

{O34} 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. Beghin & A. Weill-Fassina eds., De la simulation des situations à la situation de simulation, Octares, Toulouse, 113-136.

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

J. Theureau (CNRS/UTC, Compiègne)

Introduction

En 1985, un ouvrage de synthèse sur les " Aspects Facteurs Humains de la Simulation " (Jones & coll., 1985) pouvait considérer presque uniquement les simulateurs dans le domaine aéronautique, et même plus précisément dans celui de l'aéronautique militaire. Aujourd'hui, il ne pourrait pas éviter de considérer aussi le domaine nucléaire et, bien qu'à un moindre degré, celui de la navigation, celui du contrôle aérien, celui des industries de process et même celui de l'anesthésie et, plus généralement, de la chirurgie.

Grâce à un balayage de la littérature, des discussions avec quelques chercheurs et praticiens français¹ et quelques visites à des centres de recherche étrangers², réalisés au cours de la seconde moitié de 1996³, nous résumerons les tendances actuelles de l'utilisation des simulateurs, principalement de salle de contrôle de réacteur nucléaire et secondairement de cockpit d'avion, à des fins de recherche et développement. Nous aborderons successivement les tendances en matière de construction des situations simulées (1), de théorie et de méthodologie (2) et d'utilisation des résultats (3). Cette présentation ne sera cependant ni neutre ni détachée, comme dans le genre classique de la revue de questions. Nous l'effectuerons à partir des enseignements de nos propres recherches en cours sur simulateur, et plus généralement de notre expérience de construction et d'utilisation de situations simulées dans le cadre de la conception centrée sur le cours d'action (Pinsky, 1992; Theureau & Jeffroy, 1994), donc à la fois du point de vue des conditions d'une connaissance scientifique de la complexité dynamique, vivante, sociale et culturelle des situations de travail et de celui des conditions d'intégration de cette connaissance à la conception de ces situations. Nous conclurons cette présentation par des perspectives d'avenir telles que nous les voyons personnellement (4).

1 - Tendances dans la construction des situations étudiées

Les études d'activités humaines sur simulateur rencontrent le problème de leur coût de réalisation, celui de leur intégration dans les processus de conception de nouveaux dispositifs et celui de la relation entre le simulateur et ses scénarios et les situations réelles.

Simulations " full scale " et " part task "

Lorsqu'on parle de simulateur, on se réfère usuellement à un idéal: le simulateur dit " pleine échelle " ou " haute fidélité " (" full scale "). L'intérêt de la notion de simulateur " part task " est de proposer un autre idéal, remplissant une fonction différente. Au centre de recherches

¹ René Amalberti, Sylvie Charron, François Jeffroy, Maurice de Montmollin, Frederic Mosneron-Dupin, Janine Rogalski et Jean Schram.

² Il s'agit de: Man-machine psychology unit, VTT Automation, Espoo, Finlande (Leena Norros, Kristina Hukki & coll.); Human Factors Program, Westinghouse Science & Technology Center, Pittsburg, U.S.A. (Emilie Roth, Randy Mumaw & coll.); Man-machine System Research, OECD Halden Reactor Project, Halden, Norvège (Jon Kvalheim, Erik Hollnagel & coll.); NASA-AMES Research Center, Moffet Field, U.S.A. (Kathleen Mosier, Judith Orasanu & coll.). Nous nous y référerons respectivement sous les sigles: VTT-Espoo, Westinghouse-Pittsburg, OECD-Halden et NASA-AMES.

³ Cette étude a été réalisée à la demande du Groupe Facteurs Humains du département Etudes de Sécurité et de Fiabilité (ESF) de la Direction des Etudes et Recherches (DER) de EDF dans le cadre d'un " Etat de l'art international sur l'utilisation des simulateurs dans les industries à risque à des fins autres que de formation ", publié dans Theureau & Schram (1997), auquel nous emprunterons l'essentiel de notre propos. Notons qu'à EDF ont été menées depuis 15 ans de nombreuses études et recherches sur simulateurs " full scale " dont certaines croisent les thèmes abordés dans ce chapitre. Notamment, le Groupe Facteurs Humains réalise depuis 1982 des essais de Mise en Situation Recréée à partir de scénarios accidentels et mène des études sur la coopération, les procédures et la conception des dispositifs en salle de contrôle, en particulier en relation avec les Etudes Probabilistes de Fiabilité Humaine. Les lecteurs intéressés par ces travaux peuvent se rapprocher de cette équipe: EDF/DER/ESF, 1 av. du Général de Gaulle, 92141 Clamart Cedex.

{O34} 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. Beghin & A. Weill-Fassinà eds., De la simulation des situations à la situation de simulation, Octares, Toulouse, 113-136.

aéronautiques de NASA-AMES, par exemple, le "part task" commence dès que le ou les pilote(s) ne sont pas mis dans un cockpit qui est une exacte réplique physique du cockpit réel, fait ressentir les accélérations et les mouvements de l'avion réel. De ce point de vue, le simulateur de salle de contrôle de réacteur nucléaire HAMMLAB du programme international de OECD-Halden est un "part task".

Ce qui est nouveau, c'est moins la réalité du "part task" (on peut considérer que les études "human factors" traditionnelles concernent des situations de ce genre) que la notion de "part task" elle-même (comme simplification et réduction du "full scale" et non pas comme complication et dégradation de l'expérimentation psychologique) et le fait que les moyens informatiques actuels permettent de rapprocher le "part task" du "full scale", donc des conditions pour qu'un pilote, un équipage d'avion ou une équipe de conduite de réacteur nucléaire s'y sente un peu chez lui (avec toutes les limites précisées ici-même par Gérard Dubey) au lieu de se sentir ailleurs, dans un laboratoire de psychologie expérimentale.

Plusieurs considérations conduisent à développer des études sur simulateur "part task". Les deux premières sont des considérations liées de coût et d'intégration dans les processus de conception. Effectivement, un simulateur "part task" coûte moins cher et est plus rapidement conçu, transformé ou enrichi de nouveaux dispositifs qu'un simulateur "full scale". Il permet donc de comparer plus facilement du point de vue de l'activité de conduite des alternatives de conception pour ces nouveaux dispositifs.

Les autres sont des considérations ontologiques et épistémologiques, pour lesquelles deux tendances coexistent. La première tendance découle, explicitement ou implicitement, d'une ontologie (considérations sur la nature des "choses") et d'une épistémologie (considérations sur les modalités d'une connaissance scientifique de ces "choses") de la complexité dynamique, vivante, sociale et culturelle. Pour les tenants d'une telle ontologie et d'une telle épistémologie, les situations naturelles ne se contentent pas d'ajouter de la complication aux situations expérimentales. Elles leur ajoutent de la complexité et suscitent ainsi des phénomènes cognitifs dont certains peuvent être radicalement différents. La méthode de connaissance scientifique de ces phénomènes cognitifs qui en découle procède des études en situation naturelle ou approchante (en particulier lorsque, comme pour certaines situations incidentelles / accidentelles, il est absolument nécessaire d'utiliser le simulateur), afin d'en dégager les phénomènes cognitifs présents, vers des études de situations sur simulateurs "part task" visant à les approfondir et les mieux valider, mais dont la pertinence et la validité dépendent des premières études. C'est dans le cadre d'une telle épistémologie que tant le "full scale" que le "part task" acquièrent une fonction scientifique, au lieu de se réduire à n'assurer qu'une fonction pratique ou à n'être que des succédanés malcommodes de situations expérimentales de laboratoire. Les réflexions et travaux de l'équipe de Westinghouse-Pittsburg, par exemple, vont dans ce sens (voir par exemple: Roth, 1995; Roth & coll., 1994; Vicente & coll., 1996).

La seconde tendance découle d'une ontologie (souvent implicite) et d'une épistémologie (en général explicite) du "lego" (jeu d'enfant internationalement répandu) - pour reprendre une expression de Maurice de Montmollin - selon laquelle la complexité est considérée à la fois comme pouvant et comme devant être atteinte grâce au cumul d'éléments simples, de concepts génériques du simple, produits par des études de situations de laboratoire. Alors, le "part task" est pensé en relation avec l'idéal de l'expérimentation de laboratoire. Il n'est plus pensé dans l'optique simulateur. On retrouve là les études "human factors" traditionnelles. La seule différence entre une situation "part task" et une situation de laboratoire selon ce point de vue est que, du fait des intérêts pratiques en jeu, les chercheurs bénéficient de moyens matériels plus importants que s'ils restaient dans leur laboratoire. Ces considérations d'épistémologie peuvent évidemment être associées, pour les chercheurs universitaires, à des considérations de publication dans les revues psychologiques (voir Norman, 1995).

Nombre des études sur simulateur "part task" que l'on peut rencontrer dans la littérature ressortent de cette seconde tendance. Un exemple parmi d'autres (Folkerts & Jorna, 1994; Mosier, Skitka, Heers & Burdik, 1996; etc...): Sarter & Woods (1992) présentent une "étude expérimentale du modèle et de la "situation awareness" des pilotes concernant le "flight management system" (FMS)". Ils utilisent pour cela un "part task flight simulator" sur une batterie de tâches, c'est-à-dire une série d'expérimentations de laboratoire où le simulateur sert seulement de base commune au surgissement des différentes tâches au cours d'un scénario. L'intérêt scientifique de telles études est faible relativement à des plans expérimentaux rigoureux de laboratoire et à des études de terrain, des études sur simulateur "full scale" ou des études sur

{O34} 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. Beghin & A. Weill-Fassinà eds., De la simulation des situations à la situation de simulation, Octares, Toulouse, 113-136.

simulateur "part task" suffisamment riches développées dans l'optique simulateur. Cependant leur intérêt pratique n'est pas à négliger. Elles contribuent à démontrer l'intérêt qu'a le développement de simulateurs "part task" pour l'intégration des facteurs humains dans les processus de conception. Leurs résultats peuvent être ré-interprétés dans le cadre d'une ontologie et d'une épistémologie de la complexité, si l'on bénéficie par ailleurs d'études sérieuses en situation naturelle ou sur simulateur "full scale".

