abstraction plus élevés que ceux utilisés par l'approche linéaire. Par exemple, alors que la méthode expérimentale de Endsley [1993] va adresser des questions relatives aux positions géographiques des différents acteurs (niveau des *formes physiques* d'une situation), l'approche centrée sur les contraintes va s'attacher aux dimensions fonctionnelles des lois de la physique régissant une partie des interactions possibles entre acteurs (niveau des *fonctions abstraites* d'une situation). Cette élévation du niveau d'abstraction permet alors de se détacher des situations singulières.

Nous avons donc deux ensembles de contraintes : un jeu "intérieurisé" (i.e. "représenté" par le sujet) et un jeu externe "à présenter" au sujet. Notre objectif est d'étudier les relations existantes entre ces deux ensembles, en s'appuyant pour cela sur les notions de cohérence (*sujet* → *environnement*) et de correspondance (*environnement* → *sujet*).

4.2 Modèle de couplage : morphismes entre invariants

Nous voudrions ici essayer de mettre en perspective nos développements théoriques dans une proposition de modèle cadre de couplage entre les structururations internes et externes de la régulation en environnement dynamique.

Dans un premier temps, nous proposons d'explorer ici les relations possibles entre les **schèmes** - structures cognitives d'organisation et de généralisation de l'action - et les **affordances** – invariants fonctionnels structurant le domaine d'action.

Telle que développée par Piaget, la notion de schème est un **invariant cognitif** associé à des unités de comportement, à "*ce qu'il y a de commun aux diverses répétitions ou applications de la même action*" [Piaget, 1947]. Représentant l'ensemble des caractères généralisables d'une action, le schème est organisateur de la conduite cognitive et est au centre du processus d'adaptation : l'assimilation consiste à incorporer un objet ou une situation à un schème et l'accommodation consiste à modifier le schème en fonction des propriétés de

l'objet qui empêchent le jeu de l'assimilation. Toute connaissance d'un objet implique donc une connaissance d'actions relatives à cet objet. Deux autres propriétés sont à souligner :

- Si le schème constitue la structure invariante d'une action, c'est la structure qui est invariante et non pas le détail de l'action [Vergnaud, 2001]. Un schème est une totalité organisée qui permet de générer des conduites différentes en fonction des caractéristiques particulières de ses contextes de mise en œuvre : il est en quelque sorte une trame localement adaptée pour tenir compte de la singularité de chaque situation.
- L'activité comportant une multitude d'actions, elle est structurée par un certain nombre de schèmes : agir c'est avant tout coordonner ou combiner des schèmes entre eux afin de former des schèmes complexes [Dolle, 1997].

Ces deux propriétés font écho aux principes déjà évoqués de l'adaptation comportementale lors de l'actualisation d'une affordance et de la composition des affordances au sein de la niche écologique d'un sujet (cf. § I - 3.3).

Dans la perspective d'un couplage entre les invariants externes et internes que sont respectivement les affordances et les schèmes, nous considérerons ces derniers comme des *effectivités* associées aux affordances (e.g. *un escalier ne peut "offrir à monter" qu'à un organisme possédant le schème "monter"*). Par leur pouvoir d'assimilation, les schèmes seraient des effectivités construites lors d'actualisations répétées des affordances et, par leur pouvoir d'accommodation, ils correspondraient aux effectivités des affordances "restant à découvrir" (affordances pré-existantes à l'activité du sujet), voire à créer (affordances créées par l'activité du sujet).

Peut-on pour autant déclarer un isomorphisme [Affordances – Schèmes] ? Rien n'est moins sûr au regard des arguments suivants :

- ***Peut-il exister un schème sans affordance ? Sans doute.*** En effet, quand bien même un schème se serait construit lors d'actualisations répétées d'affordances, rappelons qu'une affordance est spatio-temporellement située alors qu'un schème est un invariant cognitif. En conséquence, l'environnement "ici et maintenant" peut très bien ne pas présenter les propriétés nécessaires à la mise en œuvre d'un schème, quand bien même ce dernier serait évoqué par le sujet. ***Le cas d'un "schème évoqué sans affordance" serait alors le symptôme d'une fragilité de la synchronisation sujet/environnement et donc d'un risque pour le sujet*** (e.g. entêtement dans la mobilisation d'un schème, temps nécessaire à l'évocation d'un autre schème ou à l'accommodation, ...).
- ***Peut-il exister une affordance sans schème ? Sans doute,*** en particulier dans le cas des affordances de type "menace" (e.g. *le serpent "offre" le danger, le camion "offre" au piéton sur la voie d'être écrasé, ...*) pour lesquelles le sujet est pris dans un rapport affordantiel le plus souvent au titre de ses caractéristiques bio-structurelles et non de ses capacités fonctionnelles. Une alternative possible serait de recourir au principe de composition des affordances au sein d'une niche écologique "stable" : chaque affordance afférente (*action de l'environnement sur le sujet*) induirait alors une affordance efférente (*action du sujet sur l'environnement*) et donc l'évocation d'un schème de couplage adaptatif. ***Le cas asymétrique d'une "affordance sans schème" serait alors le symptôme d'une fragilité de la synchronisation sujet/environnement et donc d'un risque pour le sujet*** (e.g. non évitement d'une menace, ...).
- ***Peut-il exister des schèmes différents permettant d'actualiser une même affordance ? Sans doute,*** du fait des multiples capacités fonctionnelles d'un sujet. Par exemple,

l'affordance "monter" qu'est supposé offrir un escalier peut être actualisée selon plusieurs "styles" (e.g. *debout, à quatre pattes, avec assistance, ...*). Si certains de ces "styles" peuvent correspondre à des adaptations d'un même schème (e.g. *monter debout avec ou sans canne*), d'autres se réfèrent à des structurations d'action assez différentes (e.g. *monter debout vs à quatre pattes*) qui ne font pas appel aux mêmes classes de couplage structurel pour leur mise en œuvre (*dimensions de l'escalier vs anthropométrie du sujet*). La question peut également renvoyer à la granularité et à l'individuation de description d'une affordance, et donc à "la part du sujet" dans celle-ci.

- **Peut-il exister des affordances différentes mobilisant le même schème ? Sans doute**, par le simple fait qu'un même schème d'action appliqué à des objets différents ou lors de contextes différents peut correspondre à des besoins adaptatifs différents. Egalement, par simple application du principe de combinaison des schèmes, un même schème "simple" peut être intégré dans des schèmes complexes différents mobilisés pour l'actualisation d'affordances différentes. La question peut également renvoyer à la granularité de description d'un schème et à "la part de l'environnement" dans celui-ci.

Au bilan, un éventuel isomorphisme correspondrait à un couplage sujet-environnement stable dans lequel les schèmes se seraient combinés, différenciés puis spécialisés dans l'actualisation d'affordances répétitives et prédictives. Bien qu'un tel état d'adaptation soit assez peu probable dans le cadre des environnements dynamiques ouverts, cela ne nous empêche pas d'essayer d'établir des connexions systématiques entre ces deux notions.

En écart aux théories gibsoniennes, il nous semble alors nécessaire d'aller plus loin dans les mécanismes cognitifs de couplage schème-affordance et de considérer les affordances "**du point de vue du sujet**" en recourant à la théorie des champs conceptuels développée par Vergnaud [1985, 2001]. Cet auteur propose quatre composantes constitutives d'un schème :

- **Des buts** qui comprennent également des sous-buts, des prédictions et des attentes.
- **Des règles d'action** qui incluent des règles de prise d'information et de contrôle.
- **Des inférences** qui permettent l'adaptation du schème à la situation singulière.
- **Des invariants opératoires** (*concepts-en-acte* et *théorèmes-en-acte*) qui représentent les connaissances contenues dans les schèmes, permettant à la fois la prise et le traitement de l'information pertinente. Spécifiant l'environnement pour le sujet, les *concepts-en-acte* sont des propriétés décrivant des catégories et les *théorèmes-en-acte* sont des propositions susceptibles d'être vraies ou fausses²⁶.

Pour Vergnaud [1985], les invariants opératoires assurent la fonction clef d'homomorphisme permettant la "*conceptualisation du réel en vue de l'action efficace*" (cf. la discussion du représentationnalisme du § I – 4.2) et ils "*constituent le noyau dur de la représentation, celui sans lequel ni les inférences, ni les règles d'action, ni les prédictions [...] n'ont de sens*". L'opérationnalité de ces invariants dépend du succès et des limites rencontrés dans l'histoire des interactions sujet – environnement [Récopé, 1997].

Notons tout d'abord la proximité entre ces éléments constitutifs d'un schème et la nature du produit de l'évaluation de la situation de l'approche décisionnelle (*buts, actions, attentes,*

²⁶ Ces définitions soulignent qu'un schème, même sensorimoteur, est déjà l'expression d'un concept car il permet de conférer une signification pragmatique aux objets de l'environnement. Les multiples processus internes d'abstraction et de thématization évoqués au § I - 3.1 permettent de transformer ces concepts pratiques en concepts concrets puis abstraits en s'appuyant notamment sur des signifiants internes langagiers.

indices pertinents, cf. § I - 2.2), ce qui nous amène à considérer le modèle RPD de Klein [1995] comme un processus d'évocation d'un schème tel que défini précédemment.

La notion d'invariant opératoire peut également nous permettre de poursuivre les travaux de Panaccio [2005] sur le couplage de la cognition représentationnelle avec la notion d'affordance. Dans le cadre d'un modèle du processus d'extension des protoconcepts (notion reprise de Proust [2003]), cet auteur introduit les notions de concepts et jugements affordantiels :

- **Un concept affordantiel** est un protoconcept représentant un certain type d'affordance, i.e. un ensemble de propriétés "offrant", vu du sujet, une possibilité d'interaction (e.g. "grimpable", "comestible", "menace", ...). Un tel concept s'est construit par la prise en considération de certains éléments ou relations tenues pour stables lors des actualisations passées.
- **Un jugement affordantiel** est un jugement que porte un sujet sur certaines composantes de son environnement et sur les affordances qu'il croit y déceler pour lui-même. Un tel jugement est une proposition combinant une représentation de l'objet (conceptuelle ou non) et un concept affordantiel. Bien qu'étant un processus interne, un jugement affordantiel ne peut être totalement arbitraire car il sera sanctionné in fine par l'équivalence affordantielle réelle (principe de *normativité* de l'extension du protoconcept) mais l'auteur maintient fortement la distinction entre les concepts et jugements affordantiels (en tant que connaissances du sujet) et les affordances (en tant que propriétés de l'environnement). Cette distinction, qui nous ramène à la distinction entre valence et affordance, est de fait assez essentielle pour expliquer les *erreurs d'interprétation*, thème non abordé dans notre étude.

Panaccio [2005] souligne enfin que de ces jugements ne mobilisent pas obligatoirement des représentations "*hyper intellectualistes*" et structurées du monde mais reposent avant tout sur le développement de régularités comportementales par rapport aux événements ou objets pris dans de telles relations référentielles.

On peut replacer les arguments de Panaccio [2005] dans le cadre théorique développé par Vergnaud [1985]. En effet, les invariants opératoires sont également des systèmes catégoriels largement implicites qui alimentent et règlent l'action [Récopé, 1997] et le principe de *normativité* fait écho au principe d'homomorphisme. Nous proposons ici d'adopter les propositions de Panaccio [2005] en considérant que les concepts et les jugements affordantiels sont respectivement des concepts-en-acte et des théorèmes-en-acte. Dans cette perspective, un concept affordantiel constitue l'*intension* d'un schème d'action (i.e. l'ensemble des propriétés situationnelles nécessaires à l'application du schème) et le jugement affordantiel en réalise l'*extension* (i.e. les situations auxquelles le schème s'applique)²⁷.

Dans le cadre de la didactique professionnelle appliquée au contrôle de processus, Pastré [1997, 1999] introduit la notion de concepts pragmatiques sur la base des invariants opératoires de Vergnaud [1985]. Construits dans et pour l'action, et éventuellement transmis sous la forme de pratiques au sein des collectifs de travail, ces concepts sont des structures internes de détermination permettant :

- d'accéder aux variables du processus à contrôler au travers d'états d'indicateurs,

²⁷ De manière réciproque, on pourrait considérer que les effectivités constituent l'intension d'une affordance et que l'ensemble des "organismes" possédant ces effectivités en constitue l'extension.

- de diagnostiquer - pronostiquer l'état du processus grâce aux variables ainsi inférées,
- d'agir sur ces variables au travers de paramètres d'action.

Les concepts pragmatiques ont un double statut *d'invariants de l'action* guidant l'organisation efficiente de la conduite (rôle des invariants opératoires des schèmes d'action) et *d'invariants conceptuels* guidant l'activité représentationnelle selon les dimensions essentielles des situations [Samurçay & Pastré, 1995]. Ils sont en quelque sorte le prolongement symbolique d'invariants opératoires que l'on pourrait associer aux Systèmes de Représentation et de Traitement de Hoc [1986] (cf. § I - 3.2.2). Un point particulier à souligner est le rôle primordial des concepts pragmatiques dans la représentation fonctionnelle des principes de fonctionnement d'un système [Pastré, 1997]. Lefebvre [2001] en propose un certain nombre d'exemples appliqués à la conduite automobile (*champ des trajectoires possibles* et *zone d'inertie*) qui ne sont pas sans rappeler le *champ de déplacement sûr* de Gibson & Crooks [1938]. Mais contrairement à une représentation externe basée sur des concepts scientifiques, les concepts pragmatiques sont des construits internes élaborés progressivement avec l'expérience individuelle ou collective. Il y a donc bien morphisme entre ces concepts et les fonctions abstraites et générales de la grille d'analyse systémique de Rasmussen [1986] appliquée à la description du domaine d'action. Les concepts pragmatiques nous permettent alors d'étendre les concepts et jugements affordantiels de Panaccio [2005] aux affordances "conceptuelles" envisagées par l'approche néo-écologique.

