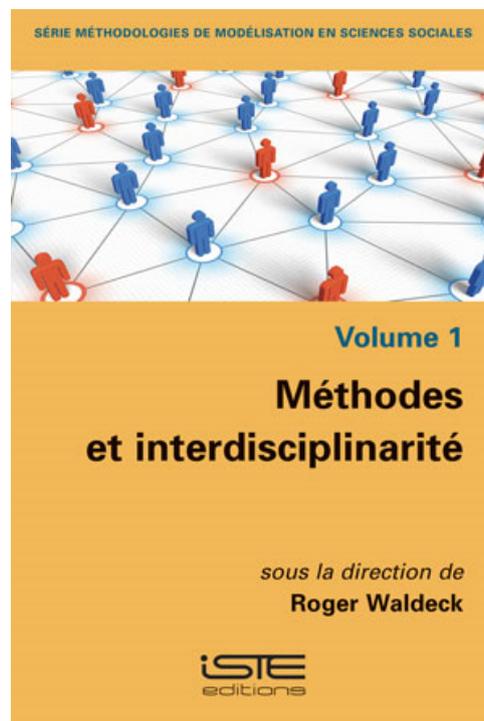


Méthodologie d'apprentissage en situations VUCA¹

Sophie Gaultier Le Bris - Siegfried Rouvrais - Roger Waldeck

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 d'apprentissage au sein de deux établissements d'enseignement supérieur français. Ces établissements de formations d'ingénieurs sont soumis aux exigences de référentiels de compétences aux niveaux français et européen. En formation, le développement des capacités à la gestion de situations complexes permet aujourd'hui l'analyse de comportements et actions d'équipes d'apprenants face à des situations complexes et inattendues, sous contrainte de temps, qui trouvent écho dans les environnements professionnels dit volatiles, incertains, complexes et ambigus.

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



Publication parue dans l'ouvrage « Méthodes et interdisciplinarité »
sous la direction de Roger Waldeck
ISTE Ltd, pages 107-133, Mai 2019

1. Formations d'ingénieur et organisations hautement fiables

Les problématiques organisationnelles et humaines vécues au sein des organisations induisent des questionnements. 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 à considérer, associées à la nécessité d'une 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. : Comment des acteurs en situations originales et peu prévisibles, et plus précisément des décideurs, peuvent-ils affronter diverses complexités et s'y préparer?

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 méthodologie d'apprentissage en phases est proposée. Elle est composée de séquences d'observation et d'analyse des comportements et actions d'équipes restreintes en formation. Elle a été conduite au sein de deux écoles d'ingénieurs accréditées, à travers une famille de séquences sur simulateur et/ou 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 un travail de recherche à cycle itératif sur des modalités pédagogiques 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 HRO²) et du courant actionniste. Ces courants sont relativement 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

² *High Reliability Organization*

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.

La prochaine section de ce chapitre rappelle les enjeux autour de la prise de décision en environnement dits 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). En terme méthodologique, une section spécifique présente ensuite la *Recherche Orientée Design* menée depuis 2015 pour inférer et renforcer les compétences transverses de prise de décision en situations complexes chez des élèves ingénieurs. Sont ainsi présentés les moyens expérimentaux mis en œuvre pour répondre à une question de recherche en lien avec les compétences transverses de prise de décision, ainsi que les outils employés pour les observations et analyses associées. Pour chaque approche mobilisée, les premiers résultats sont présentés.

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 (Waldeck et al., 2018). En effet, du fait notamment de la complexité croissante des technologies (Weick, 1995), les environnements professionnels et personnels marqués par des paramètres volatiles, incertains, complexes et ambigus, suscitent aujourd'hui des questionnements tant théoriques que pratiques auprès des établissements d'enseignement supérieur et notamment la façon dont les concepteurs de programmes de formation peuvent préparer leurs

apprenants, et futurs professionnels, à un avenir imprévisible et incertain et in fine à être en capacité de 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 ainsi donné lieu à un travail de définition des objectifs de formation en prise de décision VUCA, formulés en terme de compétences, et mis en œuvre au sein de deux établissements d'enseignement supérieur :

1. 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 ;

2. L'IMT Atlantique Bretagne-Pays de la Loire, grande école d'ingénieur généraliste qui conjugue le numérique et l'énergie dans ses formations et ses recherches. Relevant du ministère en charge de l'Industrie et du numérique, l'école propose un cursus avec une approche *compétence intégrée* avec des parcours diversifiés en réponse aux besoins accrus des organisations confrontées aux mutations numériques, énergétiques et environnementales.

