

Conception d'un Système d'Aide à la Décision pour la Sécurité des missions spatiales habitées de longue durée

Stéphane Grès & Jean-François Guyonnet
Laboratoire

UTC-TSH COSTECH - BP 60319
60203 COMPIEGNE CEDEX

s.gres@magic.fr

Jean-francois.Guyonnet@utc.fr

Résumé

Notre communication porte sur la conception d'un système d'aide à la décision de la sécurité (S.A.D.S.) adapté aux missions d'explorations spatiales habitées. L'enjeu est la conception d'un S.A.D.S. pour les missions de longues durées (≥ 950 jours) à mener en complète autonomie dans le périmètre du système solaire. L'article suggère de montrer l'importance du contexte épistémologique et ontologique pour la création d'un dispositif ouvert, apprenant et fiable, à même de s'adapter en situations dangereuses et imprévues. Nous poserons en rapport avec notre recherche, les limites du paradigme empirico-analytique et avancerons quelques pistes dans le prolongement du paradigme naissant de l'énaction. Les pistes de propositions d'un modèle-guide alternatif sont bâties sur la présomption forte que les modèles centralisés de la sécurité ne peuvent être aujourd'hui suffisant pour répondre aux défis que posent la sécurité d'un système technique support à la réalisation des missions d'exploration, en autonomie complète en environnement inconnu déroutant. Le cheminement suivi consiste à s'inscrire dans un paradigme non excessivement dualiste qui réintègre les aspects holistiques et relationnels. Nous poserons quelques pistes et repères pour mieux penser et outiller l'accompagnement à la sécurisation d'un système complexe à même de s'adapter dans des contextes connu à inconnu.

Mots clés :

Système d'information décisionnel de la sécurité, système autonome, sécurité, éniation, système complexe, paradigme, missions spatiales habitées, système résilient, adaptation,

Abstract

This paper presents the conception of a Decisional Information System for Security (D.I.S.S.) dedicated to the Human Space Exploration Mission. The objective is to conceive a decisional information system for human long duration space flight (≥ 950 days) which is realised in entire autonomy in the solar system. This article describes the importance of the epistemological and ontological context for designing an open, self-learning and reliable system able for self-adapt in dangerous and unforeseen situations. We present in link with our research, the limits of the empirical analytical paradigm and several paths of research lead by the nascent paradigm of enaction. The proposition is to design an alternative model-guide. The strong presumption is that the centralised models of security could not be sufficient today to respond and challenge the security of a technical system, which will support human exploration missions in total autonomy in unforeseeable and disconcerting environment. Our process of thought is not to have an excessive dualistic approach that restores holistic and relational aspects.. We explore several design modes in order to better think and support the process for the security of a complex system able to self-adapt in well-known and unknown contexts.

Keywords:

Decisional and information systems, security, autonomous systems, safety, enaction paradigm, human space flight, resilient system.

1. Introduction et objectifs

La conception d'un système d'exploration spatiale autonome habité représente un challenge technologique, mais aussi et surtout nécessite une vigilance accrue face aux fondements ontologiques et épistémologique sur lesquels reposent les descriptions scientifiques usuelles, ainsi que les modèles utilisés en ingénierie spatiale. Pour le cas de l'exploration Humaine du système solaire, les échelles de distance conduisent à penser que la démonstration de sécurité est délicate dans le cadre classique du paradigme empirico-analytique. Rappelons très schématiquement les présuppositions de celui-ci en accord avec ses fondations dualistes [1] :

- Il existe une réalité a priori indépendante de l'observateur (Réalisme)
- La réalité est en dernier lieu constituée par la matière formée par un élément insécable in fine (Matérialisme).
- Il existe un monde du mouvement des objets matériels dans le temps et l'espace (Cartesian res extensa) et un monde des idées (Cartesian res cogitans). C'est à dire un dualisme ontologique et déterministe.

