

Une réflexion sur le rôle des hommes dans les systèmes intelligents et automatisés

(A Perspective on the Role of Humans in Intelligent and Automated Systems)

Professor, Med Chef AMALBERTI René
IMASSA, Département Sciences Cognitives
BP73, 91223, BRETIGNY-sur-ORGE
FRANCE

RESUME

La multiplication des automatismes est un trait caractéristique des vingt dernières années dans l'aéronautique, mais le bilan reste mitigé entre une performance accrue et un bénéfice réduit pour la sécurité. Cet article présente un bilan historique de l'automatisation des aéronefs, tant civils que militaires, puis explique les difficultés rencontrées par l'opérateur qui se trouve comme dopé par l'aide en même temps qu'il se retrouve en compétition au fur et à mesure que celle-ci devient plus intelligente et autonome. Les concepts de transparence, de compréhension, de confiance et de responsabilités sont au centre des critiques. La troisième partie de l'article indique des solutions pour une meilleure conception des automatismes qui puissent accepter le fonctionnement naturel, écologique de l'opérateur humain, et respecter ses objectifs, et ses apparentes approximations que l'on qualifie souvent à tort d'erreurs.

1.0 LA DEFINITION DU CONCEPT D'AUTOMATISATION ET SON HISTOIRE RECENTE

1.1 Des origines de l'automatisation et des « aides intelligentes »

Longtemps centrée sur l'adéquation de l'environnement de travail aux capacités psychophysiologiques de l'opérateur (ergonomie psychophysique), la prise en compte de l'homme dans les conceptions de systèmes complexes a subi une nette évolution au début des années 80 avec le développement des automatismes et des « aides intelligentes ».

L'objectif n'était plus d'adapter des outils ou des conditions de travail, mais de répartir le travail différemment entre l'homme et la machine, et de prendre en charge les secteurs de la tâche où l'opérateur était jugé limité ou peu fiable. Certes, l'idée d'aide à l'opérateur préexistait déjà à cette révolution. Mais l'aide avait jusque là toujours été considérée comme passive, servant l'opérateur comme un esclave, prolongeant sa main mais pas son cerveau ; la révolution cognitive allait permettre à la fin des années 60 que cette aide devienne intelligente, se mêle véritablement à la réalisation du travail de l'opérateur, fasse parfois doublon avec lui en interagissant au niveau de ce qu'il possède de plus noble : son savoir-faire.

On ne peut comprendre ce type d'évolution sans évoquer le type de modèle de l'opérateur qui « habitaient » les ingénieurs de conception de l'époque. C'est ce modèle, et particulièrement ses faiblesses supposés, qui expliquent les choix qui ont été faits et optimisés au cours des dix dernières années.

Ce modèle était infiniment simple : l'opérateur est compris comme un système à capacités limitées, ne pouvant faire qu'une chose à la fois, rapidement débordé par la (sur)charge de travail. Il est aussi

Communication présentée lors du Symposium RTO HFM sur « Le rôle de l'être humain dans les systèmes automatisés intelligents », organisé à Varsovie, en Pologne, du 7 au 9 octobre 2002, et publiée dans RTO-MP-088.

compris comme un être intelligent (preneur de décision) mais particulièrement inconstant si bien que pour de nombreuses raisons il est difficile de lui faire confiance et encore moins d'espérer le voir s'adapter à des situations de plus en plus exigeantes du fait de la complexité de l'environnement. Les statistiques, qui continuent à imputer de 65 à 80% des causes d'accidents/incidents aux opérateurs de première ligne, aussi bien dans l'aviation que dans les autres techniques de pointe, renforcent naturellement ce point de vue [1].

Deux voies s'offraient alors comme des solutions naturelles : d'une part décharger l'opérateur d'une partie du travail dit répétitif et pour lequel il était considéré comme peu fiable et d'autre part l'aider pour le travail intellectuel qui lui restait à assumer, les décisions essentiellement.

