

Fiabilité organisationnelle et décisions en situations complexes

Sophie Gaultier Le Bris* - Siegfried Rouvrais**

* Ecole Navale, LEGO, UBL
BCRM Brest
CC 600 – 29240 Brest Cedex 9 – France
sophie.le_bris@ecole-navale.fr

** IMT Atlantique, Irisa, Lab-STICC, UBL
Technopôle Brest-Iroise - CS 83818
F-29238 BREST Cedex 3 – France
siegfried.Rouvrais@imt-atlantique.fr

RÉSUMÉ. Les problématiques organisationnelles et humaines vécues dans les activités professionnelles soulèvent la question du traitement de la complexité pour les acteurs en situation. La préparation des décideurs à l'encadrement d'équipe et le renforcement des capacités à décider dans des situations complexes et inattendues, a donné lieu à une définition d'objectifs d'acquis en terme de compétences au sein de deux établissements d'enseignement supérieur français. Ces institutions, pour leurs formations d'ingénieurs, sont soumises aux critères d'exigence de référentiels de compétences aux niveaux français et européen. En formation, le développement des aptitudes à la gestion de situations complexes permet aujourd'hui l'analyse de comportements et actions d'équipes face à des situations complexes et inattendues, sous contrainte de temps, qui trouvent écho dans les environnements professionnels dit volatiles, incertains, complexes et ambigus.

ABSTRACT. Organizational and human problems experienced by the organizations raise the issue of complexity management in situation. The preparation of teams and the reinforcement of individual and teams capacities to decide in complex and unexpected situations focusing particularly on the leader role, gave rise to a definition of the objectives in term of competences, requirements implemented within two French educational institutions. These institutions are under the requirements of skills reference framework for the training of engineers in France and in Europe. The development of complex situations management skills allows now the analysis of team behaviors in complex and unexpected situations, under time constraints, especially in professional environments known as Volatile, Uncertain, Complex and Ambiguous.

MOTS-CLÉS: complexité, décision, fiabilité, méta règles, VUCA, recherche orientée design.

KEYWORDS: complexity, decision, reliability, meta rules, VUCA, design-based research.

2 Méthodes, interdisciplinarité et complexité

1. Introduction

Nombreuses sont les organisations « *confrontées à des environnements de plus en plus instables* » (Lestonat, 2014) évoluant dans des contextes sociétaux et professionnels aux caractères Volatiles, Incertains, Complexes et Ambigus (VUCA). Ces environnements soulèvent la question de la gestion de la complexité pour les futurs décideurs. Etudiant les organisations où le niveau de fiabilité est particulièrement élevé (p.ex. nucléaire, médical), Weick (1995) explique qu'elles ont des caractéristiques particulières où les acteurs se retrouvent dans des contextes à la fois de surcharge d'informations, de turbulence constante et de complexité croissante. Or cette complexité peut conduire à une saturation cognitive des acteurs en situation.

Les problématiques organisationnelles et humaines vécues au sein des organisations induisent des questionnements : celui notamment du traitement de la complexité par les acteurs en situation et plus précisément du décideur. Les enjeux de la prise de décision, individuelle ou collective, peuvent être élevés : une erreur de choix peut avoir des conséquences irréversibles, ce que les organisations hautement fiables, notamment, ne peuvent tolérer. Simultanément, les difficultés des processus décisionnels dans les contextes complexes ou incertains (Klein 1999, Lipshitz et al., 2001) font émerger des contradictions : la complexité et la multiplicité des règles, associées à la nécessité de prise de décision rapide, peuvent augmenter encore la charge d'informations et nuire à la capacité de discernement des décideurs, d'autant plus s'ils manquent d'expertise face à l'originalité des situations où des imprévus émergent, tant environnementaux (p.ex. naturels, matériels, logiciels) que humains.

1.1. Formations d'ingénieur et organisations hautement fiables

Cette activité de recherche, conduite depuis 2015 avec une population d'étudiants ingénieurs, vise ainsi à approfondir le concept de fiabilité et de résilience sous l'angle du leadership et du 'decisionship' où le rôle du décideur est particulièrement déterminant. Pour étudier le processus de prise de décision en situations complexes et incertaines dans un objectif de fiabilité accrue et de renforcement des capacités de discernement du décideur, une approche en deux phases est proposée. Elle est composée de séquences d'observation des comportements et actions d'équipes restreintes en formation initiale d'ingénieurs. Elle a été conduite au sein de deux écoles d'ingénieurs accréditées, à travers une famille de séquences sur simulateur et en situation réelle. Ce travail montre une certaine pertinence pour travailler sur la capacité de discernement du futur décideur confronté à des arbitrages face à des procédures qui se contredisent ou qui ne peuvent être appliquées. L'objectif est de montrer de quelle façon, à l'aide de deux modalités pédagogiques, un travail de recherche à cycle itératif peut faire l'objet

d'ateliers de théorisation et validation sur les capacités de gestion de situations dites complexes.

Comme point d'ancrage, cette recherche s'appuie sur les travaux théoriques du courant des organisations hautement fiables (identifié sous l'acronyme anglais HRO¹) et du courant actionniste, proches l'un de l'autre car ils appréhendent le concept de fiabilité non pas sous l'angle des échecs organisationnels mais plutôt sous l'angle d'une fiabilité accrue où le rôle du leader est prégnant. En effet, ces courants placent l'individu au cœur du processus de fiabilité ; leurs travaux consistent notamment en l'identification des sources de résilience par l'amélioration des comportements du leader et de son équipe et s'inscrivent dans le cadre d'études de situations de crise (Weick, 1993). En outre, pour renforcer les capacités de prise de décision en situations complexes et incertaines dans des contextes à forte prégnance des règles, le concept de métarègle étudié en environnement dynamique (Davis et al. 2009) est également mobilisé. Ainsi, faisant écho aux problématiques organisationnelles et humaines vécues au sein d'entreprises et activités à risques, ce travail de recherche est lié à un travail pédagogique qui porte sur la préparation d'étudiants à la gestion de situations complexes et inattendues, incluant des facteurs émergents, peu prévisibles, parfois chaotiques.

1.2. Articulation du chapitre

La prochaine section de ce chapitre rappelle les enjeux autour de la prise de décision en environnement Volatile, Incertain, Complexe et Ambigu (identifiés sous l'acronyme anglophone VUCA). Elle liste les exigences autour des capacités de décision pour l'accréditation des formations d'ingénieurs, interroge les limites du poids des règles en lien avec la prise de décision et positionne l'étude à la lumière des systèmes complexes. La section suivante aborde le cadre théorique mobilisé. Son état de l'art précise les différentes approches relatives au concept de fiabilité notamment avec une partition sur les courants qui abordent la fiabilité tout d'abord sous l'angle de l'échec organisationnel (cas de la théorie des accidents normaux, du courant de la gestion de crise, du courant de recherche sur le facteur humain) et ensuite sous l'angle d'une fiabilité accrue (courant actionniste, courant des organisations hautement fiables).