Notre étude s'inscrit dans le cadre de la conception coopérative d'un dispositif de sécurité à même de répondre aux exigences accrues dues à un environnement inconnu potentiellement déroutant. Nous cherchons à montrer l'articulation subtile qui existe entre la sécurité et la démarche de pensée qui guide la conception du dispositif d'exploration. Notre objectif consiste à orchestrer le passage d'une conception centralisée à un mode coopératif et distribué plus apte à répondre aux enjeux actualisés de la sécurité. L'analyse d'une série d'accidents dans le domaine des organisations à haut risques technologiques [2] nous permet de déceler les limites du paradigme empirico-analytique et des modèles existants qui semblent devoir être dépassés pour envisager la création d'un dispositif de sécurité à même de répondre aux exigences systémiques de la sécurité d'un système d'exploration humaine spatial autonome pour les missions de longue durée (durée supérieure à 950 jours).

2. Motifs en faveur de la transformation de la sécurité

Notre réflexion s'inscrit dans le cadre du paradigme émergent de l'énaction, qui pose l'objectivité scientifique comme un moment construit à l'aide d'un référentiel situé historiquement. Le fond commun d'évidence [3] accepté, partagé et validé par une communauté autour d'un passage problème-méthode-solution [4] est à réactualiser de façon continue sous peine d'inaptitude à résoudre les problématiques de son temps et de sa technologie. Dans le cas qui nous préoccupe, les motifs d'une approche alternative pour appréhender et construire une sécurité d'un nouveau type reposent sur l'exigence d'adaptation du système global d'exploration (support de la mission) à l'environnement complexe (interne et externe) dont le couplage est potentiellement difficilement prévisible par nature (système d'exploration/périmètre Mars & astéroïdes). Cette nature d'imprévisibilité est fondée sur l'intention d'exploration d'un milieu par définition, inconnu, puisque hors du périmètre circum lunaire très partiellement connu et exploré (missions apollo). L'autre motif qui fonde notre approche se base sur les limites constatées des modèles centralisés de l'organisation, limites très perceptibles sur terre et en orbite, dans le cas de l'analyse d'une série d'accidents qualifiée de systémique [5].

Selon notre analyse, l'exigence clé pour concevoir la sécurité d'un système d'exploration autonome habité concerne l'ouverture à l'apprentissage continu qui rend possible une adaptation rapide du système à un nombre de configurations variées non identifiées et modélisées a priori (schéma n°1). Les principes du vivant (et plus particulièrement du système immunitaire) peuvent apporter quelques pistes de réponses pour améliorer l'épistémologie de la conception du dispositif de sécurité. L'hybridation (l'interfécondation) des connaissances semble être une des voies souhaitables, si l'on se décale même très légèrement du paradigme qui guide l'intégration des systèmes spatiaux. Ce décalage est selon nous nécessaire en raison de la complexité des enjeux de portée planétaire, à la fois sur l'aspect identitaire et technologique du système à concevoir. Il s'agit de proposer des pistes pour anticiper, prévenir et résoudre les risques systémiques non appréhendables dans la structure dominante des

connaissances actuelles (paradigme empirico-analytique). Tout comme les atomes en sciences physiques, ou les individus en sciences sociales sont le résultat d'une observation ponctuelle orientée dans un temps scientifique relatif suspendu, les risques systémiques représentent avant tout un moment nommé d'une série de causes et d'effets formant le résultat d'un processus génésique complet d'expérience (à respecter). Notre perspective vise à placer en premier lieu les interactions au cœur de la dynamique de conception, tout comme elle est au cœur des processus du vivant. Les interactions se déploient entre la variété et l'unité dans une relation étroite et co-dépendante, indissociables et propices à l'extension de conscience/connaissance souhaitée. Le déploiement de l'humanité en dehors de son domaine terrestre nécessite cette extension de conscience dans le projet d'exploration spatiale interplanétaire habité.