Les considérations théoriques exposées ci-dessus nous fournissent les outils nécessaires au couplage de nos deux modèles de référence, ainsi que le propose la figure IV-1 ci-après :

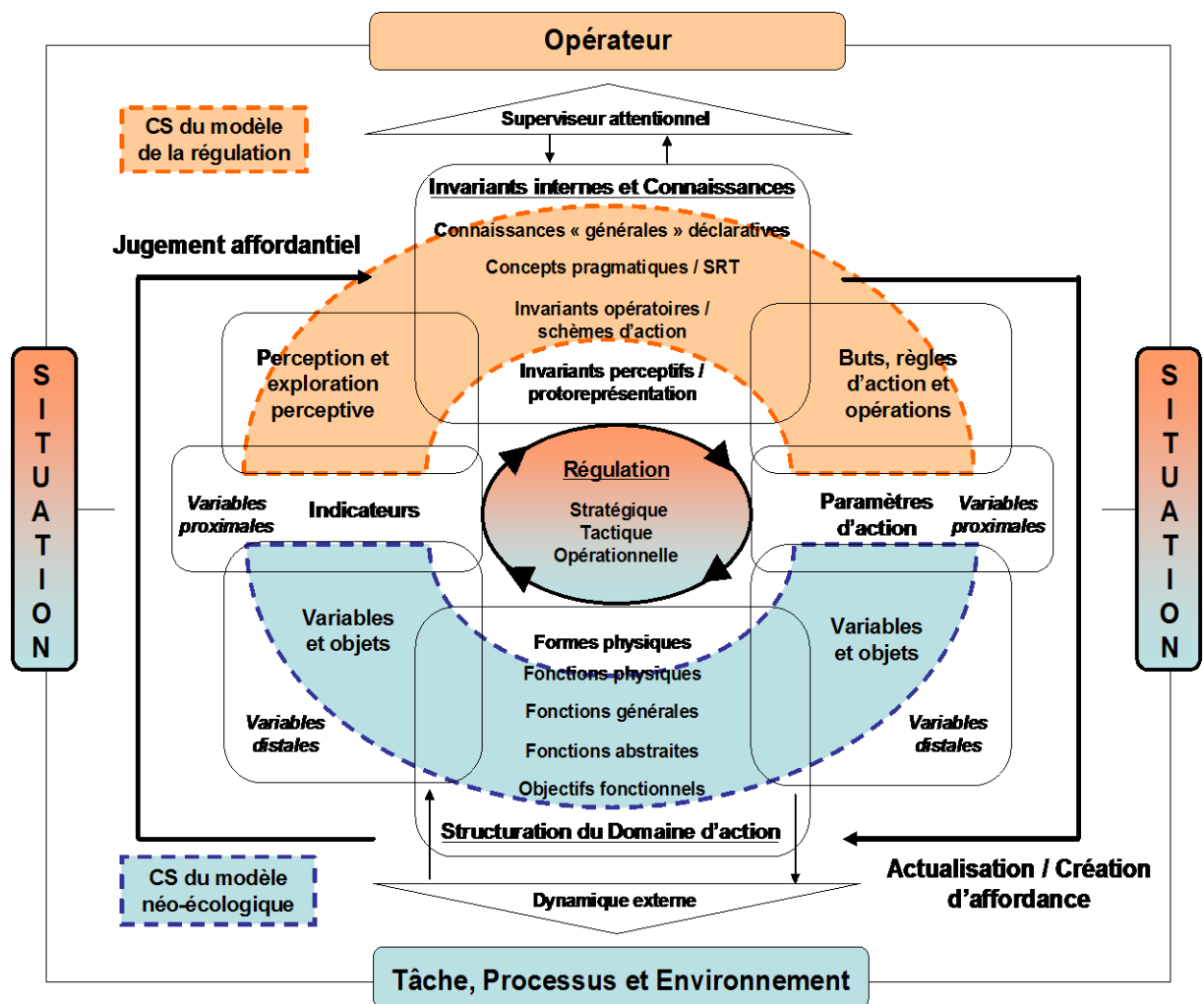


Figure IV-1 – Couplage de la Régulation et des Contraintes (CS : Conscience de la Situation)

Au centre de ce modèle se trouvent les activités de *Régulation* qui se déploient sur les différents objets de l'activité déjà évoqués : le niveau *Stratégique* correspond à la tâche effective (interprétée par le sujet) et à sa planification globale ; le niveau *Tactique* correspond aux prises de décision locales et à leur planification ; enfin le niveau *Opérationnel* concerne la mise en œuvre des actions et est le plus souvent lié au contrôle synchronique. Ces différents niveaux existent dans le modèle de la régulation mais, en écart à ce modèle, nous ne préjugeons pas ici des "modes de cognition" impliqués dans ces activités (i.e. habiletés, règles, connaissances).

Regroupant la tâche, le processus à contrôler et son environnement, le domaine d'action est modélisé en termes de *potentialités* et de *contraintes d'interaction* suivant les différents niveaux du modèle néo-écologique : depuis les *formes physiques* jusqu'aux *objectifs fonctionnels* qui concernent aussi bien les objectifs assignés par la tâche prescrite que les objectifs poursuivis par d'autres acteurs de la situation. Cette modélisation consiste à identifier et structurer différents ensembles de contraintes d'interaction composés des propriétés, des états, des valeurs et des interrelations physiques ou fonctionnelles des objets et variables du processus. Sous la dépendance conjointe des actions du sujet et de leur dynamique propre ou imposée par l'environnement, ces éléments peuvent ne pas être directement accessibles à l'opérateur soit en termes de prise d'information, soit en termes d'action. C'est pourquoi nous les qualifions de *variables distales* ; les *variables proximales* étant quant à elles les *indicateurs* et les *paramètres d'action* signifiant plus ou moins directement les *variables distales* (moyens de connaître ; moyens d'agir). Un des enjeux de

la conception des Interfaces Ecologiques est d'assurer un isomorphisme [*variables distales – variables proximales*] reflétant en transparence la structuration du domaine d'action.

Les différents modes de cognition de l'opérateur sont ici considérés au travers des différents invariants perceptivo-cognitifs et connaissances mobilisés dans l'activité de régulation afin de générer les règles d'action et les opérations : depuis les invariants perceptifs associés aux proto-représentations (représentations non symboliques, ou en tout cas non langagières) jusqu'aux connaissances déclaratives non procéduralisées. Sous la dépendance du superviseur attentionnel du modèle de la régulation, la dynamique d'évocation de ces différents registres cognitifs selon les différents objets de l'activité est l'élément clef de l'équilibre entre Réussir et Comprendre.

Suivant le modèle de référence considéré, le concept de *Conscience de la Situation* se projette différemment sur ce schéma :

- Suivant le modèle de la régulation, la *Conscience de la Situation* est identifiée à la représentation fonctionnelle dont la mise à jour continue repose préférentiellement sur les Systèmes de Représentation et Traitement ainsi que sur la thématization des schèmes d'action. En étant "*devant l'avion*" par le contrôle partiel du contexte et la pré-activation de structures pragmatiques d'assimilation, la *Conscience de la Situation* favorise l'autonomie synchronique de l'activité vis-à-vis de la pensée conceptuelle, condition nécessaire à l'efficacité et à l'efficience de l'activité en environnement dynamique.
- Suivant l'approche "*formatrice*" du modèle néo-écologique, la *Conscience de la Situation* concerne les variables et objets impliqués dans la structuration du domaine d'action. Son objet est la prise en compte des contraintes significatives associées aux interactions possibles sujet/environnement. L'opérateur en situation doit se situer dans ce champ de contraintes afin de "saisir les affordances" (i.e. les possibilités d'interaction) qui lui sont ainsi "offertes".

A noter que dans une perspective gibsonienne "étroite", bon nombre des notions exposées ci-dessus sont en rapport isomorphique, voire fusionnées. Ainsi, les notions de propriétés physiques "affordantes", de variables distales, de variables proximales et d'invariants perceptifs sont difficilement séparables lorsque l'on couple la théorie des affordances et le principe de la perception directe. La problématique des systèmes complexes et le nécessaire recours à la cognition représentationnelle induisent ces dissociations fonctionnelles ... et donc au moins autant de morphismes que de notions identifiées ("*au moins*" car rappelons qu'un morphisme simple est orienté d'un ensemble vers un autre et "*autant*" car nous sommes dans un système bouclé et non en chute d'eau).

La notion de *concept pragmatique* développée par Pastré [1997, 1999] semble pouvoir jouer le rôle de passeur de frontière entre ces deux points de vue sur la *Conscience de la Situation* ("vue du sujet", "vue de l'environnement") et ce pour plusieurs raisons :

- Sa fonction clef dans la représentation interne des principes de fonctionnement d'un système en fait un candidat idéal pour étendre la notion de *concept affordantiel* de Panaccio [2005] à la pensée symbolique.
- Dans le cadre des systèmes complexes, l'invariance ne peut être attachée à une seule propriété particulière d'un objet telle que le proposent les affordances "simples". Ainsi que le souligne Pastré, l'invariance renvoie à une structure conceptuelle d'ensemble, à un réseau de concepts pragmatiques, ce qui est cohérent avec les analyses systémiques de Rasmussen [1986].

- Au cœur de la *Conscience de la Situation* "vue du sujet", la dualité "Réussir & Comprendre" est bien inscrite dans les concepts pragmatiques, à la fois tournés vers l'action et vers la connaissance du fonctionnement du système.

Les concepts pragmatiques apparaissent alors comme les équivalents cognitifs de la structuration du flux optique, permettant le jugement d'affordances "conceptuelles" telles que la structuration du domaine d'action pourrait les présenter.

Cependant, dans le cadre des environnements dynamiques, Pastré souligne l'importance de la temporalité sur deux plans :

- Le sens et la causalité de l'évolution des variables en tant qu'élément déterminant du diagnostic, ce qui est cohérent avec les résultats de notre deuxième expérimentation.
- La nécessité d'utiliser des stratégies anticipatrices qui s'appuient non seulement sur la connaissance du fonctionnement du système mais également sur la simulation mentale des actions envisagées sur le système, ce que nous avons également mis en évidence dans la première partie de cette revue.

Du point de vue de la modélisation de l'environnement à des fins applicatives d'Interface Homme-Machine, la prise en compte de cette temporalité (i.e. des affordances qui ne sont pas présentes "ici et maintenant") risque d'être confrontée aux difficultés suivantes :

- La signification pour le diagnostic et le pronostic **ne provient pas tant de l'histoire d'une variable que de l'histoire de l'interaction ayant induit l'évolution de cette variable**. Il faudrait donc la modélisation puisse retracer la (ou les) causalité(s) impliquée(s).
- A part dans quelques rares cas "hyper-contraints" pour lesquels les comportements sont imposés de façon quasi-déterministe par l'environnement, **le soutien à l'anticipation peut difficilement s'envisager en dehors des intentions du sujet et des autres acteurs de la situation**. Il faudrait donc que la modélisation puisse inférer ces intentions et dispose d'un modèle de la dynamique environnementale.

Ces deux aspects de la temporalité sont certainement les "points durs" de notre perspective applicative.

Pour finir, nous aimerions commenter le schéma proposé sur deux points : la question des modes de contrôle cognitif et l'origine et le rôle des invariants.

- **Modes de contrôle cognitif**

La revue de questions nous permet de faire certaines hypothèses, ou du moins de préciser certains points, quant à la nature de l'intégration des modes de contrôle tels qu'exposés dans la partie 1.

Rappelons que dans la matrice (Modes de Cognition ; Objet de l'activité) exposée au § I – 3.2.3, la co-existence des différents modes de contrôle cognitif provient de la co-occurrence cognitive de plusieurs objets de l'activité. Notamment adressée par les styles de contrôle proposés par Hollnagel [1993], la question de l'intégration de ces modes est vue sous l'angle de l'interdépendance entre les différents objets de l'activité mais, pour un objet donné, le modèle semble supposer qu'un seul mode de cognition est mobilisé à un

instant donné. Les styles de COCOM se déploient donc selon la diagonale de la matrice et, dans le cas du style "stratégique", on retrouve le modèle classique de la régulation experte avec la mobilisation des connaissances pour les objets stratégiques de planification en interdépendance avec la mobilisation des règles au niveau tactique et la mobilisation des habiletés au niveau de la conduite synchronique.

Sans vouloir remettre en cause l'existence d'un mode dominant pour un objet donné à un instant donné, il nous semble que cette interprétation n'adresse que la partie émergée de l'iceberg cognitif et que les traitements d'un objet sur un mode de cognition donné s'appuient sur les modes "inférieurs", ainsi que le propose le schéma suivant :

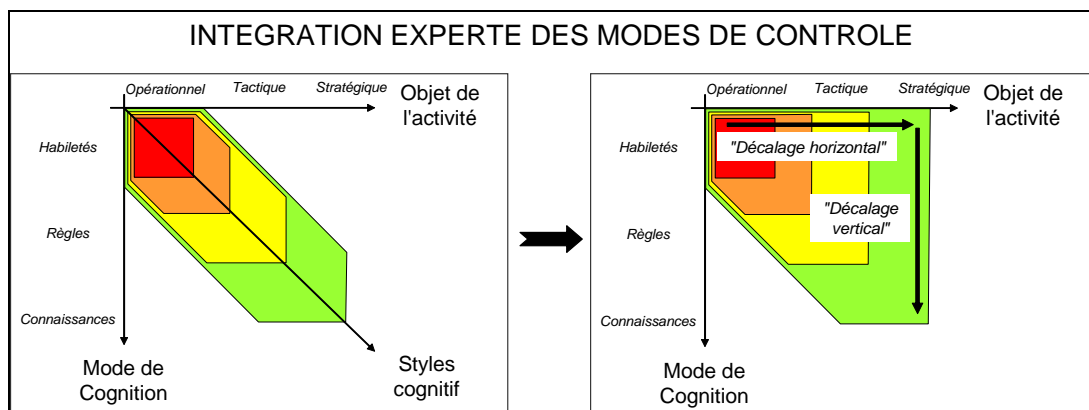


Figure IV-2 – Intégration des modes de contrôle cognitif

En complément de certains arguments théoriques exposés lors de la partie 1 (en particulier ceux de Vermersch [1994]), l'intégration verticale des modes de cognition nous semble particulièrement mise en évidence par les expérimentations de la partie 3. En effet les ajouts de la dynamique et du contexte ne suppriment pas l'invariance fonctionnelle du temps d'interception démontrée pour la condition 1 mais l'enchâssent dans une structure conceptuelle faisant notamment appel à des règles d'inférence d'intention et de coopération entre acteurs du dispositif. En termes piagétien, il s'agirait d'un équivalent de décalage vertical dans lequel les affordances spatio-temporelles de la situation deviennent des sous-systèmes d'une structure plus complexe d'organisation de l'action.