A l'OECD-Halden, les deux points de vue coexistent. Folleso & Volden (1993), faisant le bilan de 10 ans d'études de test et d'évaluation, considèrent qu'un haut degré de réalisme a été réalisé au détriment d'un contrôle expérimental systématique et proposent de réduire le réalisme pour augmenter le contrôle, en commençant par des études moins réalistes et plus contrôlées pour "démontrer des effets d'aspects vitaux du système" et en utilisant ensuite des situations plus réalistes pour tester plus largement la validité de ces hypothèses. Au contraire, Kvaalem & coll. (1996), envisagent comme perspective à long terme de l'utilisation du simulateur HAMMLAB, de mettre "moins d'accent sur l'expérimentation bien contrôlée et plus sur des "études de terrain simulées" pour analyser la complexité".

Situations de formation sur simulateur

Les simulateurs "full scale" utilisés par les études d'activités de conduite sont essentiellement des simulateurs de formation, que ce soit dans le domaine aéronautique ou dans le domaine nucléaire. Comme Kawano & Fujiie (1994) le soulignent, l'utilisation de tels simulateurs de formation est coûteuse et difficile à obtenir de la part des entreprises, du fait du temps élevé d'occupation par les activités de formation. De plus, l'étude des activités de conduite nécessite la collaboration avec des experts. Ces derniers peuvent être les instructeurs de formation. D'où l'idée de mener des études des activités de conduite pendant les stages de formation ou de requalification eux-mêmes, avec la collaboration des instructeurs. C'est ce qui est fait dans de plus en plus de recherches.

Citons par exemple une recherche de Rogalski, Samurcay & Amalberti (1994) sur la coopération et la coordination dans les cockpits automatisés, qui montre bien les conditions à réaliser pour des études des activités de conduite en situation de formation ou de requalification sur simulateur. Les observations portent sur des équipages en situation d'instruction sur Airbus A320 à Airbus Training. Il est à noter que 10 compagnies seulement sur 100 contactées ont donné leur accord formel pour la réalisation de la recherche, par peur de voir les stagiaires retardés dans leur progression. Pour diminuer cette peur, des précautions méthodologiques ont été nécessaires - se traduisant évidemment en des limitations de l'étude - pour ne pas troubler et au contraire aider l'instruction. Il a fallu aussi que la recherche ait parmi ses objectifs la fourniture d'apports à la formation.

Citons aussi, toujours dans le domaine aéronautique, Sarter & Woods (1992): une étude de l'interaction des pilotes avec l'un des dispositifs fondamentaux de l'automatisation du cockpit, le "flight management system" (FMS), qui a été basée sur l'observation de pilotes expérimentés subissant un entraînement de transition vers un avion "glass-cockpit" sur simulateur "full scale".

Dans le domaine nucléaire, Salazar-Ferrer (1995), dans le cadre du projet OSCAR (Observation en Situation de Conduite de l'Activité Réelle des opérateurs de chaufferie), développe une étude sur le simulateur d'entraînement ORION en situation de formation. Cette étude a considéré différentes sortes d'incidents "pédagogiques" et a pris le "parti méthodologique de ne pas remettre en cause la formation des opérateurs" en se concentrant sur "les problèmes concernant l'interface homme-machine existante sur SNA (Sous marin Nucléaire d'Attaque)". En conséquence, "la question difficile de l'attribution des effets relatifs de la pédagogie et de l'interface homme-machine sur les difficultés de conduite n'est donc pas abordée dans cette étude". L'analyse des données vidéo et audio recueillies a été effectuée en collaboration avec les instructeurs-formateurs du simulateur et un ancien instructeur et ergonomiste.

Situations simulées et comptes-rendus d'incidents

Les études de situations incidentelles / accidentelles sur simulateur sont souvent associées à des études de comptes-rendus d'incidents réels, recueillis de diverses façons. Deux objectifs

{O34} 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. Beghin & A. Weill-Fassina eds., De la simulation des situations à la situation de simulation, Octares, Toulouse, 113-136.

sont ainsi poursuivis: (1) élargissement du panel de situations incidentelles / accidentelles considérées; (2) contribution des incidents réels à la définition des scénarios et à l'appréciation de leurs degrés de généralité.

Par exemple, dans une étude des "décisions dans les environnements naturels de vol", présentée dans Orasanu & Fisher (1995), afin d'élargir l'ensemble des situations considérées et de voir en quoi et jusqu'à quel point l'étude sur simulateur les éclaire, est réalisée une articulation entre: 1/ l'observation initiale d'équipages effectuant une seule mission dans un simulateur de vol haute fidélité; 2/ l'étude de la base de données "Aviation Reporting System" (ARS)⁴; 3/ les études d'accidents conduites par le "National Transportation Safety Board" (NTSB)⁵.

Sarter & Woods (1992) présentent une étude de l'interaction des pilotes avec l'un des dispositifs fondamentaux de l'automatisation du cockpit, le "flight management system" (FMS). Cette étude combine des observations de pilotes subissant un entraînement de transition vers un avion "glass-cockpit" sur simulateur full scale ("les interactions entre pilotes et FMS et les communications instructeur-équipage durant et après les scénarios ont été analysées pour identifier les difficultés de l'interaction pilote-FMS") avec une enquête préalable auprès d'un ensemble plus large de pilotes sur les problèmes d'incidents qu'ils ont vécus avec le FMS, principalement ceux pour lesquels le comportement du FMS les a surpris. Les auteurs considèrent qu'une telle combinaison constitue "le moyen pour avoir des données à la fois sur des pilotes expérimentés au "glass cockpit" et sur des pilotes expérimentés en transition vers le "glass cockpit". Les résultats de l'étude portent à la fois sur la conception des automatismes et sur le raffinement de la formation de transition vers le "glass cockpit".

Notons cependant que l'analyse rétrospective d'incidents pose des problèmes épistémologiques particuliers semblables à ceux qu'affrontent les historiens. Considérons en effet les trois moments du travail historique selon Veyne (1971): lecture des documents et, pour l'histoire récente, interrogation des acteurs; critique des sources; rétrodiction (synthèse consistant à boucher les trous de la compréhension immédiate grâce à une "mise en série" de cas semblables et des considérations sur la probabilité des différentes causes). D'après cet auteur, le fondement de cette rétrodiction "n'est pas la prétendue constance avec laquelle l'effet suit la cause, ce n'est pas non plus le fondement de l'induction, la régularité des phénomènes naturels; mais c'est quelque chose de très empirique: il existe en histoire des coutumes, des conventions et des types". L'analyse rétrospective d'incidents passe aussi par ces trois moments. Si, comme le dit cet auteur, cela fait que "l'histoire ne sera jamais scientifique", il en sera de même de l'analyse rétrospective d'incidents. Cette dernière fournit des éléments concernant le réalisme des scénarios et des simulateurs qui sont sujets à caution. Ils sont en tout cas insuffisants pour saisir ce que les opérateurs importent des situations naturelles normales ou normalement perturbées dont ils font l'expérience tous les jours. D'où la question de la relation entre les études sur simulateur et les études en situation naturelle.

Situations incidentelles / accidentelles simulées et situations naturelles ou simulées normales et normalement perturbées

De rares auteurs commencent à associer les études sur simulateur en situation incidentelle / accidentelle à des études en situation naturelle, en partant des premières, avec évidemment le risque de ne retrouver dans les situations naturelles que ce qui a été mis dans le simulateur. C'est le cas, par exemple, à Westinghouse-Pittsburg (Mumaw & coll., 1996; Vicente & coll., 1996). De même, dans le cadre du projet OSCAR (Observation en Situation de Conduite de l'Activité Réelle des opérateurs de chaufferie) développé par Technicatome, il est envisagé de poursuivre les études en cours sur le simulateur d'entraînement ORION par l'analyse des comptes rendus d'incidents réels, mais aussi la réalisation d'études embarquées à bord de SNA (Sous marin Nucléaires d'Attaque) (voir Direction de l'ingénierie, 1994).

⁴ L' "Aviation Reporting System" est un système de rapport confidentiel développé par la NASA: les pilotes (et d'autres personnes) peuvent soumettre un rapport décrivant un incident qui peut avoir compris une situation de risque qui était problématique d'une façon ou d'une autre.

⁵ Les études d'accident conduites par le "National Transportation Safety Board" (NTSB) offrent une analyse en profondeur des accidents d'avion effectifs, basée sur les conversations enregistrées par le "cockpit voice recorder", les données physiques, les systèmes de vol et les interviews des survivants ou observateurs.

{O34} 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. Beghin & A. Weill-Fassina eds., De la simulation des situations à la situation de simulation, Octares, Toulouse, 113-136.

Notons que les études en situation normale ou normalement perturbée étudient notamment le suivi du process (" monitoring ") par les opérateurs. Ce dernier peut aussi être étudié en situation simulée. C'est ce qui est envisagé à OECD-Halden et à Westinghouse-Pittsburg. C'est ce qui est fait depuis longtemps dans le domaine aéronautique (voir notamment: Mosier & coll., 1994; Mosier & Skitka, 1996; Mosier & coll., 1996; Hutchins & Klausen, 1990; Hutchins, 1991; Hutchins, 1994).

Cependant, en cette matière, moyennant l'établissement des conditions préalables, culturelles, contractuelles et socio-politiques de l'analyse du travail (précisées par exemple dans Theureau & Jeffroy, 1994), la priorité devrait être donnée aux situations naturelles sur les situations simulées, et non le contraire.