Chacun reconnaîtra le paysage des systèmes modernes dans ses deux évolutions : plus d'automatisation et plus d'assistance sous toutes formes pour prendre (mieux, plus vite) les décisions qui s'imposent en fonction du contexte et commettre moins d'erreurs qui polluent la performance dans la tâche, même si ces erreurs ne sont pas catastrophiques.

L'aéronautique civile et militaire offre un champ d'exemples de ces réalisations que nulle autre industrie de transformation ou de transport à risques ne peut égaler. On y a vu se développer des aides au pilotage, puis à la gestion de l'armement, et le futur pourrait être encore plus sophistiqué avec des automates de vol de type drones uniquement supervisés à distance par les humains pour leurs fonctions les plus critiques [2].

Chacun notera un autre point important de ces évolutions : la motivation première en aéronautique a toujours été l'augmentation de performance. En fait, la préoccupation sécuritaire a toujours été prise en compte mais de façon utilitaire, dans la mesure où les concepteurs voulaient faire faire plus à l'opérateur et que ce résultat était impossible sans risquer une multiplication des erreurs. L'aide devait permettre de franchir ce nouveau cap de performance sans détérioration de la sécurité. Certains règlements en aéronautique civile ont d'ailleurs contribué à cette logique. L'exemple type en est le règlement de base de la certification civile (JAR 25-1309) qui exige que tout nouveau système fasse la preuve qu'il procure une sécurité au moins égale à la sécurité actuelle. Fatalement l'interprétation d'un tel règlement a souvent été minimaliste (faire la preuve que le système n'est pas plus dangereux que le précédent).

1.2 La définition de l'automatisation

L'automatisation des cockpits n'est pas nouvelle. Les pilotes automatiques existent depuis bientôt 50 ans. Mais l'amélioration considérable de la performance des calculateurs a permis leur utilisation généralisée à bord des avions et, du même coup, a transformé de nombreux aspects du travail des équipages. La diversification des équipements entre automates, automatismes et systèmes d'aides au pilotage, le nombre des sous-systèmes concernés et leur précision accrue, la dissémination dans toutes les sphères techniques, et notamment les systèmes d'armes et de guidage, ainsi que la transformation des liens entre les différentes composantes de l'avion caractérisent aujourd'hui les avions très automatisés.

L'automatisation peut se définir comme toute aide qui effectue en série ou en parallèle de l'opérateur des opérations de tri, de décision, et d'action habituellement dévolues à cet opérateur (où qui furent à un moment dévolues à l'opérateur) ; avec une telle définition, les automates sont extrêmement nombreux dans un aéronef.

Dans la suite du texte nous limiterons notre analyse aux cas d'automatismes qui relèvent d'une option et d'un choix pour l'opérateur qui peut ou non utiliser le système. On regroupe sous cette catégorie d'automates la plupart des 'automatismes intelligents de haut niveau'. Dans ces cas, c'est un savoir-faire qui habite l'aide ou l'automatisme, une partie de conduite, de diagnostic ou de décision qui appartenait à l'opérateur et qui maintenant anime aussi l'outil et lui donne un statut de coéquipier.

Et c'est bien là où commencent les difficultés. L'automatisme, parce qu'il est doté de savoir-faire, réclame un soin particulier dans son couplage à l'opérateur humain ; elle est un partenaire et non un outil ; un partenaire singulier doté d'un comportement éloigné d'un coéquipier humain.

2.0 LE BILAN GLOBAL : MOITIE SUCCES, MOITIE ECHEC

Les résultats en matière d'automatisation sont mitigés. L'épreuve des faits aura donné définitivement tort aux optimistes inconditionnels qui prédisaient à l'aube des années 70 une formidable amélioration de la performance et de la sécurité avec l'introduction radicale de l'automatisation et des aides.

La sécurité, bien qu'exceptionnelle, ne s'est plus améliorée dans l'aéronautique civile depuis vingt ans et pourrait même légèrement s'aggraver [3] alors que les systèmes d'aide ont été développés justement dans cette période, et ce résultat est relativement applicable à toutes les industries à risques, les transports publics, et l'aéronautique militaire modulo un certain décalage temporel.