Dans le cas de l'Ecole navale, ces objectifs d'acquis 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, des normes, et la concurrence mondialisée.

Le développement de compétences autour de 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.. 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

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. En d'autres termes comment caractériser la VUCAptitude d'un non-expert confronté à ce type de situation ? L'objectif de ce chapitre est d'explicitier la méthode retenue pour caractériser cette VUCAptitude à partir de la mise en œuvre de situations décrites dans la section 4.2.

Ce travail consiste à identifier pour un acteur en situation son niveau de maîtrise dans l'environnement et à observer l'évolution de ses compétences en faisant varier la magnitude des variables dans d'autres situations. 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 d'efficacité ? (p.ex. novice, p.ex. a été sensibilisé et mis en contact sur la compétence dans une situation, à expert, p.ex. est qualifié pour la pratique et la réalisation dans une famille de situations et en adapte ou créé un modèle). Le contexte pédagogique de ce travail a permis de positionner les compétences d'un individu ou d'une équipe dans un environnement VUCA dont les quatre variables Volatilité, Incertitude, Complexité, Ambiguïté peuvent avoir un niveau de magnitude différent (graduée de *Faible* à *Elevée*), comme représenté dans la table 1.

Composants de perturbation d'une situation				
Magnitude / variabilité	Volatilité	Incertitude	Complexité	Ambiguïté
Faible	Peu de variation des facteurs	Paramètres identifiés	Organisation simple des facteurs	Interprétation plausible (d'une règle ou d'un processus)
Moyenne	Prévisibilité du changement et des facteurs	Information incomplète et limitée, connaissances partielles	Plusieurs sources et composants, structure simple	Pas d'interprétation évidente
Elevée	Forte imprévisibilité des facteurs	Paramètres non identifiés, inconnus et non mesurables	Paramètres et facteurs très nombreux, désorganisation de ces facteurs, nombreux liens de cause à effets ne permettant pas de créer une structure établie	Aucune interprétation possible, indécidabilité, énoncés indémontrables

Table 1. Grille d'analyse de situations VUCA

Le tableau 1 reprend la grille de positionnement des caractéristiques situationnelles retenues pour accompagner l'évaluation des capacités de VUCAptitude d'un individu en terme de prise de décision, sur une autre échelle graduée d'efficacité. Si la graduation de certaines des composantes de perturbation augmente d'un niveau faible à moyen puis élevé, quelles sont les conséquences en termes d'acquis d'apprentissage (p.exemple, paliers et seuils cognitifs, tant procéduraux que comportementaux) ? Dans l'analyse proposée, la définition de la complexité retenue prend notamment en compte un grand nombre d'éléments interdépendants créant une surcharge cognitive liée à la difficulté d'analyse. La science des systèmes complexes prend toutefois en compte une définition différente de la complexité (cf. ch 5.) Et nous reprendrons la caractérisation de 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 pour l'étude de la prise de décision dans la gestion de situations VUCA, l'objectif constitue de se rapprocher des caractéristiques des systèmes complexes, et ceci même si de nombreux biais demeurent, qui s'appuient sur :

- « *des connaissances partielles* » : dans notre approche, cela est lié à la surcharge cognitive qui résulte dans une incapacité des acteurs à intégrer toutes les informations en un temps restreint. 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.

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 lors de décision, leur caractère parfois

contradictoire, ou dont les actions semblent impossibles à appliquer en un temps très court, ces conditions impliquent des actions improvisées ou spontanées que les acteurs en situation (élèves-ingénieurs non encore aguerris) doivent gérer dans le feu de la situation, actions entraînant notamment une prise de responsabilité par le responsable du groupe (décideur). 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 à même de renforcer la fiabilité organisationnelle.

La dimension interpersonnelle a été ajoutée dans le tableau 2 comme cinquième variabilité dans les expériences pédagogiques présentées dans Rouvrais, Gaultier Le Bris et Stewart, 2018. La dimension interpersonnelle n'étant pas exprimée sur une échelle unique, il convient de préciser que le niveau faible de magnitude sur cette dimension correspond à un seul individu, le niveau moyen est atteint à partir de 2 individus et s'ils sont culture et/ou de disciplines différentes, il s'agit du niveau élevé de magnitude.