La conception des scénarios de simulation

Il est classique de concevoir les scénarios de simulation à partir de ceux qui ont été élaborés par les instructeurs des centres de formation pour les dernières phases de formation ou de requalification. On bénéficie ainsi de l'expérience de ces instructeurs concernant ce qui occasionne des difficultés aux opérateurs. Il est classique aussi d'utiliser les études sur les comptes-rendus d'incidents. Les hypothèses que les scénarios doivent permettre de tester sont essentiellement des hypothèses empiriques, par exemple l'hypothèse de l'amélioration de la performance grâce à tel ou tel dispositif, telle ou telle organisation de l'équipe de conduite.

Ce qui est nouveau, c'est la tendance à construire des scénarios sur la base de notions théoriques, afin de tester des hypothèses théoriques sur l'activité de conduite, et pas seulement des hypothèses empiriques. Elle se manifeste dans certaines études sur simulateur " full scale " comme celles de Westinghouse-Pittsburg où les scénarios sont conçus à partir des notions théoriques de " situation assessment " et de " response planning ", afin de tester les hypothèses théoriques sur l'activité de conduite qu'elles traduisent (Roth & coll., 1994). Cette tendance se manifeste largement dans les études sur simulateur " part task ", tant dans celles qui ont tendance à se conformer au paradigme épistémologique du lego que dans celles qui considèrent - plus ou moins implicitement, il faut le dire - le " part task " dans l'optique simulateur, en relation avec le paradigme ontologique et épistémologique de la complexité dynamique, vivante, sociale et culturelle.

La série d'études de Roth & coll. (1994), par exemple, a porté sur deux variantes d'ISLOCA (" Interfacing System Loss of Coolant Accident ") et deux variantes de LHS (" Loss of Heat Sink ") avec onze équipes de conduite complètes d'opérateurs réels pour chaque événement. Le modèle des activités cognitives liées à la performance des opérateurs dans les urgences mis en oeuvre comprend deux composantes: " situation assessment " et " response planning ". Il est inspiré des recherches dans le domaine aéronautique dont nous parlerons plus loin. Le " situation assessment " se réfère à la fois " au processus de construction de la représentation mentale et à la représentation mentale résultante ". Il est considéré par les auteurs comme similaire du point de vue de la signification à " diagnostic ", mais plus large. En effet, " diagnostic " se réfère typiquement à la recherche de causes de symptômes anormaux. Le " situation assessment " comprend les explications qui sont générées pour rendre compte des conditions normales aussi bien qu'anormales. Le " response planning " correspond à la décision d'un cours d'action, compte tenu d'un " situation assessment " particulier.

Les deux variantes d'ISLOCA ont été conçues spécialement pour être difficiles du point de vue du " situation assessment ". L'objectif était de créer des situations dans lesquelles les équipes de conduite auraient à identifier et isoler la brèche sans guidage explicite. Les procédures d'urgence comprenaient bien des procédures ISLOCA, mais il était possible de créer des situations où les équipes de conduite ne pouvaient trouver la procédure ISLOCA à travers le réseau des procédures d'urgence. Une dynamique de l'événement particulière conduisait les opérateurs vers une procédure de LOCA (" Loss of Coolant Accident "). Les deux variantes de LHS ont été conçues, quant à elles, pour être exigeantes du point de vue à la fois du " situation assessment " et du " response planning ".

Deux des scénarios (une variante d'ISLOCA et une variante de LHS) faisaient partie dans chaque centrale de la formation de requalification. La consigne pour les opérateurs était de " maîtriser ces événements comme ils le feraient dans la centrale ". Le recueil des données en vidéo était suivi d'un " debriefing " et du remplissage par les instructeurs de feuilles de

{O34} 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. Beghin & A. Weill-Fassina eds., De la simulation des situations à la situation de simulation, Octares, Toulouse, 113-136.

données comprenant des questions oui/non sur les "situation assessments" et actions essentiels.

Les résultats de cette série d'études concernent essentiellement la mise en évidence du rôle important que jouent le "situation assessment" et le "response planning" dans l'identification et le traitement de situations non complètement couvertes par les procédures. Ils suggèrent que des analyses qui se focaliseraient sur la capacité des équipes de conduite à suivre les pas individuels des procédures d'urgence seraient insuffisantes. Ils montrent l'importance de la structure dynamique des événements dans la détermination des informations qui doivent être disponibles à chaque instant et des procédures de transition à mettre en oeuvre. Cette structure dynamique des événements est à considérer dans l'établissement des jugements de fiabilité. Ces résultats ont diverses implications: sur la formation des opérateurs; sur les aides en salle de contrôle; sur les études probabilistes de fiabilité humaine. Les auteurs ont en particulier insisté (dans Roth & coll., 1995) sur les implications de cette série d'études sur la conception de systèmes d'aide dans les salles de contrôle avancées pour développer la performance individuelle et collective. Trois types de situations ont été identifiés comme à la fois cognitivement exigeantes et nécessitant une coopération étroite entre les membres de l'équipe de conduite: (1) situations où les opérateurs doivent poursuivre des objectifs multiples (les deux scénarios d'ISLOCA): les équipes de conduite ont montré deux styles différents, un style "alterné" et un style "se diviser et conquérir" (ce dernier, plus complexe, est apparu aussi plus efficace du point de vue de la rapidité); (2) situations où le "situation assessment" exige l'intégration d'une information distribuée entre les membres de l'équipe, ou bien (3) où les équipes ont à évaluer le caractère approprié d'un chemin de procédure et/ou décider d'actions non explicitement spécifiées dans les procédures. Dans les situations (2) et (3), la communication et l'ouverture apparaissent essentiels.

2 - Tendances théoriques et méthodologiques

Un gros effort est porté un peu partout sur l'innovation et le développement en matière de méthodes de recueil de données et d'analyse. Cet effort peut être caractérisé par: (1) la réduction des ambitions de la simulation cognitive et le retour des "process tracking methods"; (2) la tendance à l'éclectisme et à la recherche de complémentarités théoriques et méthodologiques; (3) la tendance à sortir de la psychologie cognitive traditionnelle, par l'intermédiaire de la notion encore confuse de "situation awareness"; (4) la tendance à considérer les aspects cognitifs de la coopération dans l'équipe de conduite et à développer les théories et méthodes correspondantes. Une tendance que nous avons seulement trouvée à VTT-Espoo mérite aussi d'être signalée: la tendance à développer des études longitudinales sur les compétences des opérateurs. Nous allons examiner successivement ces différentes tendances.

La réduction des ambitions de la simulation cognitive et le retour des "process tracking methods"

Il y a encore quelques années, la simulation cognitive, la modélisation informatique de l'activité de conduite, à partir d'une représentation symbolique de la tâche et de considérations issues de la psychologie expérimentale, constituait l'horizon des études sur simulateur. Elle le constitue encore aujourd'hui, mais sa pratique, au lieu de se développer, a régressé.

Considérons, par exemple, la série d'études de Roth & coll. (1994) dont nous venons de parler. Elle a été développée dans le cadre d'un projet plus large initié par la Nuclear Regulatory Commission (NRC) pour étudier et modéliser les activités cognitives qui sous-tendent la performance durant les urgences de centrales nucléaires. Ce projet comprend deux volets interdépendants: (1) l'analyse de la performance de l'équipe de conduite durant des urgences simulées; (2) le développement d'une simulation en Intelligence Artificielle ("Cognitive Environment Simulation") de "certaines" des activités cognitives dans la réponse aux situations d'urgence d'une tranche nucléaire (voir Woods, Pople & Roth, 1990 et Woods, Roth & Pople, 1987).

Dans une première série d'études, deux variantes d'un ISLOCA ("Interfacing System Loss of Coolant Accident": "leak from the high pressure reactor coolant system to the low pressure residual heat removal system") ont été étudiées sur un simulateur pleine échelle. Mais la généralisation de ses résultats rencontrait de nombreuses limites: (1) incidents ISLOCA

{O34} 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. Beghin & A. Weill-Fassina eds., De la simulation des situations à la situation de simulation, Octares, Toulouse, 113-136.

seulement; (2) équipes de conduite composées de formateurs et non d'opérateurs réels; (3) seulement une équipe pour chaque variante d'ISLOCA; (4) équipes de conduite constituées de deux individus au lieu des trois à cinq standard. Remarquons combien cette situation simulée est loin d'une situation " full-scale " en ce qui concerne la composition de l'équipe de conduite. Remarquons aussi que la simulation cognitive n'a porté que sur " certaines " des activités cognitives occasionnées.

Il a donc été décidé de développer une nouvelle série d'études empiriques plus extensive, avec des situations simulées plus riches. Remarquons qu'il était envisagé de développer parallèlement les capacités de la " Cognitive Environment Simulation " à modéliser l'activité des opérateurs. Cependant, sous la recommandation de la NRC, il a été décidé de d'abord mettre l'accent sur l'étude empirique plutôt que sur le développement de la " Cognitive Environment Simulation ", du fait des difficultés, du coût et des délais occasionnés par cette dernière. Ce report traduit à notre avis implicitement l'échec relatif de la simulation cognitive ainsi conçue, à la fois pour la connaissance des activités dans les systèmes dynamiques complexes et pour la conception. Il nous semble qu'aujourd'hui l'utilisation de cet outil n'a d'intérêt que si: (1) elle se développe en relation avec une analyse des activités et non à partir d'une représentation symbolique de la tâche et de considérations générales issues de la psychologie expérimentale; (2) elle se limite à des objectifs modestes, tant du point de vue théorique que du point de vue pratique. C'est, par exemple, le cas en ce qui concerne les activités collectives au SAMU, dans le contrôle aérien et le pilotage d'avion, dans les travaux de Bernard Pavard, Pascal Salembier, Hakim Bencheckroun, (etc...), dont certaines à partir de situations simulées (voir, par exemple, certaines de ces études dans Pavard, 1996).