Une section spécifique présente ensuite la *Recherche Orientée Design* menée depuis 2015 pour inférer et renforcer les compétences transverses de prise de décision chez les élèves ingénieurs. Sont ainsi présentés les moyens expérimentaux mis en œuvre pour répondre à une question de recherche en lien avec les compétences transverses en prise de décision en situation complexe, ainsi que les méthodologies employées pour les observations et analyses associées. Pour chaque

¹ High Reliability Organization

4 Méthodes, interdisciplinarité et complexité

approche mobilisée, les premiers résultats sont présentés. Enfin, avant de conclure et dresser quelques perspectives, une section ouvre sur des discussions fondées sur des échanges qui se sont tenus lors de l'école thématique Rochebrune 2018 : « *Systèmes Complexes Artificiels & Naturels* ».

2. Enjeux

Les enjeux managériaux et théoriques de la fiabilité et des processus de prise de décision sont aujourd'hui étudiés dans des environnements marqués par des conditions de « Volatility, Uncertainty, Complexity, Ambiguity » et intitulés environnements VUCA (Bennett, Lemoine, 2014). En effet, du fait de la complexité croissante des technologies (Weick, 1995), les environnements professionnels et personnels marqués par des paramètres volatiles, incertains, complexes et ambigus, suscitent des questionnements auprès des établissements d'enseignement supérieur et notamment la façon dont ces établissements peuvent préparer leurs apprenants à un avenir imprévisible et incertain et in fine à la gestion de situations à caractères VUCA ?

La préparation d'équipes d'étudiants à la gestion de situations complexes et inattendues, soumise aux critères d'exigence du référentiel des compétences pour la formation des ingénieurs en France, a donné lieu à un travail de définition des objectifs de formation en prise de décision, formulés en terme de compétences, et mis en œuvre au sein de deux établissements d'enseignement supérieur :

- L'École navale qui forme les futurs officiers de Marine de carrière. Les officiers de Marine ont vocation à assurer des fonctions d'encadrement et de commandement au sein des unités opérationnelles (navires de combat, sous-marins, flottilles de l'aéronautique navale, commandos marine). Au cours de leur formation à l'École navale, ils développent les compétences qui les conduiront aux fonctions stratégiques et opérationnelles au sein de la Marine ;

- L'IMT Atlantique Bretagne-Pays de la Loire, grande école d'ingénieur généraliste qui conjugue le numérique et l'énergie dans ses formations, sa recherche et ses innovations. Issue de la fusion des établissements Télécom Bretagne et de Mines Nantes et relevant du ministère en charge de l'Industrie et du numérique, l'école propose un cursus avec une approche *compétence intégrée* et ainsi des parcours diversifiés en réponse aux besoins accrus des organisations confrontées aux mutations numériques, énergétiques et environnementales.

2.1. Exigences pour l'accréditation des formations d'ingénieurs, règles et normes

Les élèves diplômés de ces deux institutions, accréditées par la Commission des Titres d'Ingénieur (CTI), acquièrent le titre d'ingénieur français. Pour répondre aux nouvelles exigences d'accréditation et des branches professionnelles, en particulier

en termes de compétences et d'acquis d'apprentissage, les établissements d'enseignement supérieur doivent préparer leurs étudiants à adopter des pratiques de travail évolutives. En France, la CTI propose aujourd'hui 14 pôles d'acquis d'apprentissage (CTI, 2016). L'un de ces pôles porte sur (i) la maîtrise des méthodes et des outils de l'ingénieur (correspondant au pôle 4 c.-à-d. identification, modélisation et résolution de problèmes même non familiers et incomplètement définis,...), un autre pôle sur (ii) la capacité à s'insérer dans la vie professionnelle, à s'intégrer dans une organisation (pôle 11, c.-à-d. exercice de la responsabilité, esprit d'équipe, engagement et leadership, ...). Sous un autre angle, le réseau européen d'accréditation de l'enseignement de l'ingénierie établit 8 pôles de compétences (ENAAEE, 2017). L'un d'entre eux est spécifique au jugement et met en exergue la nécessité du processus d'apprentissage qui devrait permettre aux diplômés de niveau maîtrise de démontrer :

- « *La capacité d'intégrer les connaissances et de gérer la complexité, de formuler des jugements avec des informations incomplètes ou limitées, qui incluent une réflexion sur les responsabilités sociales et éthiques liées à l'application de leurs connaissances et de leur jugement ;*
- *La capacité à gérer des activités techniques ou professionnelles complexes ou des projets pouvant nécessiter de nouvelles approches stratégiques, en prenant la responsabilité de la prise de décision. »*

Dans le cas de l'Ecole navale, ces objectifs sont importants car les futurs officiers, décideurs de la Marine seront amenés à diriger des bâtiments liés à impératif de fiabilité (p.ex. porte-avions, sous-marins, avions), une irréversibilité de l'erreur dans la prise de décision et en même temps une forte prégnance des règles. Dans le cas de l'IMT Atlantique, ces objectifs sont également très sensibles en tant que compétences transverses requises pour ses futurs ingénieurs, très souvent amenés à devenir des cadres managers dans des organisations à fortes mutations et positionnements stratégiques, marquées par des réglementations et normes.

Avec la mondialisation, de multiples problématiques sont-elles encore compréhensibles selon une logique de rationalité chez le futur ingénieur ? Le développement de compétences sur la prise de décision instantanée et réflexive pose plusieurs questions conceptuelles et méthodologiques qui restent à résoudre dans la communauté de la formation d'ingénieurs. Si l'activité professionnelle doit être respectueuse des règles et des normes de l'organisation, les procédures sont-elles toujours applicables, quel que soit le contexte, par exemple dans une situation d'urgence ou de type VUCA ? Cela implique pour un acteur confronté à ce type de situation d'intégrer l'ensemble des procédures au préalable ; cela suppose également le développement du discernement et peut être l'exploration de nouvelles règles. Il convient aussi de s'interroger sur la façon de développer la capacité de discernement d'un futur décideur (cadre ou officier) et ainsi les former à la prise de décision dans des environnements VUCA au cours de leur formation. Comment les écoles

d'ingénieurs peuvent-elles aborder et surmonter ces défis afin de préparer les diplômés à leurs responsabilités futures et à leurs titres d'ingénieur ?

2.2. Classes de phénomènes VUCA et systèmes complexes

A ces enjeux sont donc associés des questionnements sur les acteurs eux-mêmes et leur capacité à gérer des situations VUCA, individuellement et collectivement notamment sur la capacité à décider en cas de dilemme sur les procédures à suivre et en tenant compte des résultats de leur décision sur le niveau de fiabilité du système qu'ils dirigent. Quels sont les résultats de cette approche en termes d'apprentissage sur le plan du processus de décision ? En d'autres termes comment caractériser la VUCAptitude d'un non-expert confronté à ce type de situation ?