Bien sûr, ce n'est pas pour cela que le bilan des aides est négatif puisque la performance a augmenté dans des proportions remarquables à sécurité constante. Ce sont les causes de cette dissociation qu'il convient d'expliquer à la lumière de vingt ans d'expérience pour préparer l'avenir.

La cause historique de la difficulté de couplage des aides avec l'opérateur est évidemment liée au caractère très inexact du modèle de l'opérateur, décrit dans le premier paragraphe, qui « habitait » les ingénieurs de bureaux d'études pendant ces vingt dernières années.

2.1 Vers un modèle plus exact de l'opérateur [4]

Depuis près de vingt ans, la psychologie cognitive a fait de l'analyse des défaillances, des erreurs et de l'étude des opérateurs novices des modes d'accès privilégiés à la compréhension des mécanismes cognitifs complexes, notamment du contrôle cognitif [5,6]. Le contrôle cognitif doit ici être compris comme toute activité de supervision, interne à la cognition, dont l'objectif est d'assurer et de vérifier le bon usage des capacités cognitives aussi bien en terme d'intensité, que d'ordonnancement dans le temps, afin d'atteindre le ou les objectifs visés par le sujet.

Les apports de ce type de recherche ne sont plus à démontrer. Les théories sur le contrôle de l'attention, sur la décision, et sur les modes de contrôle cognitif, reposent sur le paradigme de la défaillance – ou du biais cognitif [7]. Les catastrophes industrielles ont largement participé à cet engouement général pour l'étude des défaillances humaines.

Mais à force de se centrer sur les défaillances, des ambiguïtés durables se sont installées sur les modèles de l'opérateur. On a confondu erreur et accident, et on a diabolisé toute défaillance dans une quête d'optimalité d'un système cognitif assimilé au fonctionnement d'une machine. On a minimisé pendant vingt ans le rôle structurant de l'erreur dans la résolution de problème, pourtant évoqué dès les années 40 par les Gestaltistes. On a aussi négligé l'accumulation de résultats démontrant que l'opérateur commet beaucoup d'erreurs, mais en récupère la plupart [8,9].

Reason [5] lui-même n'a pas restauré un visage positif de l'opérateur dans son premier livre sur l'erreur. Son argumentaire sur la rationalité limitée et les primitives cognitives vise à expliquer la « normalité » de la survenue de l'erreur, plus qu'elle ne cherche à en comprendre l'utilité. Quant à la démonstration de sécurité systémique, Reason a simplement déplacé la faute de l'opérateur de première ligne pour la faire peser sur les hommes responsables de la conception et de l'organisation¹.

¹ Reason a infléchi récemment ce point de vue ; son dernier ouvrage de 1997 donne une place plus importante à l'utilité cognitive de l'erreur, et à la contribution à la sécurité des acteurs de première ligne.

Il a fallu attendre des temps plus favorables pour changer le mode de pensée dominante ; le basculement est intervenu dans le milieu des années 90 avec l'augmentation des études de terrains en situations très complexes. Parallèlement, l'industrie s'est aperçue que le taux d'accident se mettait en plateau : l'optimisation des solutions de blocage des erreurs et d'encadrement de l'opérateur avait des limites.

Toutes les conditions étaient réunies pour une bascule théorique et pratique concernant les idées développées sur la fiabilité humaine.

En quelques années, le paysage de la recherche a changé, avec une révision profonde du concept d'optimalité du fonctionnement cognitif (mais qui n'a souvent fait que reprendre des théories pré-existantes négligées) :