Cette limitation des ambitions de la simulation cognitive pose le problème de la recherche de nouvelles voies de modélisation, inspirées par exemple de la théorie des systèmes dynamiques, ainsi que celui du remplacement du paradigme de l' " homme comme système de traitement de l'information " par un nouveau paradigme de la cognition. Elle conduit en tout cas actuellement à un renouvellement de ce que certains auteurs appellent des " process tracking methods " (voir Klein & al., 1993). C'est ainsi qu'une fois reportée à une date indéterminée la réalisation d'une simulation cognitive, dans Roth & coll. (1994), l'analyse des données, après séparation entre les activités conduites par les procédures et les activités extra-procédurales, s'est concentrée sur ces dernières, afin de mettre en évidence les éléments de " situation assessment " et de " response planning " tout au long de l'activité des opérateurs. Ces " process tracking methods " s'apparentent aux méthodes de l'analyse ergonomique du travail de langue française, et plus précisément à celles de l'analyse des cours d'action et de leur articulation collective. Ce n'est pas un hasard puisqu'elles remontent comme ces dernières à Newell & Simon (1972) qui, à l'aube à la fois de la psychologie cognitive et de l'Intelligence Artificielle que nous connaissons aujourd'hui, écrivaient: " Il est difficile de tester les théories de systèmes dynamiques et historiquement dépendants. La saturation par le contenu - au moyen de différentes structures symboliques significatives - ne fait que renforcer la difficulté. Il n'y a pas même un bon espace euclidien de mesures numériques dans lequel on pourrait reporter le comportement humain et le comparer avec la théorie. Ainsi donc, ce livre utilise très peu l'outillage statistique standard. La théorie et les données sont comparées, et quelques essais sont faits pour mesurer et classer de telles comparaisons. Mais nos techniques d'analyse de données ressemblent plus à celles du biochimiste et de l'archéologue qu'à celles de l'agronome expérimentateur ". D'où un mode nouveau - en tout cas en psychologie - de validation des théories et modèles qui met l'accent sur la description systématiques de protocoles verbaux recueillis parallèlement au déroulement de l'activité et donne un statut secondaire aux expérimentations classiques et aux traitements statistiques. Ce mode nouveau de validation des théories et modèles a pour instruments essentiels le graphe de résolution de problème et la simulation informatique, les ancêtres respectifs des " process tracking methods " et des simulations cognitives. Le déclin des ambitions des secondes conduit à redonner aux premières une place qu'elles avaient perdues depuis Newell & Simon (1972), sauf dans certaines recherches françaises.

Citons un autre exemple de développement de " process tracking methods ": l'approche " réaliste " développée dans les études sur simulateur pleine échelle de VTT-Espoo, " où l'on prend réellement en compte le fait que les opérateurs donnent une signification au monde et où l'on part de cette prise en compte pour reconstruire la situation du point de vue des opérateurs ". Comme il est expliqué dans Hukki & Norros (1994), l'approche est contextuelle (contexte social inclus), dynamique (les actes ne sont pas considérés de façon isolée) et centrée sur les

{O34} 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. Beghin & A. Weill-Fassinà eds., De la simulation des situations à la situation de simulation, Octares, Toulouse, 113-136.

sujets (le point de vue des opérateurs est considéré comme essentiel). Ces chercheurs parlent d'activité située ou d'activité socialement construite, ou tout simplement d'activité au sens de Vygotsky (voir Klemola & Norros, 1995). C'est ainsi qu'aujourd'hui, les principales références dans la littérature psychologique qui intéressent ces chercheurs sont celles qui participent d'un effort de fondation des "process tracking methods": Klein & al (1993); Harré & al (1995), Smith, Harré & Van Langerhove (1995), et, bien sûr Vygotsky (en particulier Vygotsky, 1978).

L'éclectisme et la recherche de complémentarités en matière de théorie et de méthodologie

L'éclectisme, la coexistence de rationalisations hétérogènes, voire contradictoires, a mauvaise presse, du moins en France, depuis les débats philosophiques du 19^e siècle. Effectivement, si l'on s'en contente, l'éclectisme peut constituer un frein important à la recherche. Mais, si l'on considère qu'il traduit à la fois la reconnaissance d'une complexité et des limites des théories et méthodes disponibles pour maîtriser cette complexité dans une conjoncture scientifique et technique donnée, il est certainement préférable au dogmatisme, du point de vue de l'avenir comme de celui de la résolution des problèmes pratiques immédiats.

Par exemple, dans les études sur simulateur de salle de contrôle nucléaire menées à OECD-Halden, est mise en oeuvre une batterie de méthodes variées ressortant de concepts variés, dont les liens mutuels sont ténus ou inexistantes. C'est le cas de nombreuses études aéronautiques et nucléaires, et - il faut le souligner - le cas de celles qui ont le plus d'ambition et de relations avec les problèmes pratiques de conception.

Cet éclectisme est exprimé comme principe dans le programme actuel d'essais sur simulateur nucléaire japonais. La "philosophie de base" de ce programme est en effet (d'après Kijima & coll., 1993):

(1) "d'accueillir le plus de données possibles sur simulateur: les expérimentations ne peuvent toujours être basées sur une hypothèse de travail construite à l'avance. Une telle hypothèse de travail peut occasionnellement être construite à mi-chemin de l'analyse des données. Pour faire face à de telles occasions, nous devons posséder toutes les données possibles même si elles ne sont pas utiles immédiatement". D'où l'usage en parallèle d'observations comportementales d'écarts de l'activité et des procédures, de différentes formes de protocoles verbaux, de commentaires d'experts, de mesures physiologiques, (etc...);

(2) "de penser essentiellement étude de terrain et pas expérimentation de laboratoire";

(3) "de développer une analyse multi-facettes en relation avec les implications pratiques";

(4) "de mener une analyse structurée des données en couches successives ("analyse primaire": "description des données de la façon la plus objective possible"; "analyse secondaire", etc...);

(5) "de rechercher des définitions claires";

(6) "d'avoir de la considération pour les participants aux tests".

Dans ces recherches japonaises, comme d'ailleurs dans la plupart des recherches dans le domaine nucléaire d'autres pays, le "modèle" de Rasmussen constitue un référent, par exemple pour classer les données des protocoles verbaux (dans les études japonaises), ou pour isoler certains phénomènes de l'ensemble de l'activité (par exemple les phénomènes de "diagnostic" dans Salazar-Ferrer, 1995) du fait certes de sa valeur heuristique mais surtout de son caractère peu contraignant.

Remarquons aussi qu'éclectisme rime souvent avec considération de nouveaux problèmes. C'est le cas pour les études sur simulateur de la conduite de nuit qui commencent à être menées à OECD-Halden (voir Morisseau & coll., 1996), et celles qui ont été récemment menées pour la US NRC (Baker, 1995). C'est le cas aussi pour les études sur simulateur de la coopération et des aspects collectifs de l'activité de conduite (voir par exemple Hallbert & Sebok, 1996).

Remarquons enfin que l'évolution scientifique s'accompagne à chaque moment de la coexistence des sédiments laissés par les étapes précédentes. C'est ainsi qu'en ce qui concerne l'étude de la conduite incidentelle/accidentelle de réacteur, on est passé au Japon du behaviorisme (phase 1, 1984-1986, centrée sur la notion d'erreur humaine) à la psychologie cognitive (phase 2, 1987-1989, centrée sur la clarification des processus cognitifs), puis à la psychologie sociale (phase 3, 1990-1992, centrée sur la relation entre les communications et la performance de l'équipe de conduite), et que coexistent aujourd'hui des notions et méthodes ressortant des trois paradigmes théoriques et épistémologiques (voir Kijima & coll., 1993).

{O34} 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. Beghin & A. Weill-Fassinà eds., De la simulation des situations à la situation de simulation, Octares, Toulouse, 113-136.

Si le cumul actuel de méthodes et de notions hétérogènes demande à être clarifié, il en est de même de la plupart de ces méthodes et notions. C'est le cas en particulier de la notion de charge de travail et de ses méthodes d'évaluation, qu'elles soient objectives ou subjectives. C'est le cas aussi, comme nous allons le voir, de la notion de " situation awareness " et de ses méthodes d'évaluation.

Les conquêtes de la " situation awareness "

La notion de " situation awareness " (SA), partant des études aéronautiques, est en train d'envahir le domaine nucléaire. Elle est devenue, selon l'expression de René Amalberti, emblématique de la présence de l'homme dans les systèmes techniques hautement automatisés. Cette notion est difficilement traduisible en français car le terme anglais " aware " peut recouvrir un continuum de phénomènes qui, en français, vont de ce que l'on appelle " conscience " à ce qu'on appelle seulement " attention ", y compris " flottante ".

La " situation awareness " est unanimement considérée comme étant une notion floue connaissant de multiples définitions et donnant lieu à de multiples méthodes complémentaires ou alternatives. En témoigne un récent congrès sur " l'analyse et la mesure expérimentales de la " situation awareness " (Garland & Ensley, 1995). Voici deux de ces définitions que nous choisissons parmi une multitude d'autres du fait de leur hétérogénéité théorique radicale: " l'état de savoir des personnes ou modèle mental de la situation autour d'elles " ou " 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 " (Ensley); " le couplage cognitif dynamique entre un acteur et une situation " (Flach). La " situation awareness " est ainsi selon Meister " un concept pour l'agrégation plutôt que pour l'analyse ". Selon Billings, c'est un construit " trop net, trop holistique et trop séduisant " dont on peut se demander si l'utilité en compense la complexité. Selon Charniss, c'est un " construit par défaut ": " quand quelqu'un perd la " situation awareness ", le résultat est l'écrasement au sol ".