Le contexte pédagogique de ce travail a permis de positionner un niveau de compétences d'un individu ou d'une équipe dans un environnement VUCA dont les variables Volatilité, Incertitude, Complexité, Ambiguïté peuvent avoir un niveau de magnitude différent (graduée de *Faible* à *Elevée*), et où la dimension interpersonnelle a été ajoutée comme variabilité dans les expériences pédagogiques (Rouvrais, Gaultier Le Bris, Stewart, 2018) comme représenté dans le tableau 1.

Table 1. Grille d'analyse de situations IVUCA

Composants de perturbation d'une situation					
Magnitude / variabilité	Inter-personnelle	Volatilité	Incertainité	Complexité	Ambiguïté
Faible	1 ou 2 individus	Peu de variation des facteurs	Paramètres identifiés et connus	Organisation simple des facteurs	Interprétation plausible (d'une règle ou d'un processus)
Moyenne	Equipe réduite	Prévisibilité du changement et des facteurs	Information incomplète et limitée, connaissances partielles	Plusieurs sources et composants, faible structure	Pas d'interprétation évidente
Elevée	Equipe multi-disciplinaire et multiculturelle	Forte imprévisibilité et dynamique des facteurs	Paramètres non identifiés, inconnus et non mesurables	Paramètres et facteurs innombrables, désorganisation de ces facteurs, aucune structure établie	Aucune interprétation possible, indécidabilité, énoncés indémontrables

Ce travail consiste à identifier pour un environnement donné, le niveau de maîtrise de l'environnement pour un acteur en situation et à observer l'évolution de ses compétences en faisant varier la magnitude des variables. Ainsi, par exemple,

pour un individu confronté à un niveau de volatilité faible de l'environnement, d'incertitude faible, d'ambiguïté faible et de complexité faible, quel est son niveau de maîtrise de la situation sur une échelle graduée ? (de très bonne à très faible maîtrise). Si la graduation de certaines des composantes de perturbation augmente d'un niveau faible à moyen puis élevé, quelles sont les conséquences en terme d'apprentissage (p.ex. paliers et seuils cognitifs, procéduraux et comportementaux) ?

Dans l'analyse proposée, la définition de la complexité retenue prend notamment en compte un grand nombre d'éléments interdépendants. La science des systèmes complexes ouvre des questionnements complémentaires : quelle est la nature d'une situation complexe ? Le nombre de cas possibles ? Qu'en est-il des propriétés émergentes ? Selon Thomas-Vaslin (2017) « *la science des systèmes complexes prend davantage en compte la contingence, l'absence de causalité linéaire mais l'occurrence de hasard et la co-émergence dynamique de systèmes non linéaires dans des environnements clos, variables et saturés d'interactions qui génèrent des réseaux avec des comportements chaotiques, des variations des conditions initiales et donc imprédictibles. Bien que l'on cherche à intégrer un ensemble interactif à travers l'espace et le temps et comprendre l'évolution de ces systèmes de façon globale, on reste avec des connaissances partielles, des connaissances agrégées, des paramètres innombrables, inconnus et non mesurables, une indécidabilité et des énoncés indémonstrables. On ne peut donc pas nécessairement démontrer, calculer, reproduire, ni faire de prévisions. La science des systèmes complexes cherche à comprendre les propriétés, caractéristiques globales et évolution des systèmes, les interactions et organisations qui se font ou défont au cours du temps, en prenant en compte l'historicité des systèmes et de leur restriction en fonction des contraintes, des perturbations et de sélections qui s'opèrent* ».

Par conséquent, l'étude de la prise de décision dans la gestion de situations VUCA doit tendre vers une prise en compte des paramètres retenus en science des systèmes complexes ; si de nombreux biais demeurent (évoqués en fin de section), l'objectif constitue néanmoins de se rapprocher des caractéristiques des systèmes complexes qui s'appuient sur :

- « *des connaissances partielles* » : dans notre approche, les acteurs ne peuvent effectivement pas intégrer la complétude des informations en un temps restreint (correspondant à la classe de phénomène retenue) et la volatilité de l'environnement, ils font face à une saturation cognitive et à des ambiguïtés ; les acteurs non-experts peuvent s'appuyer sur un répertoire de réponses disponibles construit en situation mais ce répertoire est plus réduit pour un public de non-experts ;
- « *l'occurrence de hasard, des variables saturées d'interactions, des variations des conditions initiales, des paramètres innombrables, inconnus et non mesurables* » : ce travail porte principalement sur le caractère inconnu, incertain et complexe des événements à traiter, il prend en compte une part de hasard, avec une imprévisibilité des événements à traiter.

8 Méthodes, interdisciplinarité et complexité

En outre, les conditions et situations pédagogiques mises en place créent de potentielles propriétés émergentes, caractéristiques des systèmes complexes, dans la mesure où l'existence de règles à suivre, leur caractère parfois contradictoire, ou impossible à exécuter en un temps très court, crée des actions improvisées ou spontanées par les acteurs, élèves ingénieurs non encore aguerris au processus. Quand le cadre initialement prévu (des règles à suivre pour chaque type de situation) ne convient pas, il fait émerger, par des cas non conformes, des propriétés de situations nouvelles, capitalisables en tant que nouvelles bonnes pratiques ou d'innovations créatives voire de potentielles futures règles.

3. Cadre théorique de la fiabilité organisationnelle

La recherche de modes de réponses fiables ouvre le champ du concept de fiabilité organisationnelle étudié en sciences de gestion (Bierly and Spender, 1995 ; Schulman, 1996 ; Weick, 1993 ; Weick, Sutcliffe et Obstfeld, 1999). Il soulève des questionnements dans les environnements actuels qui relèvent notamment de la place des individus dans le processus de fiabilité. Parmi les courants de recherche traitant de ce concept, une partie l'étudie du point de vue de l'échec organisationnel (théorie des accidents normaux ou de gestion de crise). Les théoriciens des accidents normaux (Perrow, 1994) attirent en effet l'attention sur les caractéristiques spécifiques des organisations à haut risque marquée par un niveau de complexité élevée, de faibles marges de manœuvre et une interdépendance des activités. Perrow (1994) souligne que le potentiel de défaillance des organisations exploitant des technologies à haut risque s'explique par la complexité inhérente de leur environnement technologique. La complexité accrue des systèmes réduit la capacité des individus à comprendre, prévoir ou prévenir les échecs potentiels. Elle soulève des interrogations quant au rôle que les individus peuvent jouer dans le processus de fiabilité. Aussi, pour ces différents courants de recherche, l'individu est plutôt identifié comme une source d'erreur que de fiabilité y compris par le courant de recherche traitant du facteur humain (Rasmussen, Leplat, de Terssac, 1989 ; Reason 1990).