Magnitude /variabilité	Composants de perturbation d'une situation					
	Interpersonnelle	Volatilité	Incertitude	Complexité	Ambiguïté	
Faible	1		Peu de variation des facteurs	Paramètres identifiés	Organisation simple des facteurs	Interprétation plausible (d'une règle ou d'un processus)
Moyenne	> 2 ind.	Mono discipline et culture	Pré-visibilité du changement et des facteurs	Information incomplète et limitée, connaissances partielles	Plusieurs sources et composants, structure simple	Pas d'interprétation évidente
Elevée	> 2 ind.	Equipe multi-disciplinaire et multiculturelle	Forte imprévisibilité des facteurs	Paramètres non identifiés, inconnus et non mesurables	Paramètres et facteurs très nombreux, désorganisation de ces facteurs, nombreux liens de cause à effets ne permettant pas de créer une structure établie	Aucune interprétation possible, indécidabilité, énoncés indémontrables

Table 2. Grille d'analyse de situations VUCA avec dimension interpersonnelle

3. Cadre théorique de la fiabilité organisationnelle

La recherche de modes de réponses fiables dans le cadre de la mise en œuvre de méthodes d'apprentissage s'est inspirée des travaux portant sur le 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 notamment sur la place des individus dans le processus de fiabilité : Pour certains courants, l'individu est identifié comme une source d'erreur plutôt 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

Adoptant une posture différente, le courant des organisations hautement fiables (HRO) et le courant actionniste abordent le concept de fiabilité dans une perspective de fiabilité accrue. Ces deux courants accordent une place aux comportements humains dans le processus de fiabilité. Ainsi, pour le courant actionniste, les interactions entre les individus peuvent être source d'une meilleure fiabilité. En étudiant les caractéristiques des organisations marquées par un haut niveau de fiabilité, Roberts (1990) montrent leur exceptionnel niveau de performance "*These organizations are typically technologically complex, their technologies are highly interdependent, they have high damage potential, and errors happen relatively rarely*". Weick (1993) y 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 « *définissent les situations de façon beaucoup plus heuristique que ne le feraient les procédures organisationnelles qui sont souvent inadéquates 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

Les travaux de ces deux courants ont alimenté notre réflexion sur la méthodologie d'apprentissage proposée dans ce chapitre. Un élément a retenu particulièrement notre attention. En effet, ces deux courants, pourtant très proches l'un de l'autre, affichent une divergence sur le respect des règles comme source de fiabilité. Ce point de divergence nous a donné l'opportunité de s'intéresser à des travaux sur la stratégie des règles en environnement complexe et d'apprécier le rôle du concept de métarègles dans la classe de situation étudiée. Notre travail a ainsi eu pour objectif de (i) caractériser les modes d'observation et action qui favorisent la fiabilité organisationnelle et à (ii) en intégrer l'approche par les métarègles dans le processus de décision.

Nous avons estimé que le concept de métarègles étudié en environnement dynamique (Davis, 2009) peut apporter une aide à des non-experts dans la prise de décision en environnement VUCA. 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 (Gaultier Le Bris, 2014). 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 détaillé) 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 situations spécifiques marquée par un haut niveau de complexité, une contrainte de temps et une exigence de fiabilité peut favoriser la compréhension et le traitement d'une situation complexe pour un non-expert encadrant une équipe restreinte.

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

Kamp, (2016) a souligné que pour faire face à des situations complexes et multifactorielles, une adaptation de la formation d'ingénieur s'avère aujourd'hui nécessaire. Aussi, comment cette prise en compte de l'incertitude et de la complexité peut-elle être traitée dans la formation ? Dans cette section sont présentés les moyens 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 vérifier et valider les modèles de formation proposés et à construire. 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'École navale et de (ii) l'IMT Atlantique. La localisation des établissements d'ingénieurs à Brest a orienté le terrain d'étude vers le milieu maritime dans la gestion d'une situation nautique où des événements inattendus (variation du contexte météorologique, rapprochement de navires, de dangers isolés, cas d'homme à la mer...) peuvent survenir à tous moments provoquant l'émergence de mouvements de coordination, d'interactions entre les acteurs du groupe, de réponses nouvelles.

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 s'est inspiré de l'approche « 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 dans un premier temps sur la sélection du cadre théorique. Comme évoqué, en section 3 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. Dans un second temps, le choix de l'approche méthodologique s'est orienté vers la Recherche Design en Education qui permet d'améliorer continuellement les pratiques et offres de formation. Ses principes : 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). De plus, 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 DBR fournit des concepts, méthodes, processus, et des outils. Ses résultats par étape 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. Son 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, le cadre théorique des HRO et actionniste) 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.