Certains auteurs soulignent l'air de famille que partagent la notion de " situation awareness " et celle de " charge de travail ", en particulier " mentale ": même flou, même nécessité pratique en l'absence de notions mieux fondées. Concernant le flou et la nécessité pratique, Reid écrit, toujours dans le même ouvrage: " Il est impossible d'observer le débat sur la définition de la " situation awareness " sans évoquer le débat très semblable sur la définition de la charge de travail. Les deux sont des construits hypothétiques qui doivent être inférés plutôt que directement observés ". Cet auteur ajoute: " Un construit hypothétique ne devrait pas être considéré comme correct et incorrect. Au lieu de cela, il devrait être considéré comme plus ou moins utile pour expliquer le savoir actuel et pour suggérer de nouvelles relations à vérifier empiriquement. Cette notion d'utilité est particulièrement approprié pour la " situation awareness " et la charge de travail, parce que tous deux viennent de la communauté des praticiens. Les utilisateurs opérationnels ont le sentiment général qu'ils peuvent reconnaître une bonne ou une pauvre " situation awareness " ou une charge de travail mentale élevée ou basse. " Sa conclusion est donc que " nous pouvons être plus utiles en travaillant à raffiner les construits et leur mesure qu'en se retirant derrière l'écran de la pureté scientifique et en laissant les décisions importantes sur les systèmes à des disciplines dont les praticiens ne sont pas si timides dans l'exercice de leur jugement ".

En fait, la notion de " situation awareness " traduit à la fois l'incapacité de la psychologie cognitive traditionnelle à répondre aux questions pratiques de la conduite des systèmes dynamiques complexes et les efforts pour la dépasser, alors qu'une alternative à cette psychologie cognitive traditionnelle ne s'est pas encore affirmée pleinement. Son flou témoigne d'une crise scientifique non encore résolue, mais son existence témoigne, elle, de la nécessité de donner aux concepteurs de systèmes dynamiques complexes sinon des critères du moins un principe concernant les relations à établir entre opérateurs humains et automatismes: maintenir la " situation awareness " des opérateurs. Ce principe nouveau conduit à rechercher des critères synthétiques destinés à remplacer les habituels critères analytiques de performance. Il vaut donc la peine d'examiner ce que l'on peut faire pour clarifier cette notion.

Sarter & Woods (1991a, 1991b) ont proposé une première clarification du concept de " situation awareness " en montrant qu'il ne peut être équivalent au " savoir conscient effectif ", car " cela suggérerait que seule l'information dans la mémoire de travail pourrait être

{O34} 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. Beghin & A. Weill-Fassina eds., De la simulation des situations à la situation de simulation, Octares, Toulouse, 113-136.

considérée comme “aware””, et en considérant que “toute définition de la “situation awareness” doit se référer à de l'information disponible ou qui peut être activée quand elle est pertinente pour évaluer une situation et la traiter” (Sarter & Woods, 1991b). Si l'on s'accorde avec ces derniers auteurs, le concept de “situation awareness” peut être rapproché de celui d' “actualité potentielle” proposée dans la théorie du cours d'action (voir Theureau & Jeffroy, 1994) dans le cadre d'un paradigme de la cognition humaine alternatif de celui de “l'homme comme système de traitement de l'information”, c'est-à-dire comme “ordinateur humain”, de la psychologie cognitive traditionnelle auquel continuent de se référer la plupart des auteurs qui traitent de la “situation awareness”. La définition de l' “actualité potentielle” est proche de la définition de la “situation awareness” selon Flach évoquée plus haut. Ce dernier auteur considère d'ailleurs que la précision théorique de la “situation awareness” passe par une “théorie du champ de la cognition”, inspirée par la théorie mathématique des systèmes dynamiques, dont il se demande si elle est possible. C'est une telle théorie qui constitue justement l'horizon synthétique de la théorie du cours d'action.

L' “actualité potentielle” à un instant donné est considérée comme co-produite par la situation, par l' “engagement de l'acteur dans la situation” à cet instant⁶. Cet “engagement de l'acteur dans la situation” est le produit, non de la situation elle-même mais de l'ensemble du cours d'action jusqu'à cet instant. La notion d' “actualité potentielle” est ainsi construite de façon strictement inverse de la notion usuelle de “situation awareness”. Prenons l'exemple de la définition formelle de la “situation awareness” par Pew, toujours dans le même ouvrage de Garland & Ensley (1995). Cet auteur commence par définir la “situation” comme: “un ensemble (discret et dénombrable) de conditions environnementales et d'états du système avec lequel les participants interagissent qui peut être caractérisé de façon univoque par un ensemble (discret et dénombrable) d'options d'information, de savoir et d'action-réponse”. Il définit seulement ensuite de façon extensive les éléments variés d' “awareness” pour une situation donnée: état courant du système (toutes les variables pertinentes); état prévu dans le futur proche; information et savoir requis pour baser les activités courantes de l'équipage; phases d'activité; liste hiérarchisée de buts courants (buts, sous-buts, tâches activés ici et maintenant); information et savoir requis pour baser les contextes futurs proches anticipés. Dans cette définition de la “situation awareness”, ce qui est premier, c'est la “situation” indépendamment de l'acteur, alors que dans la définition de l' “actualité potentielle”, ce qui est premier, c'est l' “engagement dans la situation”, hérité du cours d'action passé, indépendamment de la “situation” instantanée.

Cette divergence entre la notion courante de “situation awareness” et celle d' “actualité potentielle” a des conséquences méthodologiques importantes. Si en effet la “situation” est première, on peut justifier des méthodes de documentation de la “situation awareness” comme celle qui est largement utilisée dans les études sur simulateur: geler le simulateur à certains moments de déroulement du scénario et demander aux opérateurs de répondre à un questionnaire sur la situation⁷. A partir de la notion usuelle de “situation awareness”, on peut considérer qu'avoir changé ainsi radicalement leur “engagement dans la situation” n'a pas ou peu d'influence sur la “situation awareness” qu'ils exprimeront. Si, au contraire, comme dans la théorie du cours d'action, l' “engagement dans la situation” est premier, une telle intrusion dans l'activité de conduite est incapable de produire des données permettant de rendre compte de l' “actualité potentielle”. On ne peut reconstruire l' “actualité potentielle” qu'indirectement, par l'analyse de l'activité de conduite.

Au contraire, à Westinghouse-Pittsburg, il y a reprise par Roth, Mumaw & Lewis (1994) de la question de la “situation awareness” selon Klein (1995). Ce dernier auteur travaillant dans le domaine aéronautique, tout en ne précisant pas la notion de “situation awareness”, propose de l'étudier à partir de l'activité de conduite, c'est-à-dire de la même façon que l'on étudie l' “actualité potentielle”. D'où l'accent sur ce que cet auteur appelle des “process tracking

⁶ Intervient aussi le “référentiel” associé, c'est-à-dire le savoir typique mobilisé par la conjonction entre “engagement dans la situation” et “actualité potentielle”, mais nous n'avons pas besoin de cette notion de “référentiel” pour notre propos ici.

⁷ C'est le cas, par exemple, de la méthode SACRI (“Situation Awareness Control Room Inventory”), développée dans le cadre du programme de recherche et développement international de OECD-Halden, qui adapte au nucléaire la méthode SAGAT (“Situation Awareness Global Assessment Technique”), développée dans le cadre des études aéronautiques.

{O34} 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. Beghin & A. Weill-Fassinà eds., De la simulation des situations à la situation de simulation, Octares, Toulouse, 113-136.

methods ”, et qui s'apparentent fortement, comme on l'a dit plus haut, aux méthodes d'analyse du cours d'action. D'où aussi un modèle de décision baptisé “ de première reconnaissance ” (“ recognition primed ”) qui “ modélise la façon dont les gens prennent des décisions dans les situations naturelles sans avoir à comparer des options ”. La clé de ces décisions est “ que les gens utilisent leur expertise pour définir les situations et reconnaître des cours d'action typiques comme devant être considérés en premier ”. Ce modèle de décision implique en fait une définition de la “ situation awareness ” qui la rapproche de ce que nous avons appelé “ actualité potentielle ”. Remarquons que, comme on l'a vu plus haut, les travaux de Klein font aussi partie des références théoriques et méthodologiques essentielles de l'équipe VTT-Espoo.

La découverte de la coopération

De plus en plus, les problèmes de la coopération, dans les équipages aéronautiques comme dans les équipes de conduite de réacteurs nucléaires, sont abordés sur simulateur. C'est le cas dans le programme d'essais sur simulateur nucléaire japonais (voir récemment: Ujita, Kawano & Yoshimura, 1995; Kijima, 1995). C'est le cas dans le programme international de OECD-Halden (voir Hallbert & Sebok, 1996, ainsi qu'une partie du programme prévu pour 1997-1999) et dans le programme de Westinghouse-Pittsburg. C'est aussi le cas dans différentes recherches du domaine aéronautique (voir: Wiener & coll., 1991; Rogalski, Samurcay & Amalberti, 1994; Smith & coll., 1995).

Dans certaines de ces recherches sur l'activité collective, sont développées des évaluations de la “ situation awareness ” de l'équipe ou de l'équipage ainsi que de ses membres (voir par exemple: Prince & coll., 1995; Orasanu, 1994; Orasanu & Fisher, 1995). Certains auteurs s'efforcent de développer une évaluation de la “ situation awareness ” collective pour des collectifs de plus en plus larges (cockpit; contrôle aérien; bureau opérationnel de la compagnie aérienne) et parlent de “ situation awareness ” à plusieurs “ niveaux d'abstraction ” (Mc Coy & coll., 1995).