Une autre hypothèse peut être formulée quant à la continuité des habiletés sur l'axe horizontal. En effet, rappelons que le schème de "relégation" s'applique aussi bien à l'objet tactique de la trajectoire d'un chasseur isolé qu'à l'objet plus stratégique de la gestion du plan de vol du dispositif, ce qui peut être considéré comme l'équivalent d'un décalage horizontal piagétien dans lequel une même opération s'applique à des contenus différents. De plus les invariants et schèmes mis en évidence lors de cette étude font écho à des mécanismes d'adaptation sensori-moteurs que l'on retrouve chez l'Homme ou dans le règne animal (poursuite proie-chasseur et temps de collision). A la suite de Morineau & Parenthoën [2003], ces constats nous amènent à penser que certains invariants "conceptuels" de contrôle seraient élaborés à partir d'archétypes sensori-moteurs développés au sein des "niches écologiques", internalisés au fur et à mesure par l'espèce et finalement accommodés par l'individu lui-même lors de son développement.

- **Origine et rôle des invariants**

En essayant de définir le champ des actions sûres pré-existant au sujet psychologique, la posture théorique adoptée par le modèle des contraintes est finalement assez proche du

sélectionnisme de Reed [1996] (cité par Chemero [2003]) pour qui les affordances sont des ressources environnementales pré-existantes à l'animal, ressources qui vont exercer une pression sélective sur le développement des espèces pour qu'elles acquièrent les effectivités permettant de les saisir et de les actualiser. Cette position amène plusieurs remarques :

- En associant Affordances gibsoniennes et Schèmes piagétien, nous affirmons pleinement le rôle de l'expérience du sujet. Si la rencontre locale Affordance-Schème peut expliquer en partie la causalité déclenchante du comportement adaptatif, c'est l'histoire du sujet (de ses interactions avec l'environnement et du développement de ses compétences) qui est pertinente pour la compréhension de la causalité structurante telle qu'elle peut s'exprimer dans la notion de niche écologique. L'universalité annoncée de l'invariance peut alors être questionnée : maintenant que les valeurs critiques de l'invariant [*Temps d'interception* ; $\Delta\text{Temps} / \text{Temps}$] sont établies, il serait donc intéressant de mener une étude différentielle afin d'étudier la robustesse de l'invariant aux variabilités de compétences (par une étude analogue à celle effectuée par Bisseret [1995] dans le domaine du contrôle aérien).
- Non seulement les invariants internes rendent "saisissables" l'affordance (notamment via les processus de jugement affordantiel), mais la question de "l'affordance sans schème" reste posée : est-il possible de déclarer qu'une propriété de l'environnement possède une valeur adaptative (positive ou négative) pour un sujet qui n'en a jamais fait l'expérience (ou qui n'en a aucune connaissance) ? En clair, est-ce que "*le serpent offre le danger au bébé*" ? Vu du bébé, cela est hautement discutable. En fait, seule une perspective développementale semble pouvoir casser la circularité des arguments avancés : il y a co-construction des schèmes et des affordances lors du développement biologique, cognitif et social du sujet. Ce point de vue n'empêche pas de conserver la distinction entre un concept affordantiel et l'affordance, celle-ci s'appuyant sur des propriétés de l'environnement pré-existantes pour partie au sujet (cf. infra). Mais l'intégration signifiante de ces propriétés dépend des effectivités du sujet ... qui dépendent elles-mêmes de l'environnement pour leur développement.
- La posture sélectionniste met de côté la dualité de la situation que nous avons maintes fois mise en avant : par le contrôle partiel du contexte, l'opérateur est partie prenante dans la construction de la situation à laquelle il est confronté. Si une partie de la régulation se déroule **sous contraintes**, une autre partie s'effectue donc **sur les contraintes** afin d'adapter l'environnement à l'action. Plutôt que simplement exploiter ou subir les ressources et contraintes de l'environnement, l'expert essaye donc d'asservir la situation afin de créer les ressources de son action [Béguin et Clot, 2004].

Il y a donc beaucoup plus de psychologie et d'histoire dans les invariants externes que ce que l'ingénierie voudrait bien croire. En reprenant l'argument développé par Béguin et Clot [2004], on peut se demander si les approches "centrées sur l'externe" n'essayeraient pas vainement de dépsychologiser le comportement afin de faire l'économie de l'analyse de l'activité et de la confrontation à la complexité de la cognition.

Enfin, à la suite de Béguin et Clot [2004], il est à souligner que l'invariance n'est pas tout. L'étude de Morineau [2000] et nos propres travaux tendent à montrer qu'une caractéristique de l'expertise est de dépasser l'invariance externe afin de la moduler selon d'autres paramètres contextuels. Ce point rejoint le constat fait sur l'invariance interne : si le schème constitue la structure invariante d'une action, c'est la structure qui est invariante et non pas le détail de l'action [Vergnaud, 2001]. Les invariants internes et

externes constituent donc une trame que l'activité adapte localement pour tenir compte de la singularité de chaque situation.

Nous constatons donc une (inévitable ?) incomplétude de la formalisation du domaine d'action, aussi bien dans ses aspects temporels que psychologiques. Ce constat pose un réel défi au principe des interfaces dites écologiques. En effet, de telles interfaces risquent de "piéger" les opérateurs dans un mode de cognition inapproprié pour apporter les compléments et amendements nécessaires à un système de représentation externe qui est en fait de nature conceptuelle : **il y a un risque de transfert de l'objet de l'activité sur les éléments figuratifs de l'interface (les indicateurs) et non plus sur les variables du processus à contrôler**²⁸. Cet éventuel paradoxe des interfaces dites "écologiques" est certainement à confirmer et à étudier au sein d'un programme de recherche plus large sur ce cadre théorique de conception, tel que celui appelé par Terrier et al. [2001].

²⁸ Cet oubli de la dimension signifiante de la représentation externe (la référence aux variables) a été déjà constaté par Pastré [1997] chez des régleurs de presse à commande numérique en plasturgie.

BIBLIOGRAPHIE

- Abeloos, L.M., Mulder, M. & van Paassen, R. (2002) - An introduction in the ecology of spatio-temporal affordances in airspace. In C.W Johnson (Ed) *Proc. 21st European Conference on Human Decision Making and Control*, Glasgow : University of Glasgow.
- Adam, E.C. (1996) - Tactical cockpits. In AGARD conference proceedings 575 *La conscience de la situation : les limitations et l'amélioration en environnement aéronautique*. Neuilly-sur-Seine : AGARD.
- Albrechtsen, H., Andersen, H.H.K., Bødker, S. & Pejtersen, A.M. (2001) – *Affordances in activity theory and cognitive systems engineering*. Technical Report RISØ-R-1287, Roskilde, Risø National Laboratory.
- Amalberti, R. (1996) - *La conduite des systèmes à risques*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Amalberti, R. (1997) - Automation in Aviation : A Human Factors Perspective. In D. Garland, J. Wise & D. Hopkin (Eds) *Aviation Human Factors*. Hillsdale : LEA.
- Amalberti, R. (2001) – La maîtrise des situations dynamiques. *Psychologie Française*, 46(2), 107-118.
- Amalberti, R. & Deblon, F. (1992) - Cognitive modelling of fighter aircraft's process control : a step towards an intelligent onboard assistant system. *International Journal of Man-Machine Studies*, 36, 639-671.
- Amalberti, R. & Hoc, J.M. (1998) - Analyse des activités cognitives en situation dynamique : pour quels buts ? comment ? *Le Travail Humain*, 61 (3), 209-234.
- Bailly, B. (2004) – *Conscience de la situation des conducteurs : aspects fondamentaux, méthodes et application pour la formation des conducteurs*. Mémoire de doctorat de Psychologie Cognitive, Université Lumière Lyon 2, Institut de Psychologie, 2004.
- Bedny, G. & Meister, D. (1999) – Theory of Activity and Situation Awareness. *International Journal of cognitive ergonomics*, 3(1), 63-72.
- Béguin, P. & Clot, Y. (2004) – L'action située dans le développement de l'activité. *Activités*, 1(2), 35-49.
- Benguigui, N. (2001) – Théories et modèles de la perception et de l'action dans la gestion des contacts avec l'environnement. In V. Cavallo & C. Berthelon (Eds) *Facteurs perceptifs dans les activités de transport*. Arcueil : INRETS-LPC.
- Bisseret, A. (1995) - *Représentation et décision experte, psychologie cognitive de la décision chez les aiguilleurs du ciel*. Toulouse : Octarès.
- Bisseret, A., Figeac-Letan, G. & Falzon, P. (1988) - Modélisation des raisonnements opportunistes : l'activité des spécialistes de régulation des carrefours à feux. *Psychologie Française*, 33(3), 161-169.
- Breton, R. & Rousseau, R. (2003) – *Situation awareness : a review of the concept and its measurement*. Technical report TR-2001-220, Valcartier : Defence and Research Development Canada.
- Bruce, V. & Green, P.R. (1993) - *La perception visuelle - Physiologie, psychologie et écologie*. Grenoble : Presses Universitaires de Grenoble.
- Bryant, D.J., Lichacz, F.M.J., Hollands, J.G. & Baranski, J.V. (2004) – Modeling situation awareness in an organizational context : military command and control. In S. Banbury & S. Tremblay (Eds) *A cognitive approach to situation awareness : theory and application*. Aldershot : Ashgate.
- Cacciabue, P.C. (1998) - *Modelling and Simulation of Human Behaviour in System Control*. London : Springer-Verlag.
- Carroll, L.A. (1992) - Desperately seeking SA. *TCA Attack*, 32 (3), 5-6.
- Cavallo, V. (1989) - Le rôle des informations visuelles dans l'anticipation d'une collision. *Psychologie Française*, 34(1), 33-40.

- Cellier, J.M. (1996) - Exigences et gestion temporelle dans les environnements dynamiques. In J.-M. Cellier, V. De Keyser & C. Valot (Eds.) *La gestion du temps dans les environnements dynamiques*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Cellier, J.M., Eyrolle, H. & Mariné, C. (1997) - Expertise in dynamic environments. *Ergonomics*, 40 (1), 28-50.
- Chalandon, X. (1998) – *Situation Awareness : de la perception à la conscience de la situation*. Mémoire de DEA d'ergonomie, E.P.H.E., 1998.
- Chalandon, X. (2003) – Situation Awareness en conception système. In *Actes de la Conférence EPIQUE 2003*, Boulogne Billancourt : 2-3 octobre 2003.
- Chalandon, X. (2007) – Situation awareness - Invariants internes et Invariants externes - Approches croisées de la psychologie ergonomique et de l'ingénierie pour l'analyse des situations dynamiques. In *JOURNEE IMDR-SELF - Conception des systèmes de travail et maîtrise des risques*, Paris : 30 Janvier 2007.
- Chalmers, B. A., Easter, J. R., and Potter, S. S. (2000). Decision-centred visualisations for tactical decision support on a modern frigate. In *Proceedings of 2000 Command and Control Research and Technology Symposium, Making Information Superiority Happen*, Naval Postgraduate School, Monterey, CA, June 26-28, 2000.
- Chauvin, C. (2003) - Gestion des risques lors de la prise de décision en situation d'interaction dynamique : approches systémiques et cognitives. In *Actes de la Conférence EPIQUE 2003*, Boulogne Billancourt : 2-3 octobre 2003.
- Chemero, A. (2003) – An outline of a theory of affordances. *Ecological Psychology*, 15(2), 181-195.
- Cheng, P.W. (1985) - Restructuring versus automaticity : Alternative accounts of skill acquisition. *Psychological Review*, 92, 414-423.
- Connolly, T. (1988) - Hedge-clipping, tree-felling and the management of ambiguity. In M.B. McCaskey, L.R. Pondy & H. Thomas (Eds.) *Managing the challenge of ambiguity and change*. New-York : Wiley.
- De Keyser, V. (1990) - Fiabilité humaine et la gestion du temps dans les systèmes complexes. In J. Leplat & G. de Terssac (Eds.) *Les facteurs humains de la fiabilité*. Marseille : Octarès.
- Discry, F. (1996) - Apprentissage implicite des situations dynamiques. In J.-M. Cellier, V. De Keyser & C. Valot (Eds.) *La gestion du temps dans les environnements dynamiques*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Dolle, J.-M. (1997) - *Pour comprendre Jean Piaget*. Paris : Dunod.
- Dubey, G. (1997) - Faire "comme si" n'est pas faire. In P. Béguin & A. Weill-Fassina (Eds.) *La simulation en ergonomie : connaître, agir et interagir*. Toulouse : Octarès.
- Dubois, D., Fleury, D. & Mazet, C. (1993) - Représentations catégorielles : perception et/ou action ? Contribution à partir d'une analyse des situations routières. In A. Weill-Fassina, P. Rabardel & D. Dubois (Eds.) *Représentations pour l'action*. Toulouse : Octarès.
- Duchon, A.P., Warren, W.H. & Kaelbling, L.P. (2001) – Ecological robotics. *Adaptive Behavior*, 6(3/4), 473-507.
- Dusire, S. (1998) - Conscience ou construction de la situation ? L'utilisation des informations dites "party line". *Actes de la Conférence Internationale sur l'Interaction Homme-Ordinateur en Aéronautique HCI-Aero 98*, Montreal, 27-29 mai 1998.
- Endsley, M.R. (1993) – A survey of situation awareness requirements in Air-to-air combat fighters. *The International Journal of Aviation Psychology*, 3 (2), 157-168.
- Endsley, M.R. (1995a) - Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. *Human Factors*, 37 (1), 32-64.
- Endsley, M.R. (1995b) - Measurement of situation awareness in dynamic systems. *Human Factors*, 37 (1), 65-84.
- Endsley, M.R. (2004) – Situation awareness : progress and directions. In S. Banbury & S. Tremblay (Eds.) *A cognitive approach to situation awareness : theory and application*. Aldershot : Ashgate.