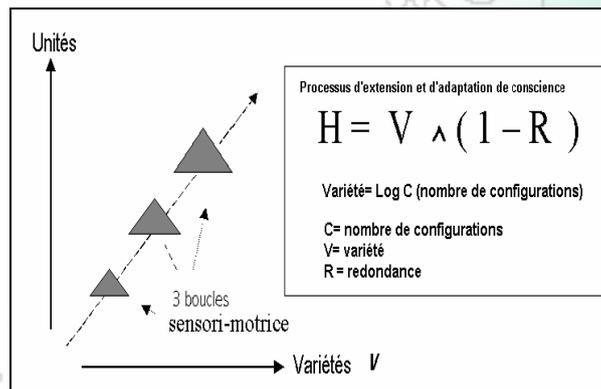


Schéma n°1 - Les interactions entre unité et variété

3. Les limites du paradigme existant en rapport avec la sécurité

Le principal constat à propos des limites des systèmes précédents est que la connaissance des éléments séparés d'un système complexe n'est pas suffisante pour connaître les propriétés émergentes bénéfiques ou dangereuses du système technique en couplage avec le système d'acteurs (système global). L'utilisation plus répandue et systématique du paradigme empirico-analytique en accord avec ses fondations dualistes forme aujourd'hui une frontière pour penser autre chose que la description d'objets simples et séparables, qualifiés et constitués de substances inorganiques ou finalement non vivantes. Le succès de cette approche empirico-analytique n'est plus à démontrer pour un spectre donné de la réalité, néanmoins il présente visiblement une incapacité à appréhender et interpréter correctement les situations multidimensionnelles, plus particulièrement les nouvelles structures évolutives et apprenantes, ainsi que les processus à effets cascades qui apparaissent aux limites des systèmes socio-technique précédents sous la forme symptomatique de dilemmes-paradoxes-contradictions-conflits se finalisant en dernier lieu en accident grave [6]. Une bonne partie des accidents mettent en évidence la faille d'une logique de conception excessivement contrainte par l'enfermement dans un cadre. Nous soulignons plus particulièrement les aspects suivants qui semblent difficilement appréhendable et interprétable dans ce cadre de pensée :

- Les phénomènes non linéaires telles que les dynamiques du vivant individuel ou social, caractérisés par des réseaux de boucles positives et négatives qui conduisent à des mécanismes d'autorégulation ou d'auto-organisation.
- Les phénomènes chaotiques ou qualifiés d'imprédictibles puisque dans une logique non répétable
- L'individu, vu comme un élément « perturbateur » externe et non comme un agent créateur parce que sa pensée comprenant son irrationnalité est à la source de tous les systèmes technologiques existants.

Ces aspects montrent des limites du paradigme, avec au centre la question des relations de co-dépendances entre l'observateur et le monde qu'il construit (une problématique qui est opérante en mécanique quantique). Un des autres aspects limitants concerne l'appréhension préférentielle de la

dynamique comme une trajectoire d'éléments matériels s'inscrivant dans le temps et l'espace newtonien à 3 dimensions. Les dynamiques du vivant sont difficilement compréhensibles dans ce cadre, et le principal constat en ce début de 21^{ème} siècle est bien l'émergence de fractions d'entités floues, mixte de type socio-biologico-informationnel [7] dont le comportement est pour le moins imprévisible. L'attentat du 11 septembre étant une sorte de révélateurs, (exemples extrêmes d'entités inconnues multi-formes non maîtrisable mais opérantes et terriblement efficaces [8]).

Ces quelques aspects ainsi que ce type d'exemples, posent la nécessité d'accepter et de reconnaître nos zones d'ignorances révélées par les limites de validité d'un modèle de connaissance historiquement situé. C'est par exemple l'inadéquation d'une vision dualiste, pour appréhender et concevoir la relation entre plusieurs logiques qui sont apparemment antagonistes. Ou bien la difficulté de penser l'esprit en tant que constituant du vivant construit qui montre la nécessité d'un recul ontologique et épistémologique pour aborder la conception d'un dispositif de sécurité plus (proche du vivant) apte à réaliser ses objectifs premiers : Faire face et réagir avec succès en environnement non-encore-connu (principe d'adaptation et de co-évolution – système d'acteurs/système technique/environnement).