Certains auteurs (voir en particulier Orasanu & Fisher, 1995) se posent aussi la question: comment la “ situation awareness ” des différents membres de l'équipage se reflète-t-elle dans les communications? La réponse à cette question ouvre des possibilités méthodologiques d'appréhension de la “ situation awareness ” des différents membres de l'équipage ou de l'équipe en s'appuyant sur l'analyse des communications au lieu d'utiliser les méthodes intrusives que nous avons critiquées plus haut. Ce sont ces possibilités qui sont aussi exploitées dans une recherche en cours à Westinghouse-Pittsburg.

Malgré la difficulté d'aborder les phénomènes collectifs à partir de la psychologie cognitive classique, dont le principe est “ l'individualisme méthodologique ”, ces études ne développent en général pas de nouvelles élaborations théoriques et se contentent de juxtaposer de façon éclectique individus et collectif, psychologie cognitive individuelle et psychologie sociale non cognitive. Un bon exemple de cette tendance est celui de la recherche de Salazar-Ferrer (1995): à une analyse cognitive innovatrice des raisonnements de diagnostic des opérateurs, attentive aux processus mis en oeuvre, est jointe une analyse de l'activité coopérative des opérateurs qui se réduit à une étude statistique des communications, éliminant toute considération de leur dynamique et de leur relation avec la dynamique de l'activité dans son ensemble. C'est tout le contraire qui est effectué dans la recherche de Hutchins & Klausen (1990), Hutchins (1991), Hutchins (1994), sur un simulateur de vol pleine échelle du centre de recherches de NASA-AMES, qui propose une approche nouvelle en termes de “ cognition sociale distribuée ”, à la fois sociale et cognitive.

La découverte de l'évolution des compétences

Un thème d'étude envisagé seulement à VTT-Espoo est celui de l'évolution des compétences des opérateurs. Dans le passé, les études étaient transversales (étude du scénario numéro 1 avec l'équipe numéro 1), mais aujourd'hui, du fait que le groupe a implanté un certain savoir et certaines méthodes chez les personnes des centrales nucléaires, en particulier les formateurs, les chercheurs considèrent qu'ils peuvent aussi recueillir des données longitudinales. Ils peuvent suivre les opérateurs de façon à étudier le développement de leurs compétences et peut être même dire si certains traits de leurs façons de faire sont stationnaires, changeants, (etc...). Des études longitudinales vont être engagées sur simulateur avec les mêmes opérateurs et équipes

{O34} 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. Beghin & A. Weill-Fassina eds., De la simulation des situations à la situation de simulation, Octares, Toulouse, 113-136.

d'opérateurs. Elles bénéficient, d'une part des liens étroits développés par l'équipe de recherche avec les personnels des centrales et de leurs centres de formation, d'autre part de la méthode participative et du point de vue théorique (l'approche "réaliste", voir plus haut) de l'équipe. Elles nous semblent particulièrement intéressantes pour l'avenir, en ce qui concerne certains des biais possibles de l'automatisation sur lesquels insistent, dans le domaine aéronautique, des chercheurs de NASA-AMES: développement trop important de la confiance des opérateurs dans les automates et diminution de leur effort de raisonnement (voir Mosier & coll., 1994).

3 - Tendances dans l'utilisation des résultats

Les résultats des études sur un simulateur "full scale" ou sur un simulateur "part task" suffisamment riche, comme ceux des études en situation naturelle, sont multi-usages, du fait même qu'ils portent, explicitement ou implicitement, sur une complexité dynamique, vivante, sociale et culturelle. D'autres considérations conduisent aussi - on l'a vu à propos des études en situation de formation et de requalification - à cumuler les usages, en l'occurrence conception et formation. Par exemple, les résultats des analyses produites par le programme d'essais sur simulateur japonais sont considérés comme constituant "la base pour une banque de données multi-usages". Ces usages comprennent: les Etudes Probabilistes de Fiabilité Humaine (EPFH), la conception d'interfaces homme-machine, la formation des opérateurs et la production de manuels opérationnels (voir Kijima & coll., 1993).

Nous considérerons successivement les apports à l'automatisation, à la Vérification & Validation, aux Etudes Probabilistes de Fiabilité Humaine, à la formation et aux procédures.

Automatisation et conduite

De nombreuses études sur les facteurs humains, en particulier sur simulateur, s'intéressent aux effets négatifs potentiels de l'automatisation. C'est le cas de façon centrale dans le centre de recherches de NASA-AMES. Ces effets négatifs de l'automatisation peuvent être, d'après Mosier, Skitka & Korte (1994): dispersion de la responsabilité parmi les membres de l'équipage; rupture des rôles et responsabilités traditionnels résultant de la familiarité avec l'automatisation; possibilité que les membres de l'équipage "communiquent" plus avec les automates qu'entre eux. Cette idée des effets négatifs possibles de la familiarité des opérateurs avec les dispositifs automatisés implique qu'on ne peut se contenter d'études de la conduite au moment de l'introduction d'un nouveau dispositif. Ce dernier peut alors améliorer la conduite parce qu'il est associé avec les habitudes opératoires et organisationnelles précédentes et avec une certaine méfiance des opérateurs à son égard. Contribuant à transformer ces habitudes opératoires et organisationnelles et à éliminer cette méfiance à son égard, le même dispositif peut aboutir à moyen ou long terme à une dégradation de la conduite.

Toute une partie de ces études s'effectue à l'occasion de l'introduction d'aides automatiques à la décision. Mosier & Skitka (1996) en font le bilan: "Ces aides sont immédiatement disponibles, largement considérées comme exactes, et constituent une source d'information hautement saillante. Les recherches sur les effets de la saillance sur la prise de décision indiquent que, dans les situations de diagnostic, l'éclair lumineux le plus brillant ou le cadran le plus localisé en focale, c'est-à-dire le signal le plus saillant, amènera l'opérateur à traiter son contenu de diagnostic avant celui des autres stimuli". De plus, "la plupart des prises de décision dans les contextes réels pour lesquels les aides à la décision sont fournis, tels que dans le cockpit, est guidée heuristiquement. Du fait que ces heuristiques de décision sont souvent basées sur un savoir expert, la formation et l'expérience, elles sont raisonnablement exactes la plupart du temps. Mais la confiance en elles amène à des décisions seulement "assez bonnes" plutôt qu' "optimales" et n'empêche pas les mauvaises décisions. Les aides automatiques à la décision, en vertu de leur simple valeur heuristique, agissent comme de très saillants signaux décisionnels et diminuent la probabilité que les décideurs traiteront l'information de façon cognitivement complexe". D'où les biais classiques d' "assimilation" (une information divergente relativement à celle qui est fournie par le système d'aide à la décision est assimilée à cette dernière), d' "écartement" (la même information divergente est écartée, considérée comme non pertinente pour la décision considérée) et de "confirmation" (la même information divergente est interprétée comme confirmant la décision proposée par le système d'aide à la décision). Les auteurs ajoutent que: "la tendance qu'a l'automatisation à recouvrir le champ de

{O34} 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. Beghin & A. Weill-Fassina eds., De la simulation des situations à la situation de simulation, Octares, Toulouse, 113-136.

la prise de décision peut être exacerbé par au moins trois facteurs: (1) l'encouragement par la direction à utiliser les automatismes; (2) l'exigence réglementaire ou légale; (3) l'idée que l'automate est un "expert". Différents moyens pour diminuer ou éliminer ces biais de l'automatisation sont testés. Par exemple, Mosier, Skitka & Heers (1996) présentent deux études sur simulateur de vol "part task" incluant des aides automatisées, l'une avec des étudiants, l'autre avec des pilotes commerciaux. L'hypothèse est que: "de nombreux biais cognitifs et les erreurs résultantes peuvent être améliorés en imposant une racontabilité pré-décisionnelle qui sensibilise les décideurs à la nécessité de construire des justifications convaincantes de leurs choix et de la façon dont ils les réalisent."

Vérification et validation

La vérification et la validation (V&V) peuvent ne pas être restreintes à l'aspect technique de certification des logiciels. Même lorsqu'elles sont développées pour des raisons réglementaires, elles peuvent comporter un aspect humain. Elles constituent alors la première étape de la contribution à la conception des études sur simulateur. C'est même à cette première étape que restent la plupart des études sur simulateur dont nous avons eu connaissance.

En rester à cette première étape rencontre cependant une limite: la position critique et après-coup vis à vis des concepteurs. Lorsqu'on ajoute que, dans les entreprises, la relation des vérificateurs et validateurs et des concepteurs est celle du pot de terre contre pot de fer, on se doute qu'une telle position critique est difficile à tenir de façon rigoureuse. Pour aboutir à une meilleure conception, la V&V ne devrait donc être qu'un élément de la participation des études de "facteurs humains" à la conception. Nous avons signalé plus haut un élément de progrès dans cette direction: les possibilités, grâce aux progrès de l'informatique, de simulations "part task", de plus en plus proches des situations futures conçues, développées au cours du processus de conception. Mais un tel élément de progrès est insuffisant s'il n'est pas associé à une transformation profonde de la conception: intégration des "facteurs humains" au processus de conception et formation aux "facteurs humains" des concepteurs.