- Eyrolle, M., Mariné, C. & Mailles, S. (1996) - La simulation des environnements dynamiques : intérêts et limites. In J.-M. Cellier, V. De Keyser & C. Valot (Eds.) *La gestion du temps dans les environnements dynamiques*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Eysenck, M.W. & Keane, M.T. (1990) - *Cognitive Psychology : A student's handbook*. Londres : Lawrence Erlbaum.
- Flach, J.M. (1990) - The ecology of human-machine systems I : Introduction. *Ecological Psychology*, 2(3), 191-205.
- Flach, J.M. (1995a) - Situation Awareness : proceed with caution. *Human Factors*, 37 (1), 149-157.
- Flach, J.M. (1995b) – The ecology of human-machine systems : a personal history. In J. Flach, P. Hancock, J. Caird & K. Vicente (Eds) *Global perspectives of the ecological approach to human-machine systems*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates.
- Flach, J.M. & Warren, R. (1995a) – Low-altitude flight. In P. Hancock, J. Flach, J. Caird & K. Vicente (Eds) *Local applications of the ecological approach to human-machine systems*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates.
- Flach, J.M. & Warren, R. (1995b) – Active psychophysics : the relation between mind and what matters. In J. Flach, P. Hancock, J. Caird & K. Vicente (Eds) *Global perspectives of the ecological approach to human-machine systems*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates.
- Flach, J.M. & Rasmussen, J. (2000) - Cognitive engineering : designing for situation awareness. In N.B. Sarter & R. Amalbert (Eds.) *Cognitive engineering in the aviation domain*. New Jersey : Lawrence Erlbaum Associates.
- Fodor, J.A. & Pylyshyn, Z.W. (1981) – How direct is visual perception ? Some reflections on Gibson's "ecological approach". *Cognition*, 9, 139-196.
- Fracker, M.L. (1989) - Attention gradients in situation awareness. In AGARD conference proceedings 478 *La perception de la situation au cours des opérations aériennes*. Neuilly-sur-Seine : AGARD.
- Gibson, J.J. (1950) - *The perception of the visual world*. Boston : Houghton-Mifflin.
- Gibson, J.J. (1979) - *The ecological approach to visual perception*. Boston : Houghton-Mifflin.
- Gibson, J.J. & Crooks, L.E. (1938) - A theoretical field-analysis of automobile-driving. *The American Journal of Psychology*, LI (3), 453-471
- Grant, S. (1995) - Safety systems and cognitive models. In *Proc. 5th International Conference on Human-Machine Interaction and Artificial Intelligence in Aerospace*, Toulouse : EURISCO.
- Grau, J.Y. & Hourlier, S. (2000) - Les aides intelligentes au pilotage d'avions d'armes : concepts et perspectives. *Revue Scientifique et Technique de la Défense*, 48, 167-176.
- Grau, J.Y., Menu, J.-P. & Amalberti, R. (1996) - La conscience de la situation en aéronautique de combat. In AGARD conference proceedings 575 *La conscience de la situation : les limitations et l'amélioration en environnement aéronautique*. Neuilly-sur-Seine : AGARD.
- Greenwald, A.G. (1992) – New look 3 : unconscious cognition reclaimed. *American Psychologist*, 47, 766-779.
- Hartman, B.O. & Secrist, G.E. (1991) - Situational awareness is more than exceptional vision. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 62, 1084-1089.
- Hoc, J.M. (1987) - *Psychologie cognitive de la planification*. Grenoble : Presses Universitaires de Grenoble.
- Hoc, J.M. (1996) - *Supervision et contrôle de processus*. Grenoble : Presses Universitaires de Grenoble.
- Hoc, J.M. (1998) – L'ergonomie cognitive : un compromis nécessaire entre des approches centrées sur la machine et des approches centrées sur l'homme. In Actes du colloque *Recherche et Ergonomie*. Toulouse : SELF.
- Hoc, J.M. & Amalberti, R. (1994) - Diagnostic et prise de décision dans les situations dynamiques. *Psychologie Française*, 39 (2), 177-192.

Hoc, J.M. & Amalberti, R. (2003) – Adaptation et contrôle cognitive : supervision de situations dynamiques complexes. In *Actes de la Conférence EPIQUE 2003*, Boulogne Billancourt : 2-3 octobre 2003.

Hoc, J.M., Amalberti, R., Cellier, J.M. & Grosjean, V. (2004) – Adaptation et gestion des risques en situation dynamique. In J.M. Hoc & F. Darses (Eds) *Psychologie ergonomique : tendances actuelles*. Paris : Presses Universitaires de France.

Hogg, D. N., Folleso, K., Strand-Volden, F. & Torralba, B. (1995) - Development of a situation awareness measure to evaluate advanced alarm systems in nuclear power plant control rooms. *Ergonomics*, 38 (11), 2394-2413.

Hollnagel, E. (1993) - Models of cognition : procedural prototypes and contextual control. *Le Travail humain*, 56 (1), 27-51.

Hollnagel, E. (1998) - Measurements and Models, Models and Measurements : You can't have one without the other. In RTO-Meeting Proceeding-4 *Collaborative Crew Performance in Complex Operational Systems*, Neuilly-sur-Seine : RTO.

Hollnagel, E., Nabo, A. & Lau, I.V. (2003) - A systemic model for driver-in-control. In Proceedings of the *Second International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design*, Park City : juillet 2003.

Hoyle, F. (1957) – *The black cloud*. William Heinemann : London.

Hutchins, E. (1995) - How cockpit remembers its speed. *Cognitive Science*, 19, 265-288.

Javaux, D. & De Keyser, V. (1998) - *Complexité et conscience de la situation dans les glass-cockpits* (rapport technique). Document DGAC-Université de Liège

Jeannot, E., Kelly, C. & Thompson, D. (2003) – The development of situation awareness measures in ATM systems. Technical report HRS/HSP-005-REP-01, Bruxelles : Eurocontrol/EATMP.

John, M. St., Manes, D. I., Smallman, H. S., Feher, B. & Morrison, J. G. (2004) - *An intelligent threat assessment tool for decluttering naval air defense displays*. Technical report 1915, San Diego : SPAWAR.

Jouanneaux, M. (1999) - *Le pilote est toujours devant*. Toulouse : Octares.

Klein, G.A. (1993a) - A Recognition-Primed Decision (RPD) model of rapid decision making. In G. A. Klein, J. Orasanu, R. Calderwood & C.E. Zsombok (Eds.) *Decision making in action : models and methods*. New Jersey : Ablex Publishing Corporation.

Klein, G.A. (1993b) - Twenty questions : suggestions for research in naturalistic decision making. In G. A. Klein, J. Orasanu, R. Calderwood & C.E. Zsombok (Eds.) *Decision making in action : models and methods*. New Jersey : Ablex Publishing Corporation.

Klein, G.A. (1995) - Studying situation awareness in the context of decision-making incidents. In D.J. Garland & M.R. Endsley (Eds.) *Experimental analysis and measurement of situation awareness*. Florida : Embry-Riddle Aeronautical University Press.

Klein, G.A. (1997) - The Recognition-Primed Decision (RPD) model : looking back, looking forward. In C.E. Zsombok & G.A. Klein (Eds.) *Naturalistic Decision Making*. New Jersey : Lawrence Erlbaum Associates.

Kuchar, J.K. & Yang, L.C. (2000) - A review of conflict detection and resolution modeling methods. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 1(4), 179-189.

Lee, D.N. (1976) – A theory of visual control of braking based on information about time-to-collision. *Perception*, 5, 437-459.

Lee, D.N. (1980) - The optic flow held : The foundation of vision. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, Series B, 290, 169-179.

- Lefebvre, C. (2001) – Vers une formation à la conduite automobile intégrant des connaissances conceptuelles et des métaconnaissances. *Recherche Transports Sécurité*, 70, 16-40.
- Leontiev, A. (1975) - *Activité, conscience, personnalité*. Moscou : Editions du Progrès.
- Leplat, J. (1985) - Les représentations fonctionnelles dans le travail. *Psychologie Française*, 30 (3-4), 269-275.
- Leplat, J. (1995) - A propos des compétences incorporées. *Education Permanente*, 123, 101-114.
- Leplat, J. (1997) - *Regards sur l'activité en situation de travail, contribution à la psychologie ergonomique*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Leplat, J. (2005) - Les automatismes dans l'activité : pour une réhabilitation et un bon usage. *Activités*, 2(2), 43-68.
- Leplat, J. & Hoc, J.-M. (1983) - Tâche et activité dans l'analyse psychologique des situations. *Cahiers de Psychologie Cognitive*, 3(1), 49-63.
- Lipshitz, R. (1993) - Converging themes in the study of decision making in realistic settings. In G. A. Klein, J. Orasanu, R. Calderwood & C.E. Zsombok (Eds.) *Decision making in action : models and methods*. New Jersey : Ablex Publishing Corporation.
- Maugey, B. (1996) - *L'utilisateur final et le processus de conception, à partir d'un exemple de l'industrie aéronautique*. Mémoire de DEA d'ergonomie, C.N.A.M., 1996.
- McGrenere, J. & Ho, W. (2000) – Affordances : clarifying and evolving a concept. In *Proceedings of Graphics Interface 2000*. Montreal, mai 2000.
- Menu, J.-P. (2001) – Facteurs sensoriels et cognitifs : application à la conduite automobile. In V. Cavallo & C. Berthelon (Eds) *Facteurs perceptifs dans les activités de transport*. Arcueil : INRETS-LPC.
- Menu, J.-P. & Amalberti, R. (1989) - Les déterminants de l'appréciation de la situation tactique et le développement de systèmes d'aides ergonomiques. In AGARD conference proceedings 478 *La perception de la situation au cours des opérations aériennes*. Neuilly-sur-Seine : AGARD.
- Michaels, C.F. (2003) - Affordances : four points of debate. *Ecological Psychology*, 15(2), 135-148
- Michon, J.A. (1985) - A critical view of driver behavior models. What do we know, what should we do ?. In L. Evans & R. Schwing (Eds). *Human behavior and traffic safety*. New York : Plenum Press.
- Miller, G.A. (1962) – *Psychology : the science of mental life*. New-York : Harper and Row.
- Moray, N. (1997) - Que se passe-t-il chez les ergonomes anglophones ?. *Actes du XXXIIème Congrès de la SELF*. Lyon, 1997.
- Morineau, T. (2000) – Time-To-Collision and action sequencing on aircraft conflicts in Air Traffic Control. In *10th European Conference on Cognitive Ergonomics*. Linköping, Sweden.
- Morineau, T. (2001) – Éléments pour une modélisation du concept d'affordance. In *ÉPIQUE 2001, Actes des Journées d'étude en Psychologie ergonomique*. Nantes, IRCCyN, France, 29-30 Octobre 2001.
- Morineau, T., Hoc, J.M. & Denecker, P. (2003) - Cognitive control levels in air traffic radar controller activity. *The International Journal of Aviation Psychology*, 13(2), 107-130.
- Morineau, T. & Parenthoën, M. (2003) - Une présentation de l'approche écologique en psychologie ergonomique. *Psychologie Française*, 48(2), 77-88.
- Morishige, R.I. & Retelle, J. (1985) - Air combat and artificial intelligence. *Air Force Magazine*, 68(10), 91-93.
- Morrel, J.S. (1958) - The mathematics of collision avoidance in the air. *Journal of Navigation*, 11, 18-28.
- Muckler, F.A. & Seven, S.A. (1992) - Selecting performance measures : "objective" versus "subjective" measurement. *Human Factors*, 34 (4), 441-455.

- MunduteGuy, C. (2001) – *Reconnaissance d'intention et prédiction d'action pour la gestion des interactions en environnement dynamique*. Mémoire de doctorat d'ergonomie, Conservatoire National des Arts et Métiers, 2001.
- Navathe, P.D. & Singh, B. (1994) - An operational definition for spatial disorientation. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 65 (12), 1153-1155.
- Nofi, A.A. (2003) – *Defining and measuring shared situational awareness*. Technical report CRM D0002895.A1, Virginia : Center for Naval Analyses.
- Noizet, A. & Amalberti, R. (2000) – Le contrôle cognitif des activités routinières des agents de terrain en centrale nucléaire. *Revue d'Intelligence Artificielle*, 1-2, 107-129.
- Norman, D.A. (1988) - *The psychology of everyday things*. New York: Basic Books.
- Ochanine, D. A., Krémen, M. & Koulakov, V. (1973) - Dynamique des images opératives dans les processus de poursuite avec extrapolation. In *Régulation de l'activité*. Moscou.
- Ohlmann, T. & Marendaz, C. (1991) – Vicariances et affordances : deux outils pour l'ergonomie cognitive. In Collectif (Eds.) *Entretiens Science et Défense 91*. Paris : Dunod.
- Orasanu, J. & Connolly, T. (1993) - The reinvention of decision making. In G. A. Klein, J. Orasanu, R. Calderwood & C.E. Zsombok (Eds.) *Decision making in action : models and methods*. New Jersey : Ablex Publishing Corporation.
- Orasanu, J. & Fisher, U. (1997) - Finding decisions in natural environments : the view from the cockpit. In C.E. Zsombok & G.A. Klein (Eds.) *Naturalistic Decision Making*. New Jersey : Lawrence Erlbaum Associates.
- Padfield, G.D., Lee, D.N. & Bradley, R. (2001) - How do helicopter pilots know when to stop, turn or pull up ?. *American Helicopter 57th annual forum*. Washington DC.
- Pailhous, J. & Bonnard, M. (1989) - Programmation et contrôle du mouvement. In C. Bonnet, R. Ghiglione & J.-F. Richard (Eds) *Traité de Psychologie Cognitive 1*. Paris : Dunod.
- Panaccio, C. (2005) – L'extension des protoconcepts : une approche fonctionnaliste. *Public@tions Electroniques de Philosophi@ Scienti@e*, volume 2.
- Pastré, P. (1997) – Didactique professionnelle et développement. *Psychologie Française*, 42 (1), 89-100.
- Pastré, P. (1999) – La conceptualisation dans l'action : bilan et nouvelles perspectives. *Education Permanente*, 139, 13-35.
- Pastré, P. (2004) - Le rôle des concepts pragmatiques dans la gestion de situations problèmes. In R. Samurçay & P. Pastré (Eds.) *Recherches en didactique professionnelle*. Toulouse : Octarès.
- Perrenoud, P. (1999) – Gestion de l'imprévu, analyse de l'action et construction des compétences. *Education Permanente*, 140 (3), 123-145.
- Piaget, J. (1947) - *Psychologie de l'intelligence*. Paris : Armand Colin.
- Piaget, J. (1974a) - *La prise de conscience*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Piaget, J. (1974b) - *Réussir et comprendre*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Previc, F.H., Yauch, D.W., De Vilbiss, C.A., Ercoline, W.R. & Sipes, W.E. (1995) - In defense of traditional views of spatial disorientation and loss of situation awareness. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 66 (11), 1103-1106.
- Prevost, P. (2002) – *Stratégies d'anticipation et rôle du contexte dans les tâches visuo-motrices*. Mémoire de doctorat en Sciences, Université Paris XI, UFR Scientifique d'Orsay, 2002.
- Prince, C. & Salas, E. (1997) - The role of situation assessment in the conduct of flight and in decision making. In D. Harris (Ed.) *Engineering psychology and cognitive ergonomics, volume one, Transportation systems*. Aldershot : Ashgate.