3.1. *Courant des organisations hautement fiables et actionnistes*

Différemment, le courant des organisations hautement fiables (HRO) raisonne sur les facteurs de fiabilité en temps normal dans la mesure où les catastrophes se produisent rarement. Elle montre qu'il existe certains facteurs qui contribuent au maintien de cette fiabilité qui peuvent non seulement l'accroître mais la rendre possible. Elle tente de prouver, premièrement que les facteurs de fiabilité identifiés sont la cause de l'absence d'accidents et deuxièmement, elle cherche à lier les facteurs observables à l'absence de phénomène. Roberts (1990) souligne que ces

organisations où le niveau de risques est très élevé sont celles qui subissent le moins de catastrophes. L'absence d'erreur fatale malgré un niveau de risque très élevé conduit les HRO à avoir une *«performance anormalement continue»*.

Proche du courant HRO, le courant actionniste aborde aussi le concept de fiabilité dans une perspective de fiabilité accrue. Ces deux courants accordent une place aux comportements humains dans le processus de fiabilité. Pour le courant actionniste, les interactions entre les individus peuvent être la source d'une meilleure fiabilité. Aussi, en étudiant les caractéristiques des organisations marquées par un haut niveau de fiabilité, Roberts (1990) fait ressortir quatre caractéristiques *“These organizations are typically technologically complex, their technologies are highly interdependent, they have high damage potential, and errors happen relatively rarely”*. En complétant le travail de Roberts (1990), Weick (1993) analyse le comportement des acteurs confrontés à des contextes à la fois :

- de surcharge d'informations ; Weick (1995) définit la surcharge d'informations comme une accumulation de procédures écrites, réécrites, réactualisées et réajustées au fur et à mesure du développement des opérations ;
- de turbulence constante : constituée de situations exceptionnelles, accidentelles, non anticipées. Roux-Dufort (2000) souligne ainsi en citant Weick (1995) que *« la fiabilité n'est ni plus ni moins que la capacité à gérer les fluctuations, les incidents, les situations inattendues produites par les systèmes technologiques que l'on exploite. Les organisations de haute fiabilité ne sont pas des organisations de la constance mais des organisations de l'inattendu »*. Il en découle un comportement différent des acteurs dans les organisations hautement fiables qui vont activer leur intuition et *« définir les situations de façon beaucoup plus heuristique que ne le feraient les procédures organisationnelles qui sont souvent inadaptées au traitement immédiat de la situation »* (Weick, 1995) ;
- et enfin de complexité croissante : la troisième caractéristique décrite par Weick (1995) concerne la complexité croissante des contextes. Cette complexité croissante des technologies offre aussi l'occasion de construire du sens.

3.2. Modèles retenus

L'attention est portée sur ces deux derniers courants, proches l'un de l'autre mais affichant néanmoins une divergence sur le respect des règles comme source de fiabilité. Cette divergence donne ainsi l'opportunité de faire appel à des travaux sur la stratégie des règles en environnement complexe et d'apprécier le rôle des métarègles dans la classe de phénomène étudiée (complexité, urgence, incertitude). Ce travail consiste donc à (i) caractériser les modes d'observation et action qui favorisent la fiabilité organisationnelle et à (ii) intégrer l'approche par les métarègles

dans le processus de décision. Les métarègles constituent des règles de niveau N+1 qui s'appuient, pour faire face à la complexité, sur une représentation abstraite du système à piloter. L'avantage de la mobilisation des métarègles est de préserver l'intégrité du système piloté. Elles consistent à permettre - pour un public de non-experts (des apprenants) - en cas de saturation cognitive, de se référer à un cadre intégrateur de procédures plus large et ainsi de changer de registre de règles à suivre (moins détaillées) et de fixer un niveau de priorités des actions à entreprendre. Cette lucidité peut avoir un effet positif sur le niveau de fiabilité visé et répondre à des contraintes de temps. Aussi, la confrontation de ce concept de métarègles avec une classe de phénomènes spécifiques marquée par un haut niveau de complexité, une contrainte de temps et une exigence de fiabilité (incluant une notion d'irréversibilité de l'erreur dans la prise de décision dans une organisation marquée par une prégnance des règles) peut aider à la compréhension du traitement de la complexité pour un non-expert encadrant une équipe restreinte.

4. Compétences transverses de prise de décision : une recherche orientée design

Mais pour faire face à des situations complexes et multifactorielles, une adaptation de la formation d'ingénieur est nécessaire (Kamp, 2016), comment cette prise en compte de l'incertitude peut-elle être traitée dans la formation ? Sont présentés ici les moyens expérimentaux mis en œuvre pour répondre à une question de recherche en lien avec les compétences transverses en prise de décision en situation complexe, ainsi que les méthodologies employées pour les analyses associées. Parmi les publics en formation qui ont suivi des formations au leadership et à la prise de décision, ont été analysés des groupes de deux écoles d'ingénieurs de (i) l'Ecole navale et de (ii) l'IMT Atlantique.

4.1. Méthode de recherche au service de l'apprentissage

Afin de développer des compétences auprès d'un public de non-experts (les étudiants ou futurs officiers de ces deux écoles d'ingénieurs) dans des contextes VUCA, ce travail propose l'application d'une Recherche Design en Education (i.e. *Design Based Research*, DBR) permettant d'analyser, de concevoir, d'évaluer et d'affiner de façon itérative les séquences du processus mis en œuvre à partir des variables d'observation portant sur les comportements collectifs des équipes d'étudiants, face à des perturbations dans des situations complexes et inattendues. Dans ce contexte, le choix pour initier la méthode s'est porté sur un questionnement initial, celui du cadre théorique. Comme évoqué, les travaux portant sur le concept de fiabilité et notamment ceux qui abordent l'individu comme une source de fiabilité constituent un premier cadre d'analyse adapté à notre classe d'études. La Recherche Design en Education permet d'améliorer continuellement les pratiques et offres de formation. Sous la supervision de chercheurs et praticiens, elle aide à transformer l'apprentissage pour en faire une communauté d'analyse et d'amélioration. Elle

inclut des interactions régulières entre chercheurs, enseignants, praticiens (*domain-experts*) et apprenants où les apprenants deviennent acteurs et responsables de leurs apprentissages (apprentissage collaboratif, pas d'isolement de l'apprenant).

La méthode DBR est liée à l'*Experimental research method* (Collins et al. 2004) avec des situations d'apprentissage réelles (Anderson & Shattuck, 2012), plus complexes que des environnements simulés ou reproduits dans un cadre trop académique. En ce sens, elle se lie avec le courant de J. Dewey, plutôt pragmatique (*experiential learning*). La méthode DBR est aussi liée à l'*Action Research method*, toutefois (Järvinen, 2007). La DBR fournit des concepts, méthodes, processus, et des outils. Ses résultats de phases peuvent être transférables à d'autres contextes ; les praticiens et apprenants (*reflective practitioners*) sont impliqués dans les cycles, des méthodes d'évaluation mixtes et variées sont ainsi mobilisables.