Etudes Probabilistes de Fiabilité Humaine

Les études sur simulateur nucléaire ont souvent eu pour vocation essentielle de fournir des données pour les Etudes Probabilistes de Fiabilité Humaine (EPFH). Les équipes de recherche et de développement visitées ont tendance à remettre en cause la méthodologie classique de l'EPFH, centrée sur les "déviations" relativement à la procédure prescrite. A NASA-AMES, donc dans le domaine aéronautique, la méthodologie reste classique, et il n'y a pas d'intervention notable des études de facteurs humains. A VTT-Espoo, un objectif récent du groupe est d'intégrer les analyses cognitives de l'activité de conduite à un nouveau modèle dynamique stochastique appelé "marked point process" (voir Arjas & Holmberg, 1995). Ces chercheurs pensent que ce modèle s'ajuste mieux que les autres à la sorte de psychologie qu'ils s'efforcent de mettre en oeuvre. Il s'harmonise bien avec l'idée selon laquelle on doit analyser la construction de l'action et non pas la modéliser comme une séquence pré-définie. A Westinghouse-Pittsburg, le groupe de recherche intervient en amont des EPFH par l'intermédiaire d'une checklist d'exigences cognitives de tâches, produite grâce aux études sur simulateur (voir Roth & coll., 1994). A OECD-Halden, Erik Hollnagel intègre une préoccupation semblable à une démarche structurée de contribution à l'EPFH, baptisée CREAM ("Cognitive Reliability & Error Analysis Method"). Son principe est d'articuler deux méthodes d'interprétation, dont la première est dans le prolongement du behaviorisme usuel de l'EPFH et la seconde dans le prolongement du cognitivisme, et dans chacune d'entre elles deux étapes. Dans la première méthode ("basic method"), on part des descriptions des séquences d'événements, on les interprète en termes de conditions de performance (étape qualitative). On détermine ensuite quel est le mode de contrôle probable et sa probabilité d'échec (étape quantitative). Dans la seconde méthode ("extended method"), on interprète les mêmes descriptions en termes de profil d'activité cognitive exigée par la tâche, on détermine quelles sont les erreurs susceptibles de se produire (étape qualitative). On calcule ensuite une probabilité d'échec (étape quantitative).

Formation

Nous avons noté plus haut la tendance à intégrer des objectifs d'amélioration de la formation aux études des activités de conduite sur simulateur. Si cet objectif est peu présent dans le programme international de OECD-Halden, par nature à distance des systèmes de formation de ses partenaires nationaux, il l'est de façon significative à Westinghouse-Pittsburg (voir: Mumaw & Roth, 1992; Mumaw & coll., 1994), à VTT-Espoo (c'était même au départ le premier objectif du groupe de recherche), ainsi que dans le programme japonais (voir Ujita, Fukuda & Kubota, 1988).

Procédures

Il nous semble nécessaire d'aborder aussi le problème de la comparaison d'activités de conduite avec des procédures découlant de principes différents, bien que nous n'ayons eu connaissance d'une seule étude en cette matière. Nous le faisons pour deux raisons. D'une part, dans le domaine nucléaire, les procédures occupent une place particulièrement importante. D'autre part, il y a eu de par le monde, après Three Miles Island, développement de nouvelles procédures papier et informatisées. En France, les "procédures par états" (informatisées pour le palier N4, dans les centrales de Chooz et Civaux, sur papier pour les centrales 1300 MW et, en 1999, pour les centrales 900 MW) remplacent actuellement les "procédures événementielles" dans les situations incidentelles / accidentelles. Il est envisagé aussi qu'elles les remplacent dans le futur dans les situations normalement perturbées. A Westinghouse, a été développé un système de procédures incidentelles / accidentelles articulant et non pas substituant des procédures "symptom based" (développées selon le même principe que les procédures par états) à des procédures "event based" (développées selon le même principe que les procédures événementielles). Il est étonnant que ces différentes sortes de procédures ne donnent pas lieu à des études cognitives, en particulier sur simulateur. La seule étude de ce genre que nous puissions citer - d'ailleurs indirecte -, a été effectuée à OECD-Halden à l'occasion de la comparaison entre deux systèmes d'aide (voir Hallbert & Meyer, 1995).

Les causes de cette absence ou quasi-absence d'études cognitives sur simulateur concernant l'usage des différentes sortes de procédures ou d'articulations de procédures qui existent actuellement sont sans doute à chercher dans plusieurs directions: (1) l'idée qu'une fois que les opérateurs disposent d'une procédure, la suivre va de soi (alors que nombre d'études cognitives ont montré que suivre un mode d'emploi ou une recette de cuisine donnait souvent lieu à une activité de résolution de problème); (2) le fait qu'il existe déjà un test des procédures à travers les études de conduite sur simulateur, même si ce test fait l'économie d'une étude cognitive; (3) l'idée que le principal problème actuellement est plutôt celui de l'informatisation des procédures que celui du principe de conception de ces dernières; (4) l'état actuel modeste des théories et méthodes d'étude des activités dans les systèmes dynamiques complexes; (5) la place marginale qui est dévolue dans la réalité aux "facteurs humains" relativement à celle qui est dévolue aux "facteurs techniques" dans les processus de conception des entreprises nucléaires des différents pays.

4 - Perspectives d'avenir

A l'issue de ce tour d'horizon, revenons d'abord à notre propre expérience de construction et d'utilisation de situations simulées en relation avec les situations naturelles, dans le cadre de la conception centrée sur le cours d'action évoquée en introduction. Nous ne détaillerons pas ces situations (voir Theureau & Jeffroy, 1994). Disons seulement que leur construction et leur utilisation au cours du processus de conception suivent un ordre contraignant: des *situations naturelles de référence* aux *situations naturelles tremplin* (différentes de la situation naturelle qui est l'objet du processus de conception, mais qui comportent des dispositifs proches de ceux qu'il est prévu de concevoir), à des *situations d'expérimentation écologique sur maquettes et prototypes* (c'est-à-dire des situations simulées ayant bénéficié des études précédentes en situation naturelle), à *différentes situations d'expérimentation de terrain de prototypes en sites pilotes*, à la *situation naturelle finale* issue du processus de conception. Ce principe d'itération des situations étudiées découle de la nécessité de trouver une solution au *premier paradoxe de l'ergonomie de conception* qu'on peut énoncer ainsi: du fait de la complexité dynamique, vivante, sociale et culturelle des situations de travail, des opérateurs et de leurs activités, les cours

{O34} 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. Beghin & A. Weill-Fassinà eds., *De la simulation des situations à la situation de simulation*, Octares, Toulouse, 113-136.

d'action des opérateurs et leurs contraintes dans la future situation ne peuvent être connus avec sûreté qu'une fois celle-ci installée et alors, il est trop tard pour contribuer sur la base de cette connaissance à la conception, sauf évidemment dans le prochain processus de conception.

Dans les recherches particulières de conception centrée sur le cours d'action, cette itération n'a cependant été réalisée dans sa totalité que pour des situations bureautiques. Pour d'autres sortes de situations, elle n'a été réalisée que partiellement. Par exemple, pour le contrôle aérien, Irène Gaillard a pu seulement réaliser une étude en situation naturelle de contrôle aérien dans la position de contrôle (contrôleur radar et contrôleur organique) installée, puis une étude en situation simulée, avec un scénario construit à partir de la première, sur un prototype de nouvelle position de contrôle (Gaillard, 1992). Le développement actuel des simulateurs "full scale" et "part task" peut permettre de généraliser les enseignements des situations bureautiques aux autres situations.

Ce progrès, à la fois de la connaissance scientifique des activités de travail et de la conception de nouvelles situations de travail, que nous entrevoyons à partir de notre propre expérience, nous semble porté par nombre des recherches que nous avons présentées tout au long de ce texte. Il passe cependant, à notre avis, par la généralisation de l'abandon, en matière de connaissance scientifique et de conception des situations de travail, de l'épistémologie du lego au profit d'une ontologie et d'une épistémologie de la complexité dynamique, vivante, sociale et culturelle. Cette substitution devrait permettre l'élaboration, le développement et la clarification de notions théoriques et de méthodes de recueil de données et d'analyse adéquats à cette complexité. Elle devrait aussi ouvrir la voie à de nouveaux outils de simulation en termes de systèmes dynamiques bénéficiant de la modestie théorique et pratique gagnée par la simulation cognitive actuellement pratiquée.

Références

- Arjas E. & Holmberg J. (1995) Marked point process framework for living probabilistic safety assessment and risk follow-up, *Reliability and System Safety*, 49, 57-73.
- Baker T.I. (1995) Alertness, performance and off-duty sleep on 8-hour and 12-hour night shifts in a simulated continuous operations control room setting, NUREG/CR-6046, US NRC.
- Direction de l'ingénierie Technicatome (1994) La résolution d'incidents sur simulateur ORION: projet OSCAR Phase 1, Technicatome, Aix en Provence.
- Folkerts H.H. & Jorna P.G.A.M. (1994) Pilot performance in automated cockpits: a comparison of moving and non-moving thrust levers, National Aerospace Laboratory NLR report, Amsterdam, Pays Bas.
- Folleso K. & Volden F.S. (1993) Lessons learned on test and evaluation methods from test and evaluation activities performed at the OECD Halden reactor project, Institutt for Energiteknikk, Halden, Norway.
- Gaillard I. (1992) Analyse de l'activité et des savoir-faire d'opérateurs experts - le cas des contrôleurs du trafic aérien lors du changement de la position de contrôle, Thèse de doctorat d'ergonomie, Université Paris-Nord, Paris.
- Garland D.J. & Ensley M.R. (1995) Experimental analysis and measurement of situation awareness, Proceedings of an international conference, Embry-Riddle Aeronautical University Press, Daytona Beach, Florida, USA.
- Giffin W.C., Rockwell T.H., Smith P. (1985) A review of critical in-flight events research methodology, in Jensen & Adrion eds., *3rd symposium on aviation psychology*, pp. 321-328.
- Hallbert B.P. & Meyer P. (1995) Summary of lessons learned at the OECD Halden reactor project for the evaluation of human-machine systems, Institutt for Energiteknikk, Halden, Norway.
- Hallbert B.P. & Sebok A., Morisseau D.S. & Persensky J.J. (1996) Results of the study of control room crew staffing for advanced passive reactor plants, US NRC.
- Harré R. & Stearns P. (1995) *Discursive psychology in practice*, SAGE, London.
- Hukki K & Norros L. (1994) A method for analysis of nuclear power plant operator's decision making in simulated disturbance situations, in Norros L. ed., *XIII European Annual Conference on Human Decision Making and Manual Control*, June 13-14, Espoo, Finland.
- Hutchins E. & Klausen T. (1990) Distributed cognition in an airline cockpit, NASA-AMES Research Center, Moffet Field, USA.