- Proust, J. (2003) – *Les animaux pensent-ils ?* Paris : Bayard.
- Rabardel, P. (1993) - Micro-genèse et fonctionnalité des représentations dans une activité avec instrument. In A. Weill-Fassina, P. Rabardel & D. Dubois (Eds.) *Représentations pour l'action*. Toulouse : Octarès.
- Rabardel, P. (1995) - *Les hommes et les technologies - Approche cognitives des instruments contemporains*. Paris : Armand Colin.
- Ranney, T.A. (1994) - Models of driving behaviour : a review of their evolution. *Accident Analysis and Prevention*, 26(6), 733-750.
- Rasmussen, J. (1986) - *Information processing and human-machine interaction*. Amsterdam : North-Holland.
- Rasmussen, J. (1997) - Risk management in a dynamic society : a modelling problem. *Safety Science*, 27(2/3), 183-213.
- Raufaste, E. (1999) - *La théorie du support consonnant*. Thèse de doctorat de psychologie, Université de Toulouse Le Mirail.
- Reason, J. (1993) - *L'erreur humaine*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Récopé, M. (1997) - Vers un constructivisme énatif. *Psychologie Française*, 42 (1), 77-88.
- Reed, E.S. (1996) - *Encountering the world*. New York : Cambridge University Press.
- Reuchlin, M. (1978) - Processus vicariants et différences individuelles. *Journal de Psychologie Normale et Pathologique*, 2, 133-145.
- Richard, J.-F. (1990) - *Les activités mentales : comprendre, raisonner, trouver des solutions*. Paris : Armand Colin.
- Rogalski, J. & Samurçay, R. (1993) - Représentations de référence : outils pour le contrôle d'environnement dynamique. In A. Weill-Fassina, P. Rabardel & D. Dubois (Eds.) *Représentations pour l'action*. Toulouse : Octarès.
- Rogard V. & de Montmollin, M. (1997) - "Situation de travail". In M. de Montmollin (Ed.) *Vocabulaire de l'ergonomie*, Editions Octares. 256-257.
- Rouse, W. B. (1983) - *Systems Engineering Models of Human-Machine Interaction*. New York: North Holland.
- Rousseau, R., Tremblay, S. & Brenton, R. (2004) – Defining and modeling Situation Awareness : a critical review. In S. Banbury & S. Tremblay (Eds) *A cognitive approach to situation awareness : theory and application*. Aldershot : Ashgate.
- Roy, J.-M. (2003) - Comment peut-on ne pas être représentationaliste ? Cognition, énativité et représentation. *Colloque « Hommage à Francisco Varela »*, CREA/LEANA, Paris : 23-24 juin 2003.
- Salembier, P. (1996) - *Cognition(s) : Située, Distribuée, Socialement partagée, etc., etc., ...* Bulletin du LPCE, 1, Paris : Ecole Normale Supérieure.
- Sanderson, P.M. (2003) – Cognitive work analysis across the system life-cycle : achievements, challenges and prospects in aviation. In P. Pfister & G. Edkins (Eds) *Aviation Ressource Management (Vol 3)*. Aldershot : Ashgate.
- Sarter, N.B. & Woods, D.D. (1991) - Situation awareness : a critical but ill-defined phenomenon. *The International Journal of Aviation Psychology*, 1(1), 45-57
- Sarter, N.B. & Woods, D.D. (1994) - "How in the world did I ever get into that mode ?" Mode error and awareness in supervisory control. In R.D. Gilson, D.J. Garland & J.M. Koonce (Eds.) *Situational awareness in complex system*. Florida : Embry-Riddle Aeronautical University Press.
- Schmidt, K. (2002) – The problem with 'Awareness'. *Computer Supported Cooperative Work*, 11, 285-298.
- Schwartz, D. (1993) - Training for situationnal awareness. *Air Line Pilot*, 62(4), 20-23.

- Schwartz, Y. (1993) - "C'est compliqué", activité symbolique et activité industrielle. *Education Permanente*, 116, 118-131.
- Sébillotte, S. (1984) - La résolution de problèmes en situation de diagnostic. Un exemple : le diagnostic médical. *Psychologie Française*, 29 (3-4), 273-277.
- Sébillotte, S. (1993) - Schémas d'actions acquis par l'expérience dans les représentations mentales des opérateurs : leurs utilisations et la construction de nouveaux schémas. In A. Weill-Fassina, P. Rabardel & D. Dubois (Eds.) *Représentations pour l'action*. Toulouse : Octarès.
- Senach, B. (1984) - La recherche de solution aux incidents en contrôle de processus. *Psychologie Française*, 29 (3-4), 279-283.
- Shanon, B. (1991) - Alternative theoretical frameworks for psychology : a synopsis. In A. Still & A. Costall (Eds.) *Against Cognitivism : alternative foundations for cognitive psychology*. Hertfordshire : Harvester Wheatsheaf.
- Shaw, R.E., Flasher, O.M. & Kadar, E.E. (1995) – Dimensionless invariants for intentional systems : measuring the fit of vehicular activities to environmental layout. In J. Flach, P. Hancock, J. Caird & K. Vicente (Eds) *Global perspectives of the ecological approach to human-machine systems*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates.
- Sigaud, O. & Flacher, F. (2002) - Vers une approche dynamique de la sélection de l'action. In A. Guillot & E. Dauce (Eds) *Approche dynamique de la cognition artificielle*. Paris : Hermès.
- Simon, G. (2003) – *Archéologie de la vision*. Paris : Seuil.
- Smith, K. & Hancock, P.A. (1995) - Situation awareness is adaptative, externally directed consciousness. *Human Factors*, 37 (1), 137-148.
- Smith, K., Lewin, J. & Hancock, P.A. (1997) - The invariant that drives conflict detection. In D. Harris (Ed.) *Engineering psychology and cognitive ergonomics*, volume one. Aldershot : Ashgate.
- Spérando, J.C. (1984) - *L'ergonomie du travail mental*. Paris : Masson.
- Stoffregen, T.A. (2003) – Affordances as properties of the animal-environment system. *Ecological Psychology*, 15(2), 115-134.
- Stoffregen, T.A. (2004) – Breadth and limits of the affordances concept. *Ecological Psychology*, 16(1), 79-85.
- Suchman, L. (1987) - *Planning and situated action*. Cambridge : Cambridge university press.
- Taylor, R.M. (1990) – Situation Awareness Rating Technique : the development of a tool for aircrew system design. In AGARD conference proceedings 478 *Situational Awareness in Aerospace Operations*. Neuilly-sur-Seine : AGARD.
- Teiger, C. (1993) - Représentation du travail et travail de la représentation. In A. Weill-Fassina, P. Rabardel & D. Dubois (Eds.) *Représentations pour l'action*. Toulouse : Octarès.
- Terrier, P., Cellier, J.-M., Carreras, O. (2001) - Un cadre théorique pour la conception d'interfaces : les interfaces écologiques. In J.-M. Cellier & J.-M. Hoc (Eds.), *Psychologie Française (numéro spécial sur la gestion d'environnements dynamiques)*, 46(2), 153-165.
- Theureau, J. (1997) - L'utilisation des simulateurs de salle de contrôle de réacteur nucléaire et de cockpit d'avion à des fins autres que de formation : présentation et discussion des tendances actuelles. In P. Béguin & A. Weill-Fassina (Eds.) *La simulation en ergonomie : connaître, agir et interagir*. Toulouse : Octarès.
- Thorton, I.M. & Hubbard, T. (2002) - Representational momentum : new findings, new directions. *Visual Cognition*, 9(1/2), 1-7.
- Tresilian, J.R. (1999) - Visually timed action : time-out for 'tau' ? *Trends in Cognitive Sciences*, 3(8), 301-310.
- Valot, C. (1996) - Gestion du temps. Gestion du risque (à travers quelques situations aéronautiques). In J.-M. Cellier, V. De Keyser & C. Valot (Eds.) *La gestion du temps dans les environnements dynamiques*. Paris : Presses Universitaires de France.

- Valot, C., Grau, J.Y. & Amalberti, R. (1993) - Les métaconnaissances : des représentations de ses propres compétences. In A. Weill-Fassina, P. Rabardel & D. Dubois (Eds.) *Représentations pour l'action*. Toulouse : Octarès.
- Varela, F., Thompson, E. & Rosch, E. (1993) – *L'inscription corporelle de l'esprit*. Paris : Seuil.
- Van Daele, A. & Carpinelli, F. (1996) - Anticipation de l'action et anticipation du processus : l'influence de la situation. In J.-M. Cellier, V. De Keyser & C. Valot (Eds.) *La gestion du temps dans les environnements dynamiques*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Vera, A.H. & Simon, H.A. (1993) – Situated action : a symbolic interpretation. *Cognitive Science*, 17(1), 7-48.
- Vergnaud, G. (1985) – Concepts et schèmes dans une théorie opératoire de la représentation. *Psychologie Française*, 30(3/4), 245-252.
- Vergnaud, G. (2001) – Piaget visité par la didactique. *Intellectica*, 33(2), 107-123.
- Vermersch, P. (1978) - Une problématique théorique en psychologie du travail : essais d'application des théories de J. Piaget à l'analyse du fonctionnement cognitif de l'adulte. *Le Travail Humain*, 41(2), 265-278.
- Vermersch, P. (1993) - Pensée privée et représentation dans l'action. In A. Weill-Fassina, P. Rabardel & D. Dubois (Eds.) *Représentations pour l'action*. Toulouse : Octarès.
- Vermersch, P. (1994) - *L'entretien d'explicitation en formation initiale et en formation continue*. Paris : Editions Sociales Françaises.
- Vicente, K. (1990) – Coherence- and correspondence-driven work domains: implications for systems design. *Behaviour & Information Technology*, 9(6), 493-502.
- Vicente, K. (1999) - *Cognitive Work Analysis*. New Jersey : Lawrence Erlbaum Associates.
- Vicente K.J. & Rasmussen, J. (1990) - The ecology of human-machine systems II : Mediating "direct perception" in complex work domains. *Ecological Psychology*, 2(3), 207-249.
- Vidulich, M., Dominguez, C., Vogel, E. & McMillan, G. (1994) – *Situation Awareness : papers and annotated bibliography*. Technical Report AL/CF-TR-1994-0085, Armstrong Laboratory, Wright-Patterson AFB : Etats-Unis.
- Visser, W. & Falzon, P. (1992) - Catégorisation et types d'expertise. Une étude empirique dans le domaine de la conception industrielle. *Intellectica*, 15, 27-53.
- Wagman, J.B. & Miller, D.B. (2003) – Nested reciprocities : the Organism - Environment system in Perception – Action and Development. *Developmental Psychobiology*, 42, 317-334.
- Warren, W.H. (1984) - Perceiving affordances: Visual guidance of stair climbing. *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, 10, 683-703.
- Weill-Fassina, A. (1993) - Dynamique des représentations et gestion des actions (Présentation). In A. Weill-Fassina, P. Rabardel & D. Dubois (Eds.) *Représentations pour l'action*. Toulouse : Octarès.
- Weill-Fassina, A., Rabardel, P. & Dubois, D. (1993) – Représentations pour l'action – Introduction générale. In A. Weill-Fassina, P. Rabardel & D. Dubois (Eds.) *Représentations pour l'action*. Toulouse : Octarès.
- Wickens, C.D. (1984) - *Engineering psychology and human performance*. Colombus : Charles Merrill.
- Wickens, C.D. (1996a) - Situation awareness : impact of automation and display technology. In AGARD conference proceedings 575 *La conscience de la situation : les limitations et l'amélioration en environnement aéronautique*. Neuilly-sur-Seine : AGARD.
- Wickens, C.D. (1996b) - The attention issue in pilot/aircraft interaction and its impact on situation awareness. *NATO AGARD Workshop*, Munich, 9-10 mai 1996.
- Zhang, J., & Norman, D.A. (1994) - Representations in distributed cognitive tasks. *Cognitive Science*, 18 (1), 87-122.

ANNEXE - THEMES ET APPROCHES CONNEXES

Le domaine associé au concept de la *Conscience de la Situation* étant extrêmement vaste, nous avons dû poser certaines limites au champ exploratoire de nos travaux compte tenu de nos objectifs d'étude. Cependant, par souci d'exhaustivité de la revue de la littérature, sont présentés ci-après certains thèmes et approches connexes aux quatre familles de modèles exposées précédemment, à savoir :

- l'orientation spatiale,
- la *Conscience des Modes*,
- Les aspects collectifs de la *Conscience de la Situation*,
- Les méthodes de mesure de la *Conscience de la Situation*.

Présentant une "vue en creux", ce paragraphe vient préciser le cadre de notre étude vis à vis de thèmes qui ne sont pas (ou peu) abordés dans le reste de ce rapport.