- L'optimalité cognitive ne doit plus se décliner en termes de recherche de fonctionnement à moindre déchet, et particulièrement de moindre déchet instantané (évitement de toute erreur et défaillance, temps de réponse minimal, compréhension maximale, récupération des défauts dès que détectés), une hypothèse pourtant dominante depuis des décades dans les protocoles expérimentaux, les consignes, et toutes les disciplines intéressées à la sécurité,
- Elle se décline plutôt en terme de compromis permettant une atteinte *dynamique* de l'objectif (mais on devrait dire « des » objectifs) avec une performance suffisante. Trois idées sont centrales dans cette révision théorique :
 - Celle de « suffisance », mais elle est souvent comprise- à tort- comme minimaliste (moindre coût cognitif) ; elle doit plutôt être comprise comme une réponse adaptée à l'environnement apportant une satisfaction subjective à celui qui fait le travail, compte tenu de ses buts, du contexte, et de ce qu'il sait faire. La notion de 'suffisance' est reconsidérée à chaque exécution, et n'est pas contradictoire avec une performance très élevée et un coût cognitif élevé.
 - Celle d'adaptation dynamique, avec des fluctuations importantes de performance dans le temps, mais finalement une réponse globale acceptable à l'échéance visée ; le temps disponible et les échéances visées sont les unités sur lesquelles il faut juger la performance cognitive, et non le résultat à chaque instant de ce temps disponible avant que les échéances ne soient atteintes. Les erreurs s'avèrent n'être finalement que le prix à payer à un compromis bien contrôlé, et ne sont souvent que des variables secondaires dans la maîtrise de la situation.
 - Enfin celle de métacognition, qui permet de régler la gestion des risques acceptables et acceptés, et notamment du contrat de performance de départ.

2.2 Les causes de la difficulté du couplage des « aides intelligentes »

Quatre variables sont déterminantes pour qualifier un système d'aide et en réussir – ou pas – le couplage à l'opérateur : la qualité de compréhension, la qualité de la confiance, la conscience du niveau de risque accepté et une définition claire des responsabilités.

2.2.1 Le niveau et la qualité de la compréhension

Dans la plupart des cas le « traitement » facteur humain de l'automatisation se limite à présenter l'information sous une forme familière à l'opérateur, rapide à comprendre. Mais trop souvent les automatismes apparaissent comme « magiques », « opaques » à l'opérateur dans la façon dont ils élaborent l'information, proposent la solution et jouent cette solution.

Pour contourner cette difficulté, de nombreux travaux soulignent l'importance de doter les machines d'un comportement le plus « humain » possible afin de faciliter leur compréhension et leur utilisation par l'opérateur. Le concept dominant est celui de la programmation des systèmes « centrée sur l'homme », « transparente », « human-like », en bref respectant les modèles psychologiques de l'utilisateur [10, 11].

Les principaux résultats en faveur de ce concept soulignent que plus l'opérateur est novice ou passif, plus ses interactions sont non pertinentes vis à vis du problème à traiter. Lehner [12] ajoute que plus l'opérateur est naïf vis à vis du système d'assistance, plus une similarité des connaissances et des raisonnements entre le système et l'utilisateur est nécessaire pour qu'il suive le fonctionnement du système automatique et reprenne la main quand nécessaire.

Plusieurs résultats [13] convergent aussi pour montrer qu'il est nécessaire de donner une compréhension minimale des principes de fonctionnement du système afin d'éviter des interprétations magiques de la part de l'opérateur. L'automatisme ne doit pas être présenté comme une boîte noire et doit faire l'objet d'un enseignement formel au même titre que les connaissances sur les lois de vols ou les lois des systèmes hydrauliques.

Mais le point central de la critique est la notion d'optimalité des automatismes. Les automatismes sont en effet conçus pour donner le résultat le plus élevé dans l'absolu à chaque pas de leur exécution, ce qui est rarement le résultat d'une performance humaine dans une situation comparable. L'optimalité humaine se décline sur l'objectif. Par contre, à chaque instant, la 'copie cognitive' est comme un devoir inachevé. Le sujet est conscient qu'il n'a pas tout compris, pas tout fait ce qu'il aurait fallu faire, et qu'il a commis des erreurs qu'il n'a pas encore récupérées. Cette sphère de conscience de « l'inachevé » ordonne des priorités cognitives, et explique souvent des déviations, qui n'ont pour seuls buts que de se donner plus de temps pour récupérer des retards. Cette notion de brouillon inachevé est indispensable à la gestion dynamique de la cognition, et s'avère performante sur le but (malgré toute cette imperfection de chaque instant, le résultat est le plus souvent correct) ; mais elle crée aussi beaucoup de difficultés dans la conception et le couplage aux aides, car ces dernières sont souvent très directives dans la correction immédiate des défauts et perturbent gravement – en voulant bien faire – le réglage de la gestion dynamique des risques. Là encore vouloir forcer l'opérateur à travailler constamment en performance optimale est un non-sens psychologique et ergonomique [4].