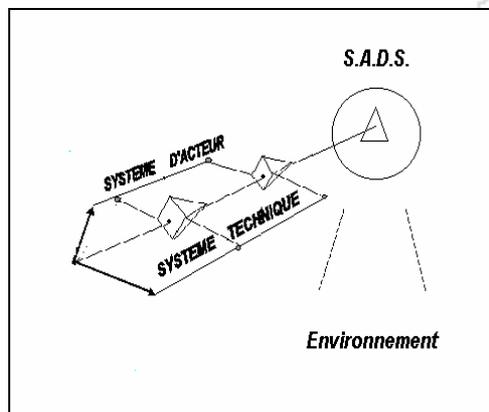


Schéma n°2a – Principe d'adaptation système d'acteurs/système technique/environnement

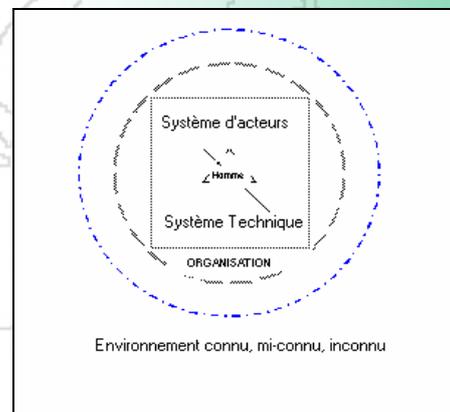


Schéma n°2b – Structure des ensembles à priori

4. Principes guides de conception (préambule philo-paradigmatique)

La conception d'un système autonome d'exploration du système solaire repose sur l'aptitude à comprendre, mémoriser et s'adapter en environnement inconnu déroutant. Mais plus précisément l'identité d'un système vivant est basée sur le maintien à la fois d'une stabilité apparente de forme (homéostasie) et l'ouverture au changement (esprit). Ce changement est permis par l'intégration opérante consciente ou non, cela dépend du niveau d'intégration de la conscience des différents niveaux d'organisations. La comparaison fonctionnelle avec les relations entre les niveaux d'organisation (schéma n°3a), ainsi que les modalités de l'intégration dans un environnement connu, possible, inconnu (schéma n°2b) forme la sphère des possibilités de réussite et d'émergence pour se sortir de situations dangereuses imprédictibles. Survivre (éviter une mort accidentelle) et se survivre (perpétuer l'espèce) est en effet un aspect caractéristique du vivant [9].

Dans l'idée de favoriser la construction d'un système vivant reposant sur le paradigme naissant de l'énaction¹ ; Ce sont les aptitudes du système à se réorganiser et à produire des hypothèses sur lui même (réflexivité) et sur son environnement qui nous intéressent (Hypothèses, fruits de mécanismes

¹ Enaction = Nom du paradigme épistémologique qui se dégage de la théorie de l'autopoïèse de Fransisco Varela appliquée aux neurosciences. En substance, l'énaction propose une conception incarnée de la cognition définie comme " faire-émerger d'un monde issu d'une histoire de couplage structurel ", compatible avec l'ensemble des épistémologies évoquées au prix d'abandonner certains préjugés tenaces.

qualifiés d'heuristique, de chaotique, de non linéaire au vu de l'ancien paradigme). Le trait majeur à relier au paradigme naissant de l'énaction, concerne la « brique de base » avancée pour le modèle-guide. Celle-ci n'est pas un élément identifié apriori comme un atome ou un élément insécable, mais un principe minimal perceptif lié à la forme vivante (que nous nommerons : Unité de « conscience minimale »). Cette unité ne fait que réifier une unité d'expérience dans le temps, l'espace, et une forme corporelle en co-relation avec une frange de la réalité qui porte la conscience de son existence. L'intégrité d'un niveau de conscience se forme par l'aptitude du système à reconnaître ses limites fermement et durablement pour un temps donné (d'une « unité d'expérience minimale » à une vie).

Ce processus minimal d'expérience perceptive existe de l'être monocellulaire à l'homme et repose sur une capacité inconsciente et/ou consciente à distinguer le soi et le non soi [10]. Néanmoins d'un point de vue non dualiste, l'on peut dire que la trinité opérante Unitaire – [Perception-Structure perceptive-action] (schéma n°3b) se déploie et se répercute à l'infini de façon fractale dans le monde phénoménal. Ceci en considérant le monde « extérieur » comme co-construit en relation avec la conscience du rapport au tout. En ce sens, cette brique de base, unité opérante de « conscience » produisant le monde phénoménal forme une relation primitive traversant tous les niveaux d'organisation du vivant (schéma n°3a). Cet aspect est d'une importance clé pour la conception d'un S.A.D.S. calé sur les principes du vivant régulé à même de développer des capacités d'adaptation en milieu non-connu.