L'orientation spatiale

Deux notions particulièrement présentes dans la conduite de mobiles sont à distinguer :

- **L'orientation spatiale** qui repose sur la capacité à se positionner par rapport à un référentiel fixe : les directions verticales et horizontales de l'espace. L'orientation spatiale est le produit d'une intégration de signaux issus de systèmes sensoriels (systèmes visuel, vestibulaire, proprioceptif et auditif).
- **La Conscience de la Situation** qui est assimilée à la compréhension de la situation géographique et tactique et repose sur la capacité à se positionner par rapport à un référentiel relatif constitué par les propriétés dynamiques des objets de l'environnement²⁹. Dans un des premiers modèles (repris plus récemment par Menu [2001] dans le cadre de la conduite automobile), Menu & Amalberti [1989] proposent deux niveaux fonctionnels distincts de la *Conscience de la Situation* qui diffèrent notamment selon les rapports entretenus avec l'orientation spatiale :
 - Un niveau de compréhension de la scène, i.e. du positionnement géographique, résultant de l'analyse cognitive de données de différentes natures : suite d'états d'orientation spatiale provenant de l'intégration multisensorielle, connaissances des buts poursuivis et connaissances du comportement de la machine (modèle du processus). Dans le cadre du modèle opus cité, l'orientation spatiale et la compréhension de la scène sont donc considérées comme interdépendantes, bien que reposant sur des mécanismes différents.
 - Un niveau d'analyse tactique qui intègre les données de la compréhension de la scène à celles qui lui sont fournies par un modèle mental de comportement des acteurs de la situation, modèle lui-même issu de l'expertise et éventuellement réactualisé lors des phases de préparation de la tâche (préparation d'une mission aérienne, préparation d'un trajet en voiture, etc.). Dans le cadre du modèle opus cité, il y a absence de

²⁹ Le terme situation tactique doit être pris ici au sens large et non pas uniquement militaire : il recouvre l'ensemble des événements et contraintes générés par le contexte.

rétroaction directe entre la compréhension de la situation tactique et l'orientation spatiale.

Certains auteurs ont poursuivi dans cette voie en séparant clairement sous un mode hiérarchique l'orientation spatiale, l'orientation géographique et la *Conscience de la Situation* qui est alors dédiée à l'analyse de la situation tactique [Navathe & Singh, 1994]. L'orientation spatiale est alors traitée comme un phénomène distinct, périphérique. A l'inverse, d'autres auteurs soulignent les interactions fortes entre la *Conscience de la Situation* et l'orientation spatiale, notamment sur le plan des modèles d'attente [Previc et al., 1995].

Dans le cadre de notre étude, nous n'étudions ni l'orientation spatiale en tant que telle, ni les éventuelles interactions pouvant exister entre la compréhension de la situation et l'intégration multisensorielle sous-tendant l'orientation spatiale.

La Conscience des Modes

Dans le cas où une partie de l'interaction sujet/environnement est médiatisée par un outil, l'opérateur construit une représentation de l'outil qui peut mélanger deux types de fonctionnalités : la fonctionnalité technique (l'outil est représenté sous l'angle de sa logique de fonctionnement propre) et la fonctionnalité pour l'action (l'outil est représenté en référence à l'activité dans le contexte de la situation) [Rabardel, 1993]. Cette représentation porte sur les domaines et contraintes d'utilisation de l'outil qui sont intégrés dans la représentation du processus et influent, en tant que possibilités d'action, sur l'interprétation de la situation. Si cette représentation, en particulier sous l'angle des fonctionnalités pour l'action, est intégrée à nos travaux, le cas plus particulier de l'automatisation induit une extension du référent de la *Conscience de la Situation* [Sarter & Woods, 1994]. Par exemple, dans le domaine aéronautique, se posent non seulement les problèmes de surveillance des paramètres de pilotage (vitesse, altitude, attitude, etc.), des états (train d'atterrissage, volets, etc.), de gestion des ressources externes (carburant, capteurs, etc.) mais également d'identification du mode dans lequel est le système (i.e. quelles tâches sont actuellement déléguées à la machine). Conséquence de l'automatisation, la "**conscience des modes**" est actuellement un sujet de recherche à part entière (voir en particulier Javaux & De Keyser [1998]) qui n'est pas inclus dans la présente étude.

La Conscience de la Situation collective

Par extension de la notion de CS individuelle, la CS collective est majoritairement présentée par la notion de représentation partagée entre acteurs engagés dans un processus actif de coopération en vue de réaliser un but commun ("*conscience partagée de la situation*" et non "*conscience d'une situation partagée*" qui relèverait plus de la co-action, [Nofi, 2003]). Bien que beaucoup moins détaillé, le modèle de la coopération proposé par Nofi est assez similaire à celui de Hoc [1998] qui repose sur une architecture générique à 3 niveaux dont les caractéristiques principales sont brièvement décrites ci-après :

- **Le niveau des interférences** concrets est celui de la coopération dans l'action où les comportements des acteurs peuvent interférer de manière positive ou négative (niveau curieusement absent du modèle de Nofi).
- **Le niveau du référentiel commun** concerne la coopération dans la planification. Ce référentiel commun présente deux grandes catégories de contenu - l'environnement

externe et l'activité des acteurs – et deux modes de (re)construction – le simple maintien par échange d'information "allant de soi" et le mode d'élaboration dans lequel une incompréhension entre acteurs induit une nécessaire reconstruction partielle de ce référentiel partagé. Dans le modèle de Nofi, ce niveau est identifié à la CS partagée et est constitué par l'intersection des CS individuelles, intersection qui est plus à penser en termes de compatibilité entre référentiels individuels qu'en termes de similarité ou d'égalité de ces référentiels.

- **Le niveau de la méta-coopération** concerne la gestion de structures de représentations telles que des plans communs de coopération, des modèles de soi ou des partenaires, ou des codes de communication communs (Nofi parle de "*socle commun*"). Ces structures résultent d'une longue expérience de la coopération (acquises notamment par l'entraînement) et contiennent des informations qui sont éloignées de l'action sur le processus.

Par ailleurs, il est à noter que le terme "*awareness*" fait actuellement débat dans le domaine croisé du CSCW (*Computer Supported Cooperative Work*) et des théories de l'action située (voir par exemple [Schmidt, 2002] pour une revue de cette question). Si certains chercheurs assimilent l'*awareness* à la "conscience" témoin d'un engagement actif dans la situation, d'autres auteurs la rapprochent de l'attention diffuse ou distribuée qui permettrait aux acteurs de construire implicitement une "image de l'autre" à partir du recueil passif d'indices comportementaux (d'où l'importance de dispositifs techniques visant à rendre visible cette co-présence en particulier dans les cas de coopération distante et/ou asynchrone). Bien que ce débat ne soit pas approfondi dans le cadre de notre étude, il permet d'introduire la distinction entre deux sources de l'inconscient cognitif : l'inattention de la conscience et le manque (ou l'incapacité) de la conscience réflexive [Grunwald, 1992].

Mesure de la *Conscience de la Situation*

A l'instar de la charge de travail, la question de la mesure de la *Conscience de la Situation* a été posée dès l'émergence de ce concept comme objet de recherche et de nombreuses méthodes sont proposées dans la littérature (pour des revues assez exhaustives, voir [Breton & Rousseau, 2003] et surtout [Jeannot et al., 2003]). En synthèse, les principales approches reposent sur l'utilisation de questionnaires et se distinguent selon les éléments suivants :

- Le type de questionnaire :
 - Des questionnaires dits "objectifs" visant à quantifier la compréhension d'une situation par comparaison entre la situation "réelle" et la situation perçue³⁰.
 - Des questionnaires dits "subjectifs" visant à quantifier le sentiment d'avoir compris la situation.
- La méthode d'administration du questionnaire, soit à la fin de la réalisation de la tâche, soit pendant des arrêts provoqués de la simulation (en masquant alors le plus souvent les informations présentées), soit "en ligne" de manière plus ou moins intégrée à la tâche prescrite.
- Le calcul d'indice quantitatif, qui est le plus souvent une moyenne pondérée des cotations des sujets ou du nombre de réponses correctes fournies. Une étude statistique est

³⁰ Souvent mis en avant, le caractère objectif de ce type d'approche renvoie en fait à un consensus d'opinions subjectives d'experts afin d'établir la référence [Muckler & Seven, 1992], consensus qui risque de présenter une faible cohérence par rapport à l'activité déployée par un opérateur dans une situation particulière [Amalberti, 1996].

généralement réalisée sur l'ensemble des réponses obtenues sans réelle production de modèle descriptif ou explicatif.

Malgré l'importance du champ bibliographique consacré à la mesure de la CS, cette problématique est peu abordée dans notre étude et ce pour les raisons suivantes :

- En accord avec Hollnagel [1998], nous pensons que les modèles cadre de la *Conscience de la Situation* sont actuellement sous-spécifiés pour permettre l'élaboration d'une approche fermée de la mesure de la CS. Le risque est donc celui d'une évaluation peu significative du point de vue de l'activité des opérateurs.
- Du point de vue de l'ergonomie de conception, ces méthodes d'évaluation interviennent de façon beaucoup trop tardive et ne favorisent pas l'instauration du processus de définition participative. En l'état actuel, l'enjeu premier pour l'analyste est la compréhension et non le jugement.

Cependant, nous pouvons noter deux points de discussions qui ont des répercussions théoriques :

- La plupart des auteurs recommandent l'utilisation croisée de plusieurs méthodes (en particulier "objectives" et "subjectives", cf. [Nofi, 2003] par exemple). Bien que cette recommandation puisse être associée au "flou" du concept mesuré [Theureau, 1997], McGuinness (cité par Nofi [2003]) la replace dans un cadre analogue à celui de la Théorie de Détection du Signal en identifiant quatre cas :
 - [CS "objective" élevée – CS "subjective" élevée] : configuration idéale de maîtrise de la situation et de soi dans la situation.
 - [CS "objective" faible – CS "subjective" faible] : cas d'incompréhension "actée" qui va modifier le mode de contrôle de l'activité.
 - [CS "objective" élevée – CS "subjective" faible] : cas de compréhension "non actée" pouvant être caractéristique de novices.
 - [CS "objective" faible – CS "subjective" élevée] : cas le plus critique d'incompréhension "non actée", symptôme d'une perte complète de la *Conscience de la Situation*.

Cette analyse présente l'intérêt d'introduire le rôle des métaconnaissances (savoir sur le savoir) mais elle repose sur la prémisse qu'il existe une "bonne CS", ce qui pose tout le problème de la construction d'une référence pré-existante au sujet et à son engagement dans la situation.

- Réfutant la validité du masquage des informations lors de l'administration d'un questionnaire, Jeannot et al. [2003] importent dans le champ de la mesure une partie du champ théorique de la cognition distribuée ([Norman, 1988], [Hutchins, 1995]). Les auteurs posent le problème du système d'analyse : la CS se trouve-t-elle dans la "tête" ou dans le système cognitif formé par le couple [représentation interne ; représentations externes] ?

ANNEXE – PHD EXTENDED ABSTRACT

Situation Awareness

Internal Invariants and External Invariants

Ergonomics psychology and engineering in the analysis of dynamic situations

Cross-fertilized approaches

Operators in charge of complex dynamic processes (mobile guiding and control, flow supervision, fire propagation management, product transformation process control) deal with multiple variables interacting and developing over time. Such developments are irreversible and take place relatively independently from operators' activity : the situation continue to evolve with or without intervention. The risk associated with certain situations, the urgency with which decisions must be taken and actions carried out, the ambiguity and potential conflict between the available information add yet another psychological component to the structural complexity [De Keyser, 1990].

To "address" these complexities, the *Situation Awareness* (SA) concept has been presented for more than 15 years as a key element for the control of the situation dynamics and for the integration of the operator's activity within such dynamics. The research work presented below is an attempt to operationalise this concept by considering the situation as a dual [task-operator] system the components of which are in a co-determinance relationship. The operator's activity stands at the core of the functioning of such system and its analysis is conducted by dovetailing two reference frameworks: the **cognitive system and the action domain** [Leplat & Hoc 1983]. We shall, more particularly, dovetail these two approaches in *Situation Awareness* :

- A "**Subject driven**" approach, deriving from ergonomics psychology which explains the architecture and the regularity of cognitive processes intervening in adaptations (balance between "Understand and Success").
- An "**Environment driven**" approach using tools from the engineering sphere to formalise those external constraints which are relevant/significant to a successful adaptation.

1 SITUATION AWARENESS

The concept of *Situation Awareness* has first been put forward by military pilots so as to qualify their adaptation capability to their work environmental constraints. [Flach & Rasmussen, 2000]. In their words a "High" SA signals that the pilot is fully "synchronised" with his task dynamics : he has a thorough comprehension of his task and he integrates the various components of his environment within a consistent mental picture aligned on his global mission. A "Low" SA reflects the experience of being "lost", confronted with an apparent incoherent complexity, to be "behind the aircraft", i.e. to be out of phase with the external dynamics.

The scientific litterature is rather homogeneous as regards the main functions associated with *Situation Awareness* : create coherence in external events, create expectations and guide information collection, serve as an anchor to subsequent decisions and action, allow for an anticipation of the developments in the situation and the impact of actions ([Endsley, 1995], [Klein, 1995], [Grau et al., 1996]). These general features are consistent with the empirical definitions of SA: "*to know what is going on in order to know what to do*", which underlines its goal oriented function, and "*to be beyond the aircraft*" which refers to its anticipation function. These definitions clearly reveal the obsession of pilots not to have enough time to anticipate the events and hence fail in coping with the situation dynamics [Valot, 1996].

Although SA as experienced and functionally applied is of importance, significant differences remain as to the nature of SA and the cognitive processes involved: SA appears a "soft" concept at

times focussed on the immediate perception of the environment at other times supposed to cover the entire cognition domain. This theoretical sub specification has been noted by many authors (in particular [Flach, 1995a], [Sarter & Woods, 1991], [Hollnagel, 1998]). From the taxonomy of models that we have developed from the litterature ([Chalandon, 2003]), we shall retain the two following approaches:

1.1 "Subject driven" Situation Awareness

Regulation models from ergonomics psychology take SA as a goal-oriented mental representation that is updated as a function of the situation history and the objectives to meet ([Grau et al., 1996], [Prince & Salas, 1997]). Sarter & Woods [1991] propose the following definition.