4.2. Du modèle au réel

Afin d'identifier des modes de réponses fiables face à des environnements VUCA, il était nécessaire de travailler à partir de situations à caractère complexe et incertain et d'identifier ainsi le niveau de fiabilité des décisions prises. Pour ce faire, la *Design Based Research* est appliquée à deux populations d'étude - (i) un groupe d'étudiants de l'Ecole navale et d'autres de (ii) l'IMT Atlantique. La première population correspond à des étudiants de l'Ecole navale, orientés sur un métier précis, public en formation initiale (équipe de quart passerelle). Pour eux, des exercices de situations nautiques sont déployés sur le simulateur de navigation de l'Ecole Navale (échelle 1 d'une passerelle de navigation). Aussi, pour identifier les stratégies individuelles et collectives favorisant la fiabilité organisationnelle, des scénarios sont élaborés afin de proposer, sur ce moyen, 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). Des questionnaires comportant des échelles de mesure de variables observées sont utilisés pour le recueil de données. L'observation de ces comportements d'équipe porte sur le niveau de fiabilité des actions entreprises (variable 1), 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. Ces échelles ont été construites ad-hoc du fait de la spécificité de l'environnement.

Ainsi, la mesure du niveau de fiabilité se fait à partir d'une échelle de Likert à cinq points construite avec des experts évaluant 1) l'atteinte des objectifs, 2) l'état des équipements, du bâtiment, des personnes et 3) la capacité à poursuivre la

navigation ou la mission à l'issue de l'exercice (identifiée s'il n'y a pas de dégâts irréversibles provoqués par une collision *virtuelle* avec le quai ou un autre navire). La mesure du niveau de complexité est faite à partir d'une échelle de Likert à cinq points appréciant le degré de contraintes, d'incertitude et de pression de la situation. Cette complexité de la situation est produite par l'émergence de différentes actions à mener obligeant le décideur à assurer la gestion de différents événements en un temps limité. Cela consiste par exemple à devoir gérer pour une équipe passerelle plusieurs incidents lors d'une période nautique de 5 à 10 mn du type une procédure d'« homme à la mer » tout en respectant les mesures d'anticollision avec un navire en approche et éviter un danger isolé. En navigation, pour chaque type de situation une procédure à suivre est prédéfinie et inscrite sur une planchette disponible en passerelle. De fait, il est possible de vérifier pour les observateurs de la situation qui remplissent les questionnaires si les règles sont suivies ou non. Enfin, la mobilisation de méta règles est également appréciée. Des experts ont été sollicités pour identifier le type de méta règle à appliquer. La méta-règle se différencie des règles car elle englobe d'autres types de situation nautiques ; une méta règle consiste, par exemple, à « réduire la vitesse du navire » ; elle peut s'appliquer à d'autres incidents du type avarie de barre, proximité de dangers, ce qui se différencie d'une règle relevant d'une situation particulière. Il est par conséquent possible pour les observateurs de savoir si des méta règles ont été mobilisées ou non. 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 donc ensuite analysé avec (ii) des groupes d'étudiants ingénieurs généralistes de IMT Atlantique toujours selon le principe de *Design Based Research*, (DBR). Ces étudiants ne sont clairement pas en lien avec l'environnement nautique, de par le profil ou le métier futur. Des exercices nautiques sont organisés en situation réelle, en rade de Brest. Grâce à des scénarios de formation de type « homme à la mer » conduit en environnement nautique réel (Rouvrais et Le Bris, 2018), pour une vingtaine d'étudiants majoritairement novices de cet environnement. Leurs comportements et capacités de prise de décision ont commencé à être analysés quantitativement depuis 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 et originale, le niveau de complexité des situations est modifié, continué et itérativement sur plusieurs séquences. Ainsi, en phase 1, la première situation

nautique réelle proposée aux étudiants novices de l'environnement est nommée Situation Simple, l'observation porte sur la définition puis l'application de règles³ avec un faible niveau de complexité (1 incident lors d'une période nautique de 20 mn du type « homme à la mer » avec également un niveau faible d'incertitude et d'ambiguïté).