2.2.2 La confiance

Quand l'automatisme se comporte de façon opaque, les mécanismes naturels de confiance ont du mal à s'établir et l'opérateur hésite en à reprendre la main sur le système, à la fois parce qu'il sublime le côté magique de l'aide et qu'il doute de lui et de ses capacités à faire aussi bien s'il reprenait la main [14,15].

2.2.3 Le niveau de risque accepté

Au delà de ces difficultés de couplage, deux autres paradoxes importants font obstacle à la conception actuelle des systèmes automatiques réellement compatibles avec une augmentation de la sécurité :

Paradoxe 1 : La plupart des automatismes ne savent gérer que les situations normales. On compte toujours sur l'opérateur pour récupérer les situations anormales, qui sont justement les plus complexes.

Paradoxe 2 : Les automatismes poussent en permanence l'opérateur à optimiser la minimisation du risque externe, objectif, sans prendre en compte les efforts cognitifs nécessaires à cette optimisation, ni le répertoire de réponse de l'utilisateur. La conséquence en est souvent une charge de travail excessive, non pas liée à l'automatisme mais à l'ambition de performance et l'augmentation des exigences de la situation, que l'opérateur essaie malgré tout de contrôler à un niveau plus acceptable en réduisant l'espace problème pris en compte et en diminuant les contrôles qu'il effectuerait spontanément sur le système. La conséquence d'une telle approche est logiquement l'augmentation de la fréquence des erreurs humaines non détectées [16].

2.2.4 La responsabilité

Les difficultés ne s'arrêtent pas à une simple analyse technique. Le problème de la responsabilité de l'opérateur de première ligne en cas d'erreur -ou pire d'accident- quand cet opérateur est assisté d'un ou plusieurs systèmes d'aides est un véritable casse-tête social et juridique pour le secteur civil. Cette situation s'applique aussi aux défaillances graves des systèmes d'armes automatisés.

Normalement, les aides sont un choix de l'opérateur. La responsabilité dans la performance finale est donc clairement à charge de cet opérateur. Mais les choses se compliquent pour deux raisons : d'une part la conduite avec automatismes est fortement encouragée voire obligatoire afin d'assurer le maximum de sécurité et de performance. Quand une erreur est commise dans les interactions avec les automatismes suite à une incompréhension du fonctionnement de l'automatisme, la faute incombe souvent à l'opérateur et non à la conception de l'automatisme. D'autre part, les systèmes d'aides ou de conseils prennent également un statut de « parole de Dieu ». Leur contestation par le pilote dans une phase de vol incidentelle ou accidentelle est la plupart du temps considérée comme un erreur par la commission d'enquête. Bref, la responsabilité est toujours sur le pilote, mais la décision est de plus en plus, pour les raisons évoquées précédemment d'opacité et d'optimisation, du côté du système. Il en résulte un difficile débat juridique sur la responsabilité finale de la faute avec ces systèmes qui entrent véritablement en compétition avec l'opérateur dans ce qu'on lui a toujours reconnu de plus précieux : sa capacité décisionnelle.

Pour toutes ces raisons, la réalité des incidents / accidents récents montrent que les opérateurs sont de moins en moins tentés se désobéir aux conseils de ces machines.

Mais est-ce là vraiment ce que l'on cherche, vu les attentes sur la présence de l'homme à bord et le coût d'embarquement de cet opérateur humain par rapport à un drone?