"Situation awareness is based on the integration of knowledge resulting from recurrent situation assessments."

Within this framework the cognitive model proposed by Hoc & Amalberti [1994] is certainly one of the most complete as to the cognitive strategies and processes at play. At the core of the model we find a symbolic or conceptual mental representation into which continuously flow bottom up information and top-down knowledge :

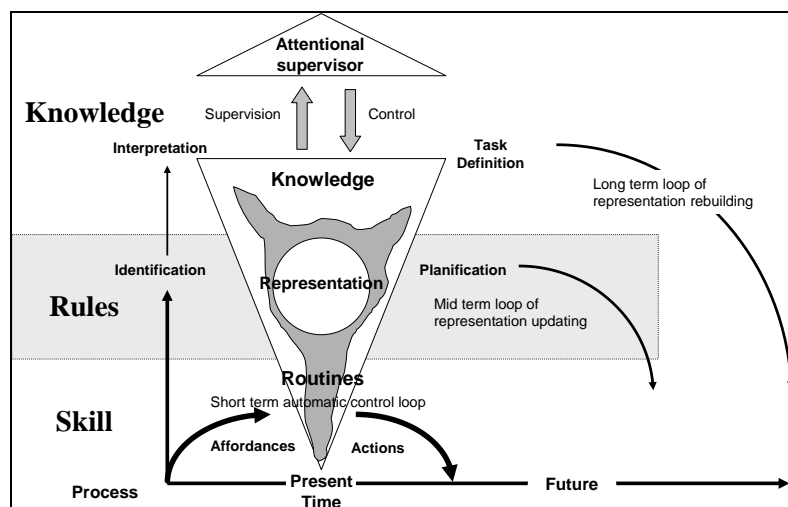


Figure 1 – Cognitive architecture for dynamic control (translated from [Amalberti, 2001])

Hoc and Amalberti [1994] differentiate three supervisory and control loops. This architecture underlines the capability of the cognitive system to handle several objectives simultaneously at different levels of control: comprehension and representation activities operate on time share basis with synchronisation in line with the situation dynamics. At all times, parts of the mental representation are operational and interact with the situation when other parts are under review or in the making ([Amalberti, 1996])

Within this model; SA can be identified to the goal-oriented mental representation the continuous updating of which relies upon internal invariants, resulting from a succession of adaptations developed within a particular action domain. Such pragmatic knowledge, called by Hoc [1996] Treatment and Representation System (TRS), include both declarative aspects and procedure aspects which, when coming into play, jointly produce the type of representation and treatment to be applied in the given situation. They thus support a goal-oriented comprehension guiding an elementary operation or allowing for more global actions.

Being "*beyond the aircraft*" by allowing partial control of the context and by pre activating pragmatic knowledge, SA fosters synchronic autonomy of the action from the conceptual thinking, thereby producing the efficiency and efficacy required by any action in an dynamic environment.

1.2 "Environment driven" Situation Awareness

This approach underlines the need for the operator to adapt to the constraints and resources of the environment. Smith & Hancock [1995] proposes the following definition :

"Situation awareness is adaptive, externally-directed consciousness that has as its products knowledge about a dynamic task environment and directed action within that environment."

Rather than identifying SA to a product or step of the cognitive process, SA is identified as an invariant to give a response to the "performance arbitrator" i.e. social and technical environment defining the task. In line with this work Abeloos et al. [2002] propose to define SA as :

"the perception of the spatio-temporal affordances of the environment."

Initially coined by the ecological psychology of Gibson [1979], the concept of affordance may be defined as a property of the environment specifying interaction potentialities and constraints existing for a given organism. The idea being that certain components of the environment provide – or propose, "offer" – to the subject opportunities, interaction possibilities, positive or negative, favourable or disfavorable. To illustrate this concept, we could refer to a previous article from Gibson & Crooks [1938] dedicated to the analysis of situation constraints within the framework of motor driving. In this article, the authors define the ***"safe field of travel"*** as the various possible trajectories where the car could not suffer any accident.

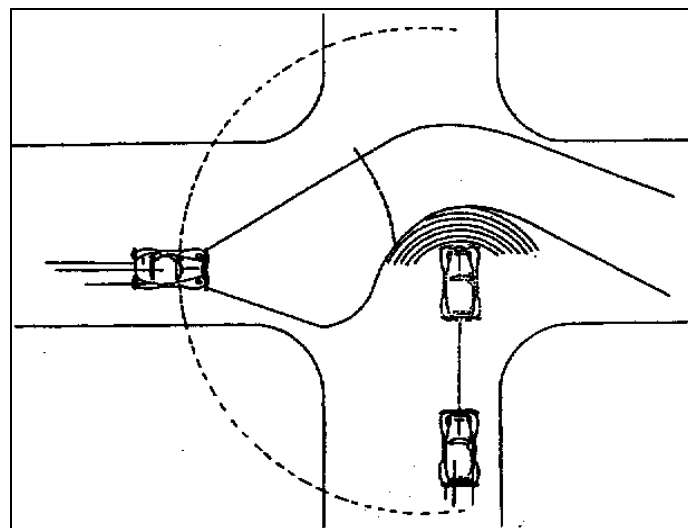


Figure 2 – Safe Field of Travel (Gibson & Crooks [1938])

The limits of this field are principally fixed by the positive or negative "valences" created by the objects in the environment (fixed or mobile objects). This relative and dynamic topology of the environment is related to the braking capabilities so as to reveal the constraints in the

subject/environment coupling and ... thus certain affordance in the situation (minimal stopping zone /safe field of travel).

To be noted is that conversely to the concept of valence coming from the Gestalt psychology, an affordance is an external invariant as it is independant from the perception acquired by the subject and his expressed needs : "*An affordance is not bestowed upon an object by a need of an observer and his act of perceiving it*" [Gibson, 1979]. Affordance is thus a functional invariant specifying an interaction potentiality or constraint between an "organism" and its environment but which, in itself, does not include its actualization.

Initially developed by Rasmussen [1986], cognitive engineering proposed to extend the affordance concept by means of a systemic description of the work domain "constraints space" ([Albrechtsen et al., 2001]). Such a description should allow for a definition of the problem space of the task within which the operator will deploy his activity in a safe and performing way. This approach is at the origin of a method of design of interfaces said to be ecological the objective of which is to exhibit these affordances and to transfer them to the sensory-motor level ([Vicente, 1999]). One of the purposes being to ensure a form of isomorphism between the process distal variables and the interface proximal variables, directly reflecting the action domain structure and limiting the necessary interpretation mental processes [Flach, 1995b]. An example of such formalisation is provided by Smith & Hancock [1995] as a diagram describing the strategies implemented by pilots in handling the aircrafts separation within an uncontrolled airspace:

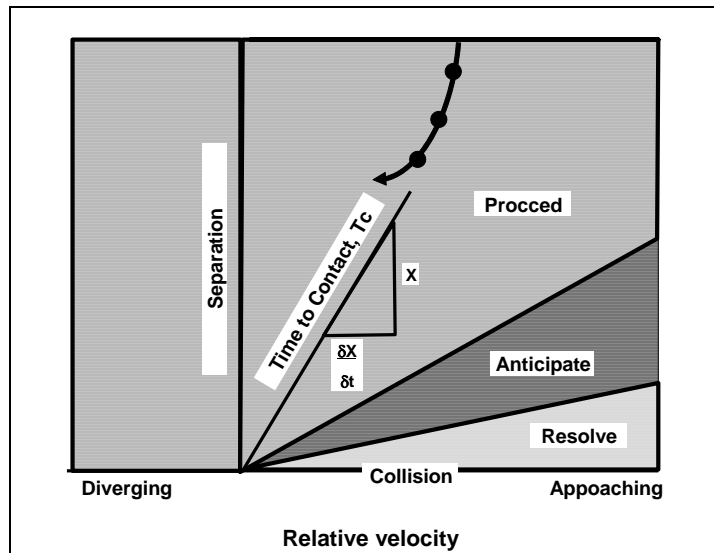


Figure 3 – Risk Space ([Smith et al., 1997])

Within the framework of this application Smith & Hancock [1995] consider SA as a "Risk Space" made up of the distance between aircrafts and their closing speed : the aircraft position within this space gives to time to collision and determine the interaction strategy to implement.

1.3 Invariants in the head, Invariants in the world

In summary, there are two views ontologically different:

- According to the regulation model, the operator tends to determine the work space to which he is confronted by reducing the "structurally" possible space (external situation with quasi infinite potential combinations) to the "materially possible" space (situation subjectively comprehended which the operator considers having control on). The comprehension activity is jointly determined by the contextual data and the objectives, skills, resources and possibilities to act of the operator. Along this line, SA does not refer to a criterion based on truth (i.e. there is no "good" situation awareness) but to a pragmatic situation/activity criterion which underlines the individuation of its efficacy and efficiency.

- The "environment driven" approach reverses the view: whatever the representational activity of the subject, the neo-ecological approach attempts to specify a problem space for the task within which the behavioural trajectories are within performance and/or safety constraints. This approach does not constitute a real prescription for the task as it does not attempt to regulate the activity according to procedures but rather to limit adaptative behaviour by the formalisation of constraints which are relevant to the activity under way. **Its main interest is not the situation itself but rather the possible interactions in a given situation.** The operator in situation must therefore position himself within the field of such clearly defined constraints and "seize every affordance" (i.e. possibilities of interaction) thus "offered" to him. Within such dynamic environments, in particular when driving mobiles, this approach aims at giving, in particular, a functional representation of the laws of physics underlying the interactions.

Moving away from singular situations, both the "subject-driven" model and the "environment-driven" model attempt to find regularities but do not look for them in the same direction. To paraphrase the expression used by Norman (1988), the regulation model goes for "the head" and the constraint model goes for "the world". If the neo-ecological model seems promising with a view to modelling the action domain, the regulation model seems to be more appropriate to the study of the cognitive system adaptation within this action domain.

2 MORPHISMS AND INVARIANTS

We consider that one of the keys to coupling these two approaches is to find in the study of morphisms between internal invariants and external invariants.

Let us recall that goal-oriented mental representation is based on a dual mechanism of selection and deformation [Leplat, 1985]. As such it does not claim to be isomorphic with "reality". Vergnaud [1985] underlines however that the main function of representation is to "*conceptualise reality to act efficiently*" and, hence the referential relation could not be totally arbitrary. The author then uses

the homomorphism (or simple morphism) principle which allow a partial preservation of the original structure, homomorphism provided by the *operative invariants* corresponding to "*objects, properties, relations and processes carved out from reality to organise the action*".

In the coupling here envisaged, the groups/sets to be related may be identified by the combination of two principles that Vicente [1990] puts in opposition but we believe to be complementary in the analysis of the subject and his action domain:

- **The coherence principle** (implying with the subject) consists in identifying the source group (i.e. the structured reality) from the delivery group (i.e. the mental representation). Based on an explanation of the structure and contents of the representation, one must then identify and describe the external reference at the same level of abstraction as to consider the nature of the morphism existing between the two groups.
- **The correspondance principle** (implying, with the action domain) consists in querying the mental representation elaborated by the subject from a description of reality. For example, the systemic analysis matrix of Rasmussen [1986] brings to light a large number of possible descriptions : the "whole/parts" axis shows the components of the source group and the "means/ends" axis addresses the level of abstraction of the components under review as well as the type of structure binding them together.

2.1 Coherence Morphism

Coherence morphism has been studied experimentally and consecutively on 4 military aircraft test pilots [Chalandon, 1998].

Focussed on the strategies implemented by pilots for the regulation of a tactical situation, the protocol for the experiment included : the preparation of a mission by the operators (1h30 with the support of the "information on request" knowledge elicitation technique), the implementation of the

mission on a simulator (40 minutes) then the debriefing of the mission using the "self-confrontation" technique (2h00).

Drawing inspiration from the regulation-driven approach, this protocol enabled to formalise the strategies for risk management planned prior to the mission and show what the contextual signals were causing the operators to revise, even discard, planned strategies. During the preparation phases, pilots were unanimous to say that the success of such a mission depends, first and foremost, on the discretion about the other parties' ways and means. Pilots envisage discarding this strategy only when they have a diagnosis certain of an immediate danger. During the mission, pilots have sometimes discarded this strategy based on diagnosis qualified as uncertain during the preparation phase of the mission which is a clear symptom of the regulation-centered approach (**sub-optimal comprehension**). The cases under consideration corresponded to actions leading to diagnosis (**comprehension by acting**) and/or to actions aiming at avoiding an test of force anticipated as unfavourable in a situation of engagement also anticipated (**comprehension by mental simulation of future action**). The activity analysis has shown that pilots regulate their tactical configuration as a function of the relative situation as anticipated, underlining the importance of the mental representation of an action as a component of comprehension processes.

Closing to the approach focussed on constraints, SA may then be considered as a space of possible actions the boundaries of which are determined by geometric and cinematic factors (position and trajectories of aircraft and their flight dynamics capabilities), system factors (capability of detection of the various tactical actors, their offensive and defensive capabilities), procedure factors (engagement rules, respect of fly over times, etc...), organisational factors, etc...

With a very few exceptions, such factors acquire a meaning not on an absolute mode but on a relative mode enabling to reduce by selection and interpretation the external complexity. This space integrates time as it is not only dynamic, in itself, (it evolves continuously with the mission) but its possible "evolutions" are also anticipated on variable time durations.

The situational parameters that we have identified as external determinants are certainly very close to those established by Endsley [1993]. But when Endsley considers these parameters as being first order invariants, our purpose is to identify and validate a higher order external invariant by integration of these heterogeneous parameters into a situational invariant.

2.2 Correspondence Morphism

In order to analyse the correspondence morphism, we have first produced a formalisation of the action domain. The first experiments have shown the heterogeneity of the external factors which determine air combat situations. Back tracking to the *abstract functions* of the process, we have integrated some of these factors (in particular, geometry factors, cinematic factors and some other system factors pertaining to offensive and defensive capabilities) into a situation invariant derived from the concept of **time to collision** ([Chalandon, 2003]). Engineering tools applied to the domain have allowed for the determination of the **Potential Time to Interception (PTI)** by combining equations from Air-to-Air combat cinematic and simplified equations from on-board weaponry firing envelope.