Le processus de recherche, formalisé, reste toutefois flexible et itératif, il est de type ingénierie avec des méthodes agiles impliquant la maîtrise d'ouvrage orientée vers les utilisateurs. Ce processus se structure itérativement comme suit : (i) L'identification d'un problème/besoin concret en formation, (ii) L'analyse portant sur l'identification des sources du problème, la formulation des variables et des environnements d'apprentissage, (iii) Le design et le développement d'une offre de formation (par les chercheurs, praticiens et apprenants) à l'aide d'un ancrage théorique (dans cette étude, la cadre théorique des HRO) avec des méthodes, des processus et outils, (iv) La mise en œuvre, (v) L'évaluation des interventions avec les apprenants en situation de manière collaborative & participative, (vi) L'évaluation qualitative et quantitative (prenant en compte les effets des variables, les dissimilarités entre la théorie et la pratique), de nouvelles compréhensions (avec l'émergence de concepts, d'artefacts, de propriétés), la définition de principes ou de règles de design, (vii) La révision des concepts et des méthodes en fonction des succès et les limites de la pratique évaluée avec de nouvelles hypothèses pour les modèles, un nouvel ensemble de variables opératoires, (viii) La réitération.

Par sa flexibilité et ses itérations, la *Design Based Research* (DBR) permet d'apporter des solutions à des problèmes concrets et évolutifs par la pratique du terrain de l'apprentissage. Elle permet également d'identifier (et de formaliser) des conditions qui mènent à des effets différents (en manipulant des variables). Chaque itération apporte un nouveau contenu à (re)évaluer par maturation graduelle.

L'apport est double, il consiste en :

- une amélioration de l'offre de formation avec une capitalisation de règles-design explicitant la conception d'activités et de contenus avec de nouveaux concepts (p.ex. les acquis de l'apprentissage, des compétences transverses, la caractérisation de l'environnement VUCA), de nouvelles

- méthodes (p.ex. la création de situation, leur évaluation), de nouveaux outils (p.ex. des grilles d'évaluation observables) ;
- un potentiel de contribution théorique quand les principes et règles inférés permettent une généralisation contextuelle : de nouveaux principes, une révision d'approche théorique ou de modèle (ex : HRO).

4.2. Du modèle au réel

La volonté d'identifier des modes de réponses fiables face à des environnements VUCA nous conduit à travailler à partir de situations à caractère complexe et incertain et à identifier le niveau de fiabilité des décisions prises. Ainsi, la *Design Based Research* est appliquée à deux terrains d'étude - (i) le groupe d'étudiants de l'Ecole navale et de (ii) l'IMT Atlantique. Le premier terrain d'étude correspond à celui de l'Ecole navale. Des exercices de situations nautiques sont déployés sur le simulateur de navigation de l'Ecole Navale auprès d'un public en formation initiale (équipe de quart passerelle). Aussi, pour identifier les stratégies individuelles et collectives favorisant la fiabilité organisationnelle, des scénarios sont élaborés afin de proposer, sur ce moyen expérimental, des situations à haut niveau de complexité, avec contrainte de temps. La crédibilité des scénarios est recherchée à partir de l'étude de situations réelles (par approche qualitative, puis quantitative grâce à une collecte de données sur le retour d'expérience des bâtiments de surface de la Marine Nationale). L'approche sur simulateur présente des avantages : l'expérimentation par simulation est adaptée en sciences de gestion (Harrison et al., 2007) mais elle est encore peu exploitée (Cartier et Forgues, 2006). De plus, elle permet selon Davis et al. (2007) « de rendre explicite les relations non linéaires entre des phénomènes interdépendants », et d'être un outil utile qui peut s'articuler avec d'autres méthodes de recherche, plus traditionnelles (Dubey, 2001). Elle possède néanmoins des biais (Weick, 1987) : équipe constituée, non conforme à la réalité, généralisation de la validité des résultats (Leplat, 1997), une posture réductionniste (Dubey, 2001) que nous avons tenté de réduire par une approche en situation réelle.

Un second terrain d'étude est ensuite analysé avec (ii) des groupes d'étudiants ingénieurs généralistes de IMT Atlantique toujours selon le principe de *Design Based Research*, (DBR); des exercices nautiques sont organisés en situation réelle. Grâce à des scénarios de formation de type "homme à la mer" conduit en environnement nautique réel (Rouvrais et Le Bris, 2018), pour des étudiants majoritairement novices de cet environnement, les comportements et capacités de prise de décision ont commencé à être analysés quantitativement en 2017. Pour observer l'effet de l'utilisation des métarègles sur la fiabilité et la capacité d'un apprenant à gérer la complexité et maintenir une capacité de discernement en situation complexe, le niveau de complexité des situations est modifié, continué et itérativement sur plusieurs séquences. L'observation de ces comportements d'équipe porte sur le niveau de fiabilité (variable 1) de l'exercice, identifié à partir

d'une échelle de mesure construite avec des experts, sur le niveau de complexité de la situation (variable 2), sur le respect des règles (variable 3) compte tenu de la situation et sur la mobilisation des métarègles (variable 4). Ces variables sont mesurées à partir d'échelle d'Osgood et de Likert à 5 points. La thématique est celle d'une situation nautique du type « Homme à la mer ».

Ainsi, en phase 1, la première situation nautique réelle proposée aux étudiants est nommée Situation Simple, l'observation porte sur l'application de règles avec un faible niveau de complexité. La deuxième situation nautique réelle est nommée Situation Complexe (même situation mais avec un plus haut niveau de complexité). Après chaque situation « Situation Simple » et « Situation Complexe » où l'étudiant est en situation de décider, le niveau de fiabilité est mesuré. Après la phase 1 comprenant les deux séquences de situations consécutives (Simple et Complexe), nous échangeons avec les étudiants sur la possibilité d'adopter des métarègles génériques, capitalisées par les apprenants via des débriefings réflexifs (Rouvrais, 2013) ; puis nous procédons à une phase 2 en soumettant aux étudiants de nouveau une Situation Simple puis une Situation Complexe. Les différentes séquences nous fournissent de premiers indicateurs pour analyser les niveaux de fiabilité des équipes suivant le niveau de complexité auquel ils ont été confrontés, l'observation porte sur l'utilisation des règles mobilisées (phases 1 et 2) et la mobilisation de méta règles (phase 2). Ils renseignent sur les capacités de discernement et de décision des étudiants.