3.0 PERSPECTIVES

3.1 Plaidoyer pour une sécurité plus écologique

Le modèle de sécurité écologique décrit dans les paragraphes précédents de cet article ne garantit pas une sécurité totale. Il porte en lui les germes de défaillances potentielles très sévères. Mais il permet de comprendre différemment ces défaillances par rapport aux modèles classiques d'erreurs.

L'hypothèse de base repose sur une cognition qui 'veut survivre' et qui se donne les moyens de sa sécurité ; l'erreur ou la défaillance grave doivent être évitées. Mais elle se doit aussi d'être efficace ; une position maximaliste en contrôle complet et permanent de la performance réduit considérablement le potentiel de performance cognitif. Le système cognitif s'est donc configuré dynamiquement pour répondre à ces deux objectifs contradictoires.

Cette configuration repose sur deux piliers : (i) s'adosser à l'émergence naturelle de signaux cognitifs pour procéder aux corrections tactiques quand la cognition atteint les premières limites de contrôlabilité (encore aisément récupérables, donc avec des marges) [4] ; (ii) s'appuyer sur la métacognition pour gérer le caractère stratégique et garder le contrat d'objectif dans une zone effectivement réalisable (par expérience).

Les défaillances graves surviennent quand un de ces deux piliers est parasité, soit que les signaux de limites soient masqués ou que la métacognition indique des capacités erronées de gestion. Ces deux conditions sont souvent remplies dans une automatisation des systèmes : d'une part, les automatismes masquent la perte de contrôle cognitive en garantissant une performance maximale même sans intervention et compréhension de l'opérateur ; d'autre part, les connaissances de l'opérateur sur le système

deviennent plus hétérogènes du fait de l'accroissement de la complexité globale ; les mécanismes de mémoire et de métaconnaissance finissent par gommer une partie de cette hétérogénéité et font croire à l'opérateur qu'il en sait plus que la réalité de sa cognition [4].

3.2 La conception d'automatismes qui respecte l'écologie de la maîtrise de la situation par l'homme

Le titre de l'article portait sur la conception d'automatismes et les systèmes tolérants aux erreurs. Le texte a montré que les automatismes introduits dans l'aéronautique dans les vingt dernières années ont considérablement augmenté la performance tant sur le terrain civil que militaire. Inversement, ils n'ont pas significativement changé le niveau de sécurité ; leur introduction a réduit mécaniquement les erreurs de routines (puisque l'opérateur touche moins aux commandes), mais elle a été la source de nouvelles erreurs de compréhension, dont on sait qu'elles sont particulièrement accidentogènes.

A ce niveau de couplage, de sécurité, et de performance, les leçons à retenir pour une conception plus harmonieuse sont multiples :

- Nous sommes encore à un moment où les automatismes ont besoin de l'homme pour les valider et les surveiller. Dans ces conditions, les équilibres écologiques entre logique de performance et logique de couplage à l'homme sont prioritaires à (re) trouver. La conception actuelle, par négligence des besoins humains, propose des solutions optimisées en performance, rigides dans leur mises en oeuvre, pléthoriques en options, et finalement opaques pour l'opérateur et sources d'erreurs graves. La seule façon de les coupler mieux à l'opérateur est de revoir ces critères : les réduire en nombre, surtout quand elles ne sont que des options même pas enseignées (exemple des modes du pilote automatique), les rendre plus souples avec un fonctionnement optimal sur l'objectif, et non de chaque instant, bref, les rendre plus inspirées du modèle de fonctionnement humain.
- La performance pourrait se trouver limitée par cet effort couplage plus harmonieux ; c'est sans doute le prix à payer à une optimisation de sécurité dans la situation actuelle. Performance et sécurité sont des variables qui divergent en optimisation de systèmes. Pour cette raison, on conçoit que les arbitrages puissent être différents entre applications civiles et militaires.
- Les solutions du futur n'élimineront jamais l'homme dans la supervision des systèmes ; cet homme va changer de rôle, mais être encore plus essentiel à l'obtention de la performance du système, vu le faible nombre d'opérateur envisagé, et leur criticité de décision.
- Les robots seront parmi nous en grand nombre dans moins de 20 ans, ils sont déjà utilisés (exemple des opérations de la guerre du Kosovo) ; ce phénomène ne sera pas limité aux drones ; il va toucher progressivement l'ensemble des outils de proximité des forces, et plus généralement de notre société (assistance diverses, véhicules terrestres automatiques, et même techniques médico-chirurgicales, etc.). Il sont une forme d'ultime conséquence de la révolution de l'informatique, des moyens de communications, et du contrôle des transmissions à distance à grande échelle, haut débit, et haute sécurité. Comme toujours dans de tels programmes, les premières années de conception sont des années de défis techniques ; il faut trouver les solutions techniques adéquates pour faire vivre le concept. Mais on est déjà presque au delà de cette période. IL faudra conduire impérativement et en même temps une réflexion encore plus amont pour anticiper les changements très profonds de culture qui vont résulter dans nos forces de l'usage de ces technologies. Encore une fois, les impacts sociologiques sur les Armées, et organisationnels devraient être considérables à terme. Les théories les plus modernes de l'ergonomie cognitive et de la coopération doivent être mobilisées pour résoudre ces problèmes au mieux.