Following on the work of Morineau [2000] applied to air control, we anticipate that a potential isomorphism [external invariant-internal invariant] could be modulated by contextual components not taken into account in the PTI. The results of this first experiment and our own knowledge of the domain, have enabled our identification of two main sources of potential *modulation*:

- **Situation dynamics**, i.e. the sequence of interaction between actors in the situation which could, eventually, support the inference of the enemy intention in the case of an engagement not yet declared.
- **Operational context**, i.e. the global objective of the mission (strategic level) and the organisation of the friendly and enemy systems (collective aspects) which may affect the criteria and tactics effectively deployed in the detection and management of interception risks.

To test our working assumptions, we have chosen to "differentiate between the variables" by applying 3 experimental requirements allowing us to consider the problem first in a configuration "*static, out of context*" then by adding, in separate order, the effects of the dynamics and of the context. So as to guarantee the reproducibility of the experimental conditions between the subjects, the second requirement consisted in not allowing the subjects any direct control on the tactical configurations presented on slides. Conversely to the first round of experiments, no behavioural indicators were thus available for analysis which is based upon oral expression "out of action". These experiments have conducted with the participation of 6 test pilots, every pilot commenting and criticising the risk level of 109 tactical configurations (60 in "*static, out of context*", 37 in "*dynamic – out of context*" distributed into 6 cinematics – "flip-book" principle, and 12 in "*static – in context*").

The main results of our analysis of the collected data (critical appreciation, oral expression) are as follows :

- In the "*static – out of context*" condition, we have evidenced isomorphism between external invariant comprising the PTI and the internal invariants made up of the regulation strategies of the tactical risk in an air-to-air situation. Similarly to the Smith & Hancock [1995] approach, we have formalised this isomorphism as a diagram "iso-time" relating a PTI time space structure to the structure of the internal Treatment and Representation System. To be noted is that such isomorphism is based on the mental simulation of tactics and thus on the feeling of control of such tactics, hence the pilots skills.
- Although the PTI space retains a predictive values (72% to 86% consistency with crews' assessment) the addition of dynamics induces a number of deviations :
 - **Deviations by anticipation.** Observed following on the viewing of slides showing a monotonous development of the closing distance between aircraft, this type of deviation may

be associated with the characteristics of mental representations who deflect reality by anticipation (mental simulation).

- **Intentional inferences** by clarification of trajectory ambiguities (convergent/divergent). Although less marked than during the first experiments, these inferences enable the clearing of ambiguities by changing the level of "potential threat" ("serious threat" to "harmless threat").
- **Event inferences** by recognition of prototypical trajectory of enemy firing (target acquisition then evasive manoeuvre). This type of inference challenges the meaning and usefulness of iso-time graphs (verbatim from one of the pilots: **"if reasoning is base on the sole snap shot taken, the situation is well balanced even favourable to me... account taken of past events the situation is suicidal"**).

These anticipations and inferences do reflect the levels of comprehension which go beyond the situation "here and now" and prove the "instantaneous" invariants wrong. It is to be noted also that **the case lies not in the development of the variable but rather in the interaction having generated the development of the variable which is meaningful** for the diagnosis and the prognosis.

- The contribution of the context (purpose of the mission and organisational factors) induces some questioning of the functional value of the space related to interception time and this goes much deeper than in the case of the previous conditions (60% only of case "safeguarded"). Such modulations mainly originate from the intentional inference of enemy aircraft and the mental simulation of the rules governing cooperation between friendly forces. Our analysis of the oral reports shows a double regulation: **collective regulation** on constraints (in particular via a distribution of engagement tasks) and **individual regulation** within constraints (based on "individual" criteria explained under other experimental conditions).

These observations clearly show that a purely individual activity has very little chance to occur and that the problem is to be viewed from the angle of a cooperative activity ("*shared situation awareness*") or co-action ("*awareness of a shared situation*").

3 SUMMARY AND CONCLUSION

By attempting to define the **safe field of action** pre existing the psychological subject, the theoretical approach adopted in the constraints model is finally rather close to the selectionism advocated by Reed [1996] who considered affordances as environmental resources pre-existing the animal, resources which will bring a selective pressure to bear on the development of species so that they may pick up these resources and actualize them. This position leads to several comments :

- By associating Affordances and TRS, we fully confirm the role of experience in the subject. If the locally co-occurrence of Affordance-TRS may partially explain the causation link triggering off the adaptive behaviour, it is the past history of the subject (his interactions with the environment and the development of his skills) which is relevant for the comprehension of the structuring causation link. Consequently, as underlined by Grant (1995) even though the field of these actions which are structurally safe could be described, such a field would contain for a given individual some "regions of controllability" associated with his skills. Coming out of such regions may then induce non recoverable dynamics of trespassing of boundaries of the task space qualified as safe.

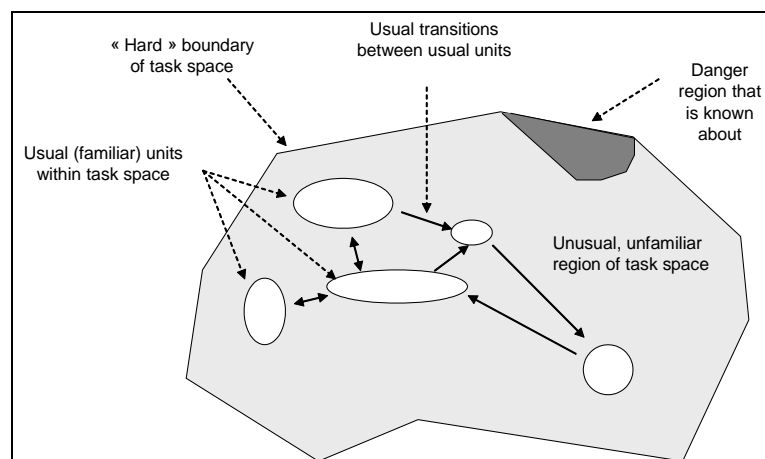


Figure 4 – Regions in a multi dimensionnal task or activity space [Grant, 1995])

This analysis is in line with that of Amalberti [1996] for whom automation and certain assistance system may cause the subject to work at an artificial level of performance whereby his own internal mechanisms related to safety are overwhelmed thus creating an increase in the risk of non detected and non correctable errors.

- The selectionist approach does not consider the dual nature of the situation : by having a partial control over his work context, the operator becomes a stakeholder in the development of the situation with which he is confronted. *"In his pragmatic concept, the situation components are redefined by the introduction of the dynamic features, intrinsic to the operator's activity (said to be precisely situated), this operator being considered as an actor. By his very activity the operator modifies the situation"* [Rogard & de Montmollin, 1997]. If part of the regulation takes place under constraints, another part thus develops on the constraints so as to adapt environment to action. Rather than simply exploit or submit to the resources and constraints of the environment, the expert attempts to take control of the situation with a view to creating the resources required by his action [Béguin et Clot, 2004].

There are, therefore, more psychology and past history in external invariants than what engineering would like us to believe. Recalling the reasoning developed by Béguin & Clot [2004] one may wonder whether approaches "externally-centered" do not try in vain to "depsychologise" behaviour so as to avoid having to analyse activity and to confront the complexity of cognition.

Finally, following on Béguin & Clot [2004], it is to be underlined that invariance does not tell the whole story. The work of Morineau [2000] and our own work tend to show that one of the characteristics of expertise is to go beyond external invariance so as to modulate using other contextual parameters. This is in line with the observation made as regards internal invariance: if the scheme forms the invariant structure of an action, it is the structure which is invariant and not the detail of such action [Vergnaud, 2001]. Internal and external invariants thus form a matrix locally adapted by the activity taking into account the singularities of each situation.

We thus observe an (unavoidable?) incompleteness in the formalisation of the action domain in its time-related as well as in its psychological aspects. This observation stands as a real challenge to the principle of the ecological interfaces. Indeed, such interfaces present the risk of "luring" operators into a cognition mode inappropriate when complements and amendments are necessary to an external system of representation which is, de facto, conceptual in nature: there is a risk of transfer of the object of activity to the proximal variables of the interface (indicators) and not the distal variables of the process to be controlled. This potential paradox inherent to the ecological interfaces paradigm certainly remains to be confirmed and researched by means of an extended research programme on this theoretical design framework.

4 REFERENCES

- Abeloos, L.M., Mulder, M. & van Paassen, R. (2002) - An introduction in the ecology of spatio-temporal affordances in airspace. In C.W Johnson (Ed) *Proc. 21st European Conference on Human Decision Making and Control*, Glasgow : University of Glasgow.
- Albrechtsen, H., Andersen, H.H.K., Bødker, S. & Pejtersen, A.M. (2001) – *Affordances in activity theory and cognitive systems engineering*. Technical Report RISØ-R-1287, Roskilde, Risø National Laboratory.
- Amalberti, R. (1996) - *La conduite des systèmes à risques*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Amalberti, R. (2001) – La maîtrise des situations dynamiques. *Psychologie Française*, 46(2), 107-118.
- Béguin, P. & Clot, Y. (2004) – L'action située dans le développement de l'activité. *Activités*, 1(2), 35-49.
- Chalandon, X. (1998) – *Situation Awareness : de la perception à la conscience de la situation*. Mémoire de DEA d'ergonomie, E.P.H.E., 1998.
- Chalandon, X. (2003) – Situation Awareness en conception système. In *Actes de la Conférence EPIQUE 2003*, Boulogne Billancourt : 2-3 octobre 2003.
- De Keyser, V. (1990) - Fiabilité humaine et la gestion du temps dans les systèmes complexes. In J. Leplat & G. de Terssac (Eds.) *Les facteurs humains de la fiabilité*. Marseille : Octarès.
- Endsley, M.R. (1993) – A survey of situation awareness requirements in Air-to-air combat fighters. *The International Journal of Aviation Psychology*, 3 (2), 157-168.
- Endsley, M.R. (1995) - Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. *Human Factors*, 37 (1), 32-64.
- Flach, J.M. (1995a) - Situation Awareness : proceed with caution. *Human Factors*, 37 (1), 149-157.
- Flach, J.M. (1995b) – The ecology of human-machine systems : a personal history. In J. Flach, P. Hancock, J. Caird & K. Vicente (Eds) *Global perspectives of the ecological approach to human-machine systems*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates.
- Flach, J.M. & Rasmussen, J. (2000) - Cognitive engineering : designing for situation awareness. In N.B. Sarter & R. Amalbert (Eds.) *Cognitive engineering in the aviation domain*. New Jersey : Lawrence Erlbaum Associates.

- Gibson, J.J. (1979) - *The ecological approach to visual perception*. Boston : Houghton-Mifflin.
- Gibson, J.J. & Crooks, L.E. (1938) - A theoretical field-analysis of automobile-driving. *The American Journal of Psychology*, LI (3), 453-471
- Grant, S. (1995) - Safety systems and cognitive models. In *Proc. 5th International Conference on Human-Machine Interaction and Artificial Intelligence in Aerospace*, Toulouse : EURISCO.
- Hoc, J.M. (1996) - *Supervision et contrôle de processus*. Grenoble : PUG.
- Hoc, J.M. & Amalberti, R. (1994) - Diagnostic et prise de décision dans les situations dynamiques. *Psychologie Française*, 39 (2), 177-192.
- Hollnagel, E. (1998) - Measurements and Models, Models and Measurements : You can't have one without the other. In *RTO-Meeting Proceeding-4 Collaborative Crew Performance in Complex Operational Systems*, Neuilly-sur-Seine : RTO.
- Klein, G.A. (1995) - Studying situation awareness in the context of decision-making incidents. In D.J. Garland & M.R. Endsley (Eds.) *Experimental analysis and measurement of situation awareness*. Florida : Embry-Riddle Aeronautical University Press.
- Leplat, J. (1985) - Les représentations fonctionnelles dans le travail. *Psychologie Française*, 30 (3-4), 269-275.
- Leplat, J. & Hoc, J.-M. (1983) - Tâche et activité dans l'analyse psychologique des situations. *Cahiers de Psychologie Cognitive*, 3(1), 49-63.
- Morineau, T. (2000) - Time-To-Collision and action sequencing on aircraft conflicts in Air Traffic Control. In *10th European Conference on Cognitive Ergonomics*. Linköping, Sweden.
- Norman, D.A. (1988) - *The psychology of everyday things*. New York: Basic Books.
- Prince, C. & Salas, E. (1997) - The role of situation assessment in the conduct of flight and in decision making. In D. Harris (Ed.) *Engineering psychology and cognitive ergonomics, volume one, Transportation systems*. Aldershot : Ashgate.
- Rasmussen, J. (1986) - *Information processing and human-machine interaction*. Amsterdam : North-Holland.
- Reed, E.S. (1996) - *Encountering the world*. New York : Cambridge University Press.
- Rogard V. & de Montmollin, M. (1997) - "Situation de travail". In M. de Montmollin (Ed.) *Vocabulaire de l'ergonomie*, Editions Octares.256-257.
- Sarter, N.B. & Woods, D.D. (1991) - Situation awareness : a critical but ill-defined phenomenon. *The International Journal of Aviation Psychology*, 1(1), 45-57
- Smith, K. & Hancock, P.A. (1995) - Situation awareness is adaptative, externally directed consciousness. *Human Factors*, 37 (1), 137-148.
- Valot, C., Grau, J.Y. & Amalberti, R. (1993) - Les métaconnaissances : des représentations de ses propres compétences. In A. Weill-Fassina, P. Rabardel & D. Dubois (Eds.) *Représentations pour l'action*. Toulouse : Octarès.
- Vergnaud, G. (1985) - Concepts et schèmes dans une théorie opératoire de la représentation. *Psychologie Française*, 30(3/4), 245-252.
- Vicente, K. (1990) - Coherence- and correspondence-driven work domains: implications for systems design. *Behaviour & Information Technology*, 9(6), 493-502.
- Vicente, K. (1999) - *Cognitive Work Analysis*. New Jersey : Lawrence Erlbaum Associates.