4.3. Du réel au modèle

L'objectif de cette approche (d'ordre pédagogique) est de positionner un niveau de compétences d'un individu ou d'une équipe dans un environnement VUCA dont les variables Volatilité, Incertitude, Complexité, Ambiguïté peuvent avoir un niveau de magnitude différent (graduée de Faible à Elevée). Ce travail consiste à identifier pour un environnement donné le niveau de maîtrise de l'environnement pour un acteur en situation et à observer ses évolutions de compétences en faisant varier la magnitude des variables permettant d'identifier une *VUCAptitude* et de la développer.

La DBR mobilisée consiste à appliquer un processus d'analyse-design-évaluation-révision, de manière itérative de type ingénierie, sur un public d'apprenants. Dans le contexte d'un projet Européen avec plusieurs universités et écoles du supérieur, elle permettra à terme la création d'une théorie spécifique et dédiée plutôt que le test d'une théorie existante. L'application de cette méthodologie permettra de caractériser, plus généralement pour l'apprentissage de compétences transverses, les stratégies individuelles et collectives liées à la prise de décision en situation complexe, favorisant la fiabilité, dans des environnements pédagogiques intégrant les dimensions IVUCA.

4.4. Acquis de l'apprentissage

Les résultats de l'approche par les métarègles sur simulateur (i, groupe de l'Ecole navale) montrent qu'elles sont pertinentes pour améliorer le niveau de fiabilité dans un contexte d'incertitude, d'urgence et de complexité (Gaultier Le Bris, 2014). Les résultats de l'approche par les métarègles en situation réelle avec des non-experts (ii, groupe de IMT Atlantique) montrent qu'elles sont pertinentes dans la construction de sens notamment dans le cadre d'apprentissages collectifs ; elles permettent de capitaliser sur des bonnes pratiques transférables, dans un contexte inconnu, peu prédictible, avec de l'information limitée et désorganisée (Rouvrais et Gaultier Le Bris, 2018). Ce travail permet l'élaboration d'un référentiel de capacités « prise de décision » inféré est formalisé comme suit :

- D1. Reconnaître et qualifier une situation (p.ex. la capacité à observer, identifier la criticité des situations, les comprendre, enlever les « bruits » pour se synchroniser avec la situation, relever les signaux forts et faibles) ;
- D2. Analyser une situation et formuler un jugement (p.ex. penser globalement, définir des priorités et des points de focalisation, analyser les points d'incertitude, faire preuve d'esprit critique, identifier les facteurs de risques notamment ceux de la situation, identifier les clés du succès) ;
- D3. Faire face à la complexité (p.ex. gérer les priorités et identifier les points de focalisation, évaluer, rechercher des solutions optimales) ;
- D4. Réagir et décider dans l'action (p.ex. avoir le sens de l'initiative et prendre des décisions en contexte incertain, interagir et se synchroniser avec les parties prenantes de la situation, oser avec courage, organiser le travail en équipe, savoir diriger une équipe, gérer les conflits) ;
- D5. Prendre ses responsabilités dans la prise de décision et apprendre de ses expériences (p.ex. avoir le sens de l'urgence, faire preuve d'adaptabilité et de flexibilité, être un praticien réflexif, apprendre de ses erreurs).

5. Limites et discussions

L'objectif de cette approche méthodologique est d'étudier de quelles façons un travail de recherche sur moyen expérimental (i, sur le simulateur de navigation de l'Ecole navale) puis en situation réelle (ii, les activités pédagogiques expérientielles) peut faire l'objet de développement de compétences transverses sur la gestion de situations complexes. Elle constitue également l'occasion d'interroger l'étude du traitement de la complexité, dans un registre VUCA et de confronter la représentation du concept de complexité de manière interdisciplinaire. Elle permet ainsi de réviser des principes et méthodes et d'améliorer de manière collaborative les pratiques de recherche et de formation dans ce domaine.

Si le travail sur les situations à risques ou de crise suppose une préparation à la gestion de cas non conformes (de type « what if » et « no go » pour les équipes de

quart passerelle) pour construire un répertoire aussi large que possible de réponses, les imprévus demeurent, les connaissances sont souvent incomplètes ; ils rendent nécessaire le développement d'une capacité à gérer les situations en environnement VUCA, en faisant face à l'indécidabilité. La prise en considération de la VUCAptitude des élèves ingénieurs conduit aussi à s'interroger sur les compétences nécessaires qui sont à développer auprès des acteurs ou futurs acteurs évoluant dans les organisations où la fiabilité est requise. L'étude appliquée dans un premier temps à des futurs officiers de la Marine nationale offre un cadre d'analyse particulièrement intéressant car les sous-marins, le porte-avions qu'ils seront amenés à piloter correspond aux caractéristiques des organisations hautement fiables. En outre, la confrontation avec un public de futurs décideurs issus d'une grande école d'ingénieurs (IMT Atlantique) offre un autre terrain adapté car ces publics sont aussi susceptibles d'être confrontés en tant que managers à des contextes incertains. Les résultats sont potentiellement transférables à d'autres compétences transverses, et d'autres disciplines (p.ex. de nature HRO - médical, nucléaire, ou marqués par une prégnance des règles - le juridique) et avec d'autres publics notamment d'experts.

Ce travail contient des biais qui portent sur le respect des conditions des systèmes complexes, l'approche par simulateur, la mesure des variables. Néanmoins, il ouvre des perspectives ; une discussion ouverte lors du séminaire *Rochebrune 2018* a permis d'analyser comment une autre méthode disciplinaire peut informer les questions de recherche abordées, et comment les transposer ou les associer avec les approches abordées jusqu'à présent.

5.1. Comment les connaissances d'une discipline peuvent-elles être transposées à d'autres disciplines ? Le cas du cadre juridique.

Le champ d'étude présenté dans ce chapitre peut trouver des éléments transférables dans d'autres champs notamment le domaine juridique. En France, la Constitution du 4 octobre 1958, en vigueur en 2018, subit des mises à jour (juillet 2008) ; porteuse de 16 titres et plus de 89 articles, les problèmes de cohérence et la quantité de règles afférentes sont relevés dans les rapports d'activités du Conseil Constitutionnel et peuvent avoir des effets sur la complexité du système juridique. Aujourd'hui, dans la Constitution Française, un citoyen peut difficilement et raisonnablement avoir la capacité d'intégrer l'ensemble de ces règles imbriquées les unes aux autres, sans être préalablement formé ou être expert de l'objet d'étude.

Outre la quantité de règles à suivre, le nombre d'interactions entre les règles contribue à la complexité du système. Une règle peut déclencher une autre règle avec des effets additionnels. Une accumulation de cas vécus crée une - voire plusieurs - nouvelles règles générales (cas de jurisprudences) sans évoquer les cas qui ne se sont pas encore présentés ...

5.2. Comment une méthode d'une discipline particulière peut-elle informer un autre champ disciplinaire ? De la validité des règles ...