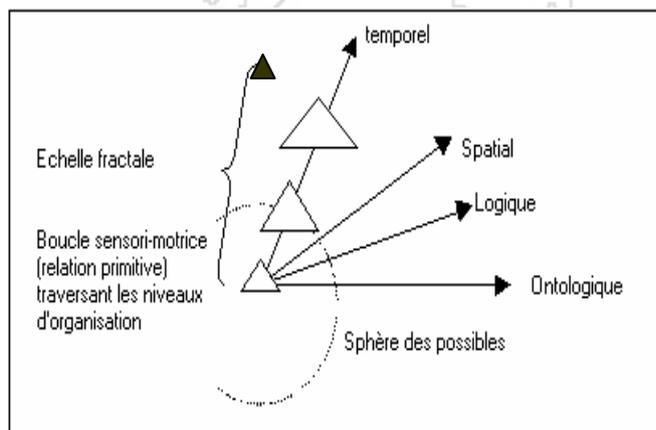


Schéma n°3a – Relation primitive trans-organisation

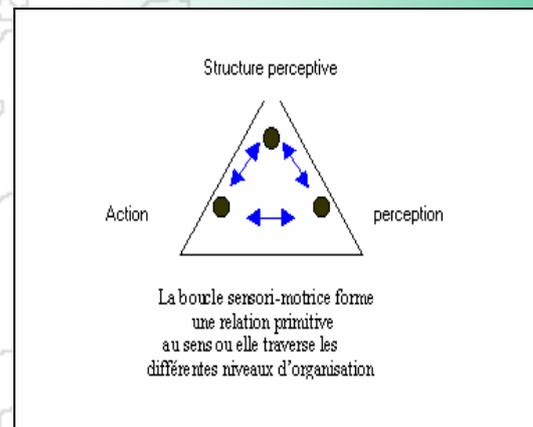


Schéma n°3b – Unité opérante de conscience perceptive

5. Le système d'information décisionnel de la sécurité

On pose le S.A.D.S. comme un trait d'union par construction entre le système d'acteur et le système technique (schéma n°2a) s'inscrivant lui même dans l'environnement système solaire (schéma n°2b). En ce sens, le S.A.D.S. est proche d'une émergence interactionnelle hybride constituée d'une série dynamique de relations : Homme-Homme/Homme-Système/Système-Système (schéma n°2b), dont on ne peut apriori hypothéser la nature et les caractéristiques émergentes. L'aptitude du S.A.D.S.² est d'être capable d'augmenter la perception de l'environnement en tant que prothèse technologicognitive des savoirs humains embarqués (résilience). Le S.A.D.S. a aussi pour objectif de maintenir dans certaines limites la synchronisation temporelle fréquentielle (en rythme/écho musical intermodule) des unités perceptives et des trois ensembles Homme-organisation-environnement dans un cycle [perception-multiréférentiel-action] qui va du composé au simple, et du simple au composé. Plus sommairement, le S.A.D.S. doit être apte:

² S.I.D.S : Système d'Aide à la Décision de la Sécurité

- A distinguer de façon nuancée un accident encore jamais vu ni même imaginé antérieurement dans la famille du système, d'un accident jamais expérimenté par le système, mais quand même vu antérieurement idéalement mais imparfaitement,
- A établir et édifier la sécurité "idéale". Un accident jamais vu ne doit pas se répéter une deuxième fois à l'identique pour un même système, donc ...on posera qu'un accident encore jamais vu peut se produire en dehors de toute probabilité ou possibilité,

D'un point de vue classique, le S.A.D.S. doit savoir reconnaître les sens d'évolution en cours des l'état du système et les ayants inférés dans plusieurs champs logiques. Le S.A.D.S doit savoir réagir de façon mesurée ou inventée par libre possibilité d'émergence d'une logique pas encore connue. Un aspect que nous posons en rapport avec l'unité perceptive constituante de base (schéma n°3b) concerne l'observation de la dimension fractale à tous les niveaux transversaux de l'organisation. Un autre aspect est la possibilité d'engager ou de se libérer d'une action aux bons niveaux, en laissant le cycle problème-méthode-solution s'élaborer en temps « réel », ou en décalage avec le dispositif de mémorisation du système (Schéma n°4a).