{O34} 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. Beghin & A. Weill-Fassinà eds., *De la simulation des situations à la situation de simulation*, Octares, Toulouse, 113-136.

Hutchins E. (1991) Distributed cognition in an airline cockpit, in Y. Engestrom & D. Middleton eds., *Cognition and communication at work*, Cambridge Univ. Press.

Hutchins E. (1994) Comment le "cockpit" se souvient de ses vitesses, *Sociologie du Travail*, 4, 451-473.

Jones E.R., Hennessy R.T. & Deutsch S. (1985) Human factors aspects of simulation, National Academy Press, Washington D.C.

Kawano R. & Fujiie M. (1994) Problems related to NPP operator performance analysis by training simulator, in *First international conference on HF research in nuclear power operations (ICNPO)*, Conference report, Berlin.

Kijima S. (1993) Plant operator performance analysis using training simulators, Japan IERE council.

Klein G. (1995) Studying situation awareness in the context of decision-making incidents, in Garland D.J. & Ensley M.R., *Experimental analysis and measurement of situation awareness, Proceedings of an international conference*, Embry-Riddle Aeronautical University Press, Daytona Beach, Florida, USA.

Klein, Orasanu, Calderwood & Zsombok (1993) Decision making in action, Ablex Pub co.

Klemola U. M. & Norros L. (1995) An orientation based approach to the anaesthetist's activity: realistic versus objective orientation, in Norros L. ed., *5th European conference on cognitive science approaches to process control*, August 30 - September 1, Espoo, Finland, 213-226.

Kvalem J., Berg O., Fordestrommen N.T., Groven A.K., Hollnagel E., Pettersen F., Solie A.S., Stokke E., Sundling C.V. (1996) HAMMLAB 2000: long term perspectives for use of HAMMLAB, Institutt for Energiteknikk, Halden, Norway.

Mc Coy C.E., Orasanu J. & coll. (1995) Situation awareness at different levels of abstraction: the distributed cooperative problem-solving domain of ATCSCC-airline operations, in Garland D.J. & Ensley M.R., *Experimental analysis and measurement of situation awareness, Proceedings of an international conference*, Embry-Riddle Aeronautical University Press, Daytona Beach, Florida, USA.

Morisseau D.S., Braarud P.O., Collier S., Droivoldsmo A., Larsen M. & Lirvall P. (1996) The Halden reactor project workshop on studies of operator performance during night shifts, Institutt for Energiteknikk, Halden, Norway.

Mosier K., Skitka L. & Korte K. (1994) Cognitive & social psychological issues in flight crew/automation interaction, in M. Mouloua & R. Parasuraman eds., *Human performance in automated systems: current research and trends, Proceedings of the 1st automation technology & human performance conference*, Washington D.C., USA.

Mosier K., Skitka L. & Heers S. (1996) Automation bias, accountability, and verification behaviors, in *Proceedings of the human factors & ergonomics society 40th annual meeting*.

Mosier K., Skitka L. (1996) Human decision makers & automated decision aids: made for each other?, in R. Parasuraman & M. Mouloua eds., *Automation & human performance: theory & applications*, Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, USA.

Mosier K., Skitka L., Heers S. & Burdik M. (1996) Patterns in the use of cockpit automation, NASA-AMES MS:243-4, Moffet Field, USA.

Mumaw R. & Roth E. (1992) How to be more devious with a training simulator: redefining scenarios to emphasize cognitively difficult situations, *Simulation Multiconference Nuclear Power Plant Simulation & Simulators*, April 6-9, Orlando.

Mumaw R., Roth E., Vicente K. & Burns C. (1996) A model of operator cognition and performance during monitoring in normal operations, Westinghouse.

Mumaw R., Swatzler D, Roth E. & Thomas W. (1994) Cognitive Skill Training for Nuclear Power Plant Operational Decision Making, NUREG/CR 6126, US NRC, Washington.

Norman D. (1995) On difference between research and practice, *Ergonomics in design*, April, pp. 35-36.

Orasanu J. (1994) Shared problem models and flight crew performance, in Johnson N, McDonald N. & Fuller R. eds., *Aviation Psychology in Practice*, 255-285.

Orasanu J. & Fisher U. (1995) Finding decisions in natural environments: the view from the cockpit, in C. Zsombok & G.A. Klein eds., *Naturalistic decision making*, Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, USA.

Pavard B. ed. (1994) Systèmes coopératifs: de la modélisation à la conception, Octares, Toulouse.

{O34} 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. Beghin & A. Weill-Fassina eds., *De la simulation des situations à la situation de simulation*, Octares, Toulouse, 113-136.

Pinsky L. (1992) *Concevoir pour l'action et la communication: essais d'ergonomie cognitive*, Peter Lang, Berne, Suisse.

Prince C. & coll. (1995) Team situation awareness research: many paths to a destination, in Garland D.J. & Ensley M.R., *Experimental analysis and measurement of situation awareness, Proceedings of an international conference*, Embry-Riddle Aeronautical University Press, Daytona Beach, Florida, USA.

Rogalski J., Samurcay R. & Amalberti R. (1994) La coopération et la coordination dans les cockpits automatisés, Rapport final d'étude convention DGAC-CNRS-CERMA-CNAM.

Roth E. (1995) Analyzing decision-making in process control: multidisciplinary approaches to understanding and aiding human performance in complex tasks, to appear in C. Zsombok & G. Klein eds., *Naturalistic decision-making*, Lawrence Erlbaum Associates.

Roth E., Mumaw R. & Lewis P. (1994) NUREG/CR 62108, An empirical investigation of operator performance in cognitively demanding simulated emergencies, Westinghouse.

Roth E., Mumaw R. & Lewis P. (1995) Enhancing crew performance in complex emergencies: what we can learn from simulator data, in *American Nuclear Society Embedded Topical Meeting on "Computer-based human support systems: technology, methods and future"*, June 25-29, Philadelphia.

Roth E., Woods D., Pople H. (1992) Cognitive simulation as a tool for cognitive tasks analysis, *Ergonomics, special issue on cognitive engineering*, 35(10), 1163-1198.

Salazar-Ferrer P. (1995) Raisonement causal et modélisation de l'activité cognitive d'opérateurs de chaufferie nucléaire navale, Thèse de Psychologie cognitive, Université d'Aix en Provence.

Sarter N. & Woods D. (1991a) "How in the world did I ever get into that mode?" Mode error and awareness in supervisory control, CSEL technical report, Ohio State University, USA.

Sarter N. & Woods D. (1991b) Situation awareness: a critical but ill-defined phenomenon, *International Journal of aviation psychology*, 1 (1), 45-57.

Sarter N. & Woods D. (1992) Pilot interaction with cockpit automation II: an experimental study of pilot's model and awareness of the flight management system (FMS), CSEL technical report, Ohio State University, USA.

Sarter N. & Woods D. (1992) Pilot interaction with cockpit automation: operational experiences with the flight management system, *International Journal of aviation psychology*, 2 (4), 303-321.

Shirasuna T. (1994) Simulation of operator team behavior in nuclear power plants - modeling of thinking process of operators and decision making process of operator team, Japan IERE Council.

Smith P. & coll. (1995) Cooperative problem solving in the interactions of airline operations control centers with the national aviation system, NASA-AMES Research Center, Moffet Field, USA.

Smith J. A., Harré R., Van Langerhove L. (1995) *Rethinking methods in psychology*, SAGE, London.

Theureau J. (1992) *Le cours d'action: analyse sémio-logique*, Peter Lang, Berne, Suisse.

Theureau J. & Jeffroy F. coords. (1994) *Ergonomie des situations informatisées: la conception centrée sur le cours d'action des utilisateurs*, Octares, Toulouse.

Theureau J. & Schram J. (1997) Contribution à un état de l'art international sur l'utilisation des simulateurs dans les industries à risque à des fins autres que de formation, EDF/DER/ESF-HT-54/97/004/A- accessibilité libre.

Ujita H, Fukuda M. & Kubota R. (1988) Operator performance evaluation program, IAEA specialist meeting on "man-machine communication for emergency operation in NPP", Schliersee FRG.

Ujita H, Fukuda M. & Kubota R. & Hayashi M. (1990) Plant operator performance evaluation based on cognitive process analysis experiment, in *Proceedings of "Advanced HF research on man-computer interactions: nuclear & beyond"*, Nashville, USA.

Ujita H., Kawano R. & Yoshimura S. (1995) An approach for evaluating expert performance in emergency situations, *Reliability and system safety*, 47, 163-173.

Veyne P. (1971) *Comment on écrit l'histoire?*, Seuil, Paris.

Vicente K., Mumaw R., Roth E. & Burns C. (1996) A field study of operator monitoring: strategies for adapting control room technology, *Proceedings of the Cognitive systems engineering in process control*, Nov. 12-15, Kyoto, Japan.

{O34} 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. Beghin & A. Weill-Fassina eds., De la simulation des situations à la situation de simulation, Octares, Toulouse, 113-136.

Vygotsky L. S. (trad. angl. 1978) *Mind in Society*, MIT Press.

Woods D., Roth E. & Pople H. (1987) *Cognitive environment simulation: an artificial intelligence system for human performance assessment*, NUREG/CR 4862, US NRC, Washington.

Woods D., Pople H. & Roth E. (1990) *The cognitive environment simulation as a tool for modeling human performance and reliability*, NUREG/CR 5213, US NRC, Washington.