4.0 BIBLIOGRAPHIE

- [1] Amalberti, R., Grau, J.Y., Doireau, P. (1995) L'erreur humaine : évolution des concepts et implications pour la conception et l'exploitation des systèmes complexes, *Revue Scientifique et Technique. de la Défense*, 3, 119-127.
- [2] Amalberti, R., Dauchy, P., Grau, J.Y., & Hoc, J.M. (2000) Sciences cognitives et IHM de drones, *Revue Scientifique & Technique de la Défense*, (1), 101-108, 1988.
- [3] Amalberti, R. (2001) The Paradoxes of Almost Totally Safe Transportation Systems, *Safety Science*, 37, 109-126.
- [4] Amalberti, R. (1996, réédition 2001) La conduite de systèmes à risques, PUF : Paris.
- [5] Reason, J. (1993) *L'erreur humaine*. Paris : Presses universitaires de France, PUF, traduction par Jean-michel Hoc de Reason, J., Human Error, 1990, Cambridge University Press.
- [6] Dörner, D. (1989) *La logique de l'échec*. Paris : Flammarion.
- [7] Tversky, A., & Kahneman, D. (1974) Judgement under Uncertainty: Heuristics and Biases. *Science*; 185:1124-1131.
- [8] Rizzo, A., Bagnara, S., Visciola, M. (1987) Human Error Detection Processes. *International Journal of Man-Machine Studies*; 27:555-570.
- [9] Visciola, M., Armandi, A., & Bagnara, S. (1992) Communication Patterns and Errors in Flight Simulation. *Reliability Engineering System Safety*; 36:253-259.
- [10] Sarter, N., Woods, D. (1992) Pilot Interaction with Cockpit Automation: Operational Experiences with the Flight Management System, *Int. Journal Aviation Psychology*, 2(4) 303-321.
- [11] Roth, E.M., Bennett, K., Woods, D. (1987): Human Interaction with an "Intelligent" Machine, *Int. J. Man-Machine Studies*, 27 (5&6), 479-526.
- [12] Lehner, P. (1987) Cognitive Factors in User/Expert-System Interaction, *Human Factors*, 29(1), 97-109.
- [13] Sarter, N., & Amalberti, R. (Ed) (2000) *Cognitive Engineering in the Aviation Domain*, Hillsdale-New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- [14] Muir, B. (1987) Trust between Human and Machines, and the Design of Decision Aids, *Int. J. Man-Machine Studies*, 27 (5&6), 527-539.
- [15] Wiener, E. (1985) Beyond the Sterile Cockpit, *Human Factors*, 27 (1), 75-90.
- [16] Amalberti, R. (1992) Safety in Process-Control: An Operator Centred Point of View, *Reliability Engineering and System Safety*, (38), 99-108.