Néanmoins, intuitivement, nous posons comme guide l'unité temporelle de la partie du système dont l'intégrité est mis en cause. Cette unité fonde face aux dangers, l'unité d'action et de mémorisation possible localement. en chemin de coopération viable (intégrité (en vie) du tout). Nous pouvons pour le moteur logique du SIDS voir se dessiner trois domaines de stratégies différents qui portent des espaces de mémorisation et de résolutions à articuler correctement et souplement en environnement connu à inconnu (schéma n°4a et 4b).

Niveau	Domaine temporel	Données	Mode de calcul/computation	Mémoire
1	Passé	Nettes ↑ ↓ Floues	Statistique	Duplication
2	Présent		Probabilité et possibilités	Computation et extrapolation
3	Futur		Dynamique des systèmes et contrôle flou	Pattern de régulations système ago-antagoniste, IA
4 ?			Générateur aléatoire à reconnaissance de formes, pointage de fréquences	Mémoire dynamique topologique ?

Schéma n°4a – Moteur pluri-logique du S.A.D.S.

6. Les stratégies du vivant comme métaphore d'aide à la construction du SIDS

Celle-ci nous guide pour la conception du S.A.D.S. Le premier aspect auquel il faut s'intéresser concerne la capacité de survivre et de se survivre [11]. Cette capacité repose sur l'aptitude à maintenir l'intégrité de sa frontière physique, spatiale, logique et temporelle entre un dedans et un dehors distinguable par l'organisme [12]. Ceci est étroitement lié à l'unité de conscience existante à chaque niveaux d'intégration d'une entité vivante. A tous les niveaux d'organisation du vivant existent des facteurs d'interdépendances (agrégation, intégration, interaction, rétroaction, co-interaction, ago-

antagonisme, etc...) ou d'adaptations enchevêtrés fonctionnant en contexte dans un rapport évalué et régulé: Tout/totalité-relations/informations-objets/énergie [13].

La clé de répartition des stratégies s'éloigne d'une vision dualiste et se rapproche de la métaphore du vivant. Le S.A.D.S. est guidé par des stratégies coopératives (ou non) [14]. Ce qui pose une clé de répartition ternaire (et coopérative) des stratégies, à l'image du vivant qui s'intègre dans un environnement pour faire face aux agressions et survivre. (schéma n°4b).

	Passé	Futur	
Coopération	Coopération	Coopération	Stratégie 1
Coopération	Coopération	Compétition	Stratégie 2
Compétition	Compétition	Coopération	Stratégie 3
Compétition	Compétition	Compétition	Stratégie 4

Schéma n°4b – Clé de répartition des stratégies utilisées

Dans une optique de survie et de méta-survie transgénérationnelle (par héritage), les processus de phylogénèse et d'ontogénèse des systèmes vivants bien que sur des échelles de temps différents semblent en relation [15]. Le résultat historique du processus d'héritage des organismes vivants est un accroissement de l'aptitude à gérer la complexité en optimisant et fécondant d'un point de vue ultime l'éveil de l'unité de conscience en relation au tout. Il est également possible de dire que la transformation du système d'acteurs en interdépendance avec le système technique dans l'environnement mondial actuel distribue de façon non localisée au sens empirico-analytique les structures de décisions. Ceci peut représenter à la fois une redondance salvatrice, en même temps qu'un risque de non survie pour l'espèce Humaine (schéma n°1). Le S.A.D.S. établit un lien à chercher avec l'extension nécessaire de la conscience adapté à l'exploration du système solaire. Le S.A.D.S. doit être au cœur de l'interdépendance entre le système d'acteurs et le système technique dans le cadre d'exploration, son rôle est de prévenir les dangers connus, mais aussi d'étendre les possibilités d'anticipation et de compréhension au delà du connu ou anticipé a priori (schéma n°4a).