Des pistes pourraient être explorées : comment vérifier qu'aucune règle ne vienne contredire une autre règle ou un ensemble de règles (p.ex. décidabilité) ? Y a-t-il une piste pour réduire l'ambiguïté des règles ou affronter l'indécidabilité des systèmes d'inférence ? Un mode d'apprentissage social pour les acteurs peut être envisagé afin que le système de règles se modifie de manière raisonnée par retour d'expérience, y compris sur la base des expériences créatives de non-experts (avec des règles co-construites par les acteurs qui les appliquent, confrontés aux problèmes et situations). Mais au-delà de la problématique des règles, le modèle cognitif est aussi un enjeu, il doit donc être intégré dans l'appréciation des décisions en environnement VUCA avec une prise en compte de paramètres interpersonnels.

6. Conclusion et perspectives

La science des systèmes complexes cherche à comprendre les propriétés, caractéristiques globales et évolution des systèmes, les interactions et organisations qui se font ou défont au cours du temps (Thomas-Vaslin, 2017). Si les environnements professionnels sont de plus en plus VUCA, alors les ingénieurs doivent être capables de gérer des situations complexes en faisant preuve de discernement, en prenant des décisions à partir d'informations incomplètes ou limitées, de paramètres innombrables, inconnus et non mesurables. Les ingénieurs doivent aussi être capables d'assumer la responsabilité de leurs décisions. Ce chapitre a proposé un traitement de la complexité de systèmes décisionnels humains sous contraintes VUCA, en formation. La méthode Design Based Research utilisée est évolutive et interdisciplinaire, elle permet ici de lier pratique et théorie en formation, d'améliorer les pratiques, de manière itérative, sur de longues échelles de temps, avec et pour les parties prenantes. L'apprentissage proposé est social et expérientiel pour faire évoluer et modifier des règles co-construites et transférables à d'autres domaines que ceux de la Marine ou de l'ingénierie.

Ainsi, pour un public de non-experts, les résultats de l'approche par les métarègles sur simulateur montrent qu'elles sont pertinentes pour améliorer le niveau de fiabilité dans un contexte d'incertitude, d'urgence et de complexité (Gaultier Le Bris, 2014). Les résultats de l'approche par les métarègles en situation réelle avec des non-experts montrent qu'elles sont aussi pertinentes dans la construction de sens notamment dans le cadre d'apprentissages collectifs ; elles permettent de capitaliser sur des bonnes pratiques transférables, dans un contexte inconnu, peu prédictible, avec de l'information limitée et désorganisée (Rouvrais et Gaultier Le Bris, 2018).

Comme perspectives, à la lumière des théories et modèles de la science des systèmes complexes, dans le domaine socioéconomique, pour mieux comprendre, d'une part, de façon globale la dynamique et l'évolution des systèmes décisionnels humains sous contraintes, le concept et la théorie de la percolation est peut-être à investiguer pour éclairer les effets d'actions locales (Pajot, 2001) en confrontant l'individuel au collectif avec une hétérogénéité des comportements.

D'autre part, toujours à la lumière des théories et modèles de la science des systèmes complexes, la dynamique de production de règles et métarègles dans le contexte de cette étude est à approfondir. Par exemple, l'évolution des systèmes peut être envisagée à travers une analogie des acteurs avec les antigènes des systèmes immunitaires (Thomas-Vaslin, 2015), systèmes où des interactions génèrent des réseaux, à comportements chaotiques et imprédictibles, avec parfois des effets de sérendipité et de résilience.

Remerciements

Ces travaux sont développés avec le support du programme Erasmus+ de l'union Européenne (projet DAhoy, DecisionShip Ahoy, numéro 2017-1-FR01-KA203-037301, www.dahoyproject.eu). Cette communication ne reflète que le point de vue de ses auteurs. La Commission n'est pas responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations contenues dans celle-ci.

Les auteurs de ce chapitre remercient chaleureusement les chercheurs rencontrés lors de l'école thématique Rochebrune 2018 : « Systèmes Complexes Artificiels & Naturels », <http://rochebrune2018.science/> et particulièrement, Danièle Bourcier, Véronique Thomas-Vaslin, Paul Bourguine, Roger Cozien, Roger Waldeck et Gérard Weisbuch pour leurs précieux éclairages sur les systèmes complexes, méthodes et problématiques associées.

Références

- Anderson, T., & Shattuck, J.(2012). "Design-based research: A decade of progress in education research?" *Educational Researcher*, Vol. 41(16), pp. 16-25.
- Bennett, N. and Lemoine, J. (2014), « What VUCA Really Means for You », *Harvard Business Review*, Vol. 92, No. 1/2.
- Bierly P.E. et Spender J.C. (1995), "Culture and High Reliability Organizations: the case of a nuclear submarine", *Journal of management*, Vol.21, pp.639-656.
- Brown, S. L., & Eisenhardt K. M. (1997). "The art of continuous change: Linking complexity theory and time-paced evolution in relentlessly shifting organizations", *Administrative Science Quarterly*, Vol. 42, pp. 1-34.

- Campbell, D. T., Stanley, J. C., and Gage, N. L. (1966). *Experimental and quasi-experimental designs for research*. Boston: Houghton Mifflin.
- Cartier M., Forgues B. (2006), "Intérêt de la simulation pour les sciences de gestion", *Revue française de gestion*, N° 165, pp.125-137.
- Class B. et Schneider D. (2013). La Recherche Design en Education : vers une nouvelle approche ? Frantice.net, numéro 7, Septembre 2013.
- Crawley, E. F., Malmqvist, J., Lucas, W. A., and Brodeur, D. R. (2011). The CDIO Syllabus v2.0: An updated statement of goals for engineering education. In *Proceedings of 7th International CDIO Conference, Copenhagen, Denmark*.
- CTI 2016. Commission des Titres d'Ingénieur. Références et orientations, LIVRE 1. Références et critères majeurs d'accréditation. <http://www.cti-commission.fr/references-orientations-version-2016>
- Collins N. (2004), « Working Models of Attachment Shape Perceptions of Social Support: Evidence From Experimental and Observational Studies », *Journal of Personality and Social Psychology* Vol. 87, No. 3, 363–383.
- Davis R. (1980). "Meta-rules: Reasoning about control". *Artificial Intelligence*, N°15, pp. 179-222.
- Davis, J. P., Eisenhardt, K. M., & Bingham, C. B. (2009), "Optimal Structure, Market Dynamism, and the Strategy of Simple Rules". *Administrative Science Quarterly*, 54(3), 413-452.
- Davis J.P., Eisenhardt K.M. et Bingham C.B., (2007), Developing theory through simulation methods, *Academy of Management Review* , N°32 (2), pp. 480-499.
- Dubey G. (2001), "La simulation à l'épreuve du lien social" *Le travail humain*, Vol. 64, pp.3-28 ENAEE (2017).
- The EUR-ACE Framework Standards and Guidelines (EAFSG). The European Network for Accreditation of Engineering Education. <http://www.enaee.eu/accredited-engineering-courses-html/engineering-schools/accredited-engineering-programs/>, accessed 14 January 2018
- ENAEE (2017), The EUR-ACE Framework Standards and Guidelines (EAFSG). The European Network for Accreditation of Engineering Education.
- Gaultier Le Bris, S. (2014). "Improvisation vs (meta)règles : effets sur la fiabilité d'une organisation hautement fiable : le cas d'une équipe passerelle dans la Marine nationale" (In French). PhD Thesis. University of Rennes.

- Gaultier Le Bris, S., Rouvrais, S., Vikingur Fridgeirsson, T., Tudela Villalonga, L., and Waldeck, R. (2017). Decision Making Skills in Engineering Education. Proceedings of the 45th SEFI 2017 Conference "Education Excellence For Sustainable Development", Terceira Island, Azores, Portugal.18-21 September 2017.
- Harrison, J.R., Z. Lin, G.R. Carroll et K.M. Carley (2007), "Simulation modelling in organizational and management research", *Academy of Management Review*, Vol. 32, N°4, pp. 1229-1245.
- Järvinen P. (2005), Action research as an approach in design science, Presented in THE EURAM (European Academy of Management) Conference, Munich, May 4-7, 2005.
- Journé, B. (1999). Les organisations complexes à risques : gérer la sûreté par les ressources. Études de situations de conduite de centrales nucléaires. In French. Thèse de Doctorat, École Polytechnique.
- Journé, B., & Raulet-Croset, N. (2008). "Le concept de situation : contribution à l'analyse de l'activité managériale dans un contexte d'ambiguïté et d'incertitude", *M@n@gement*, 11(1), 27-55.
- Kamp A. (2016). *Engineering Education in a Rapidly Changing World*, 2nd edition, 4.TU Center for Engineering Education, Delft.
- Klein, G. (1999). *Sources of Power: How People Make Decisions*. Boston: The MIT Press.
- Le Boterf, G. (2006). *Ingénierie et évaluation des compétences*. In French. Organisation Editions, 5th edition, 605 pages.
- Leplat J., (1997), *Regards sur l'activité en situation de travail*, Contribution à la psychologie ergonomique. Paris: PUF.
- Lestonat E. (2014), VUCA: former les managers à l'incertitude. Thot Cursus. <http://cursus.edu/article/22176/vuca-former-les-managers-incertitude/#.WcE8vNFpw2x>
- Lipshitz, R., Klein, G., Orasanu, J., and Salas, E. (2001). "Focus Article: Taking Stock of Naturalistic Decision Making." *Journal of Behavioral Decision Making*, 14(5), 331-352.
- Martin D. (2010). "Rationalité limitée et capacité à structurer l'action : principaux enjeux et défis associés à 3 classes de phénomènes". In *La rationalité managériale en recherches. Mélanges en l'honneur de Jacques Rojot, Bournois F, Chanut V.* (Coordinateurs) (Ed.) pp. 125-135.
- Mendoça, D., Webb, G., and Butts, C. (2010). "L'Improvisation dans les Interventions d'Urgence : les relations entre cognitions, comportements et interactions sociales." *Tracés, Revue de Sciences humaines*, N°18, pp.69-86.

- Pajot, S. (2001). Percolation et économie. Thèse de Doctorat de l'Université de Nantes.
- Perrow, C. (1994). "The limits of safety: the enhancement of a theory of accident", *Journal of contingencies and crisis management*, Vol.2, pp. 212-220.
- Reason, J.T. (1990). *Human Error*. Cambridge University Press, Cambridge
- Rasmussen J., (1989), Learning from Experience. In LEPLAT J et TERSSAC de G., *Les facteurs humains de la fiabilité dans les systèmes complexes*, Toulouse : Octare Editions, pp. 359-381.
- Roberts, K. H., Stout, S. K., and Halpern, J. J. (1994). "Decision Dynamics in Two High Reliability Military Organizations". *Management Science*, 40(5), 614-624.
- Roberts K. H., (1990), "Managing High Reliability Organization," *California Management Review*, Vol.32, Pp .101-113.
- Rouvrais, S., (2013), Développer la pratique réflexive des étudiants par l'autoévaluation : d'une logique de formation diplômante à une logique d'apprentissage responsable et durable, retour sur trois expériences dans une formation d'ingénieur. In French. "L'évaluation des acquis en formation d'ingénieur : témoignages". Réseau CEFI-Ecoles, 13 février 2013, Chimie ParisTech, France.
- Rouvrais, S., and Gaultier Le Bris, S. (2018). "Breadth Experiential Courses to Flexibly Meet New Programme Outcomes for Engineers". In Book: "Engineering Education for a Smart Society", Springer, International Association of Online Engineering, M.E. Auer & Kwang-Sun Sim (Eds), *Advances in Intelligent Systems and Computing Series*, 627(1), January 2018, pp 326-342.
- Rouvrais, S., Gaultier Le Bris, S., and Stewart M. (2018). "Engineering Students Ready for a VUCA World? A Design based Research on Decisionship", In Proceedings of the 14th International CDIO Conference, KIT, Kanazawa, Japan, June-July, 2018.
- Roux-Dufort C., (2000), "Le Regard De Karl Weick Sur La Fiabilité Organisationnelle : Implications Pour La Gestion De Crise", Vol. 6, CNRS, *Laboratoires De Recherche Économiques Et Sociales*, 28 p.
- Suchman L., (1993), "Response to Vera and Simon's Situated Action: A Symbolic Interpretation, Cognitive Science": *A Multidisciplinary Journal*, Vol. 17, No. 1, pp. 71-75.
- Thomas-Vaslin, V., (2017) « *Questionnements et connaissance de la complexité* ». Marc Silberstein. Qu'est ce que la science... pour vous?, 1, Editions Matériologiques, pp.251-256.
- Thomas-Vaslin, V., Jacquemart, F. (2016), « Approche de la résilience et perturbations des systèmes complexes par une évaluation globale ». Congrès mondial pour la pensée complexe: Les défis d'un monde globalisé.

Weick K. E. (1993). "The Collapse of Sensemaking in Organizations: The Mann Gulch Disaster". *Administrative Science Quarterly*, Vol. 38(4), pp .628-652.

Weick, K. E. (2001). *Making Sense of the Organization*, Blackwell Publishing Ltd.

Weick, K., E. (1995), *Sensemaking in Organizations*: Sage Publications.

Weick, Karl E. (1987), Organizational Culture as a Source of High Reliability? *California Management Review* 29 (2):112-27.

Weick, Karl E. (1998), "Introductory Essay: Improvisation as a Mindset for Organizational Analysis." *Organization Science* 9 (5):543-55.

Weick KE, Sutcliffe KM, Obstfeld D. (1999) « Organizing for high reliability: Processes of collective mindfulness ». *Research in Organizational Behavior*. 21:81-123.