7. Conclusion

Nous avons présenté plusieurs pistes pour la conception d'un S.A.D.S. à même de favoriser le développement des caractéristiques d'apprentissages pour aider à faire face habilement aux situations imprédictibles. Nous soulignons l'importance de bien « capter et mesurer » les exigences de transformation de la façon de penser la sécurité pour faire face à l'accroissement de complexité des connaissances Humaine et technologique. Particulièrement dans le cas d'un système fonctionnant en autonomie complète hors de portée d'un secours venant de la terre. L'utilisation des nouvelles technologies à haut risque devra être guidée et compensée par une extension de conscience en rapport avec les enjeux de responsabilités d'une humanité à identité mondiale, avant tout respectueuse de la diversité de l'ensemble des formes de vie qu'elle porte et du berceau terrestre qui a permis cette naissance.

8. References

[1] Schwarz E. "Can real Life complex systems be interpreted with the usual dualist physicalist epistemology – Or is a holistic approach necessary ?" In *European Conference on System Science*, October 2002.

[2] Guyonnet J-F. "Notes of courses, security and reliability part one". In *travaux dirigés et travaux pratique*, Autumn 2003.

[3] Maturana H & Varela F. *Autopoiesis and cognition*. In *Boston: Reidel*, 1980.

[4] Le Cardinal Gilles. *L'homme communique comme unique (Modèle systémique de la communication interpersonnelle finalisée)*. *University of Bordeaux* ; october 1989.

- [5] Guyonnet J-F. De la sécurité des systèmes à la fiabilité humaine. Essai introductif à la régulation des risques technologiques. *Thesis University of technology of Compiègne*, 1987.
- [6] Guyonnet J-F. Théorie et pratique de la sécurité en Technologie, in *livre à paraître*, 2005.
- [7] Grès S. « Design of complex Information Systems : Towards the principles of reliable systems ». In *47eme conférence International Society for the Sciences Systèmes*, Crète, July 2003.
- [8] Attentat du 11 septembre in <http://www.insecula.com/article/F0009925.html>.
- [9] Bricage P. « Qu'est ce qu'un être vivant ? » In *recueil de texte, licence de sciences sanitaires et sociales. UFR Sciences et techniques de l'université de PAU*, 1997.
- [10] Varela, Francisco J., Coutinho, Antonio, Dupire, B., and Vaz, N.N. "Cognitive networks: Immune, neural, and otherwise", in *Theoretical Immunology, Part Two*, edited by Alan S. Perelson, Redwood City: Addison-Wesley Publishing Co., pp. 359-75. 1988.
- [11] Stewart J. Notes of courses, cognitive sciences. In *courses at University of Technology of Compiègne*, Autumn 2004.
- [12] Wilson J. & Hunt T. Molecular biology of the cells. In *the problem book*, Garland Publishing, 1989.
- [13] Schwarz E. The autogenesis model. Summary <http://www.autogenesis.ch/Res1997.html>.
- [14] Le Cardinal G. & Guyonnet J-F. « Les mathématiques de la confiance ». In *Pour la science*, juillet, 1984.
- [15] Maturana R., Varela J. The tree of knowledge, The biological roots of human Understanding. In *revised Edition, Shambhala USA*, 1992.
- [--] Bricage P. « La gouvernance du vivant, les acteurs et le système ». In *acte of Moulin d'Ande summer*, 2004
- [--] Grès S. Approche pour la conception de systèmes complexes, in *Les Techniques de l'ingénieur*, 200.2
- [--] Hardy C. (2001). Self-organization, self-reference and inter-influences in Multilevel Webs: Beyond causality and determinism. *Journal of Cybernetics and Human Knowing*. UK: Imprint Academic. Vol.8, no.3.
- [--] Leucippe, philosophe grec, V^e siècle av. J.-C. and Démocrite.
- [--] Shawler J.W. Accidents and disaster in Human Space Flight, *Edition Springers & Praxis*, 2000.
- [--] Bernard Weil E. Précis de systémique ago-antagoniste, *Edition Limonest*, 1988.