Quand une première étape est franchie et validée pour les étudiants, les degrés de difficultés augmentent, pas à pas sur la grille de VUCAptitude. En effet, la deuxième situation nautique réelle est nommée Situation Complexe (même situation mais avec un plus haut niveau de complexité). Le niveau de complexité est accru par l'insertion de différents événements à traiter en un temps limité variant de 5 à 10 mn (« homme à la mer », p.ex. appel des garde-côtes à gérer, proximité avec une autre embarcation). Après chaque couple de situations « Situation Simple » et « Situation Complexe » où l'étudiant est en situation de décider, le niveau de fiabilité est mesuré inspiré des échelles utilisées sur simulateur précédemment décrites. 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 des 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. En une journée, les étudiants peuvent réaliser plus d'une vingtaine d'exercices réels, à VUCALité croissante.

4.3. Acquis de l'apprentissage

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.

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

³ La mise en situation a pour objectif de faire émerger les règles à suivre suivant la nature de la situation ; les étudiants ont du élaborer et définir des règles à suivre selon les types de situations nautiques afin d'être en mesure de les appliquer sans être experts du domaine. De la même façon, ils ont été sollicités pour faire émerger des méta règles.

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).

Le réseau européen d'accréditation de l'enseignement de l'ingénierie établit 8 pôles de compétences (ENAAE, 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. »*

Ces deux capacités phares trouvent directement un écho avec la grille VUCA présentée, utilisée comme complément lors de l'évaluation d'un seul individu sur des capacités fixées (dans ce travail, les compétences du décideur en situation). Cependant la présence d'autres acteurs au sein du groupe peut également avoir un effet sur sa décision dans l'action (p.ex la répartition critique, les échanges ou conflits). Pour intégrer ce biais dans la caractérisation des situations, une variable « inter personnelle » correspondant au nombre et à aux profils des individus confrontés à la situation VUCA doit être prise en compte. Pour ce faire, sachant que les capacités interpersonnelles se retrouvent également en tant que capacités transverses dans les référentiels d'acquis, deux options se profilent :

1. Une première option consisterait à intégrer dans une colonne, la variable « interpersonnelle » avec également 3 niveaux de magnitude intégrant le nombre et la composition du groupe (p.ex. discipline, nationalité). Elle serait déclinée comme suit :

- Un niveau de « magnitude faible » correspond à un seul individu (i.e. pas de conflits).
- Un niveau de « magnitude moyenne » correspond à un groupe de plus de 2 individus de discipline et culture proches ou un collectif déjà reconnu comme homogène par son vécu.
- Un niveau de « magnitude élevée » correspond à un collectif de plus de 2 individus avec au moins un individu de discipline et /ou de nationalité/culture différentes (i.e. effets sur la répartition critique de rôles, échanges et organisations laborieux, conflits possibles).

2. Une seconde option consisterait à prendre en compte dans les quatre composantes VUCA les effets de cette variable « Interpersonnelle » tant celle-ci est

prégnante dans la variation de chacune des quatre autres variables comme souligné en section précédente (chapitre 5). En effet, un nombre d'acteurs important dans une équipe ou un collectif peut augmenter le niveau d'incertitude (d'action, de décision) mais aussi le niveau d'ambiguïté (p.ex. en terme de comportements) et renforcer le degré de complexité par exemple par les interactions produites entre les individus. La volatilité peut être aussi influencée par des changements de comportements au sein du groupe.

5. Conclusion

L'objectif de cette approche méthodologique a donc été d'étudier de quelles façons un travail de recherche sur simulateur puis en situation réelle 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 tout autant que d'améliorer de manière collaborative les pratiques de recherche et de formation dans ce domaine.

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 et ch 5). 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.

D'autres méthodologies d'apprentissage et de recherche existent pour traiter de décision en environnement complexe. Voinow et Bousquet (2010) passent en revue les méthodes dites « collaboratives ». Pour ces auteurs, ces méthodes ont deux objectifs : la construction de connaissances partagées entre toutes les parties prenantes notamment la compréhension des dynamiques sous différentes conditions et l'identification et la clarification de l'impact des différentes solutions pour un

problème. Les individus face à des systèmes complexes apprennent à co-construire des règles de gestion de ces systèmes. La co-construction passe par une phase de construction d'un consensus pour les différents participants sur tous les aspects politique, physique, environnementaux, institutionnel, ainsi que les relations entre ces différents aspects. La modélisation participative consiste par une réflexion collective à se forger une connaissance partagée, le but ultime étant la construction de règles permettant la gestion de la ressource et les relations interpersonnelles dans un cadre de dynamique potentiellement complexe.

Le champ d'étude présenté dans ce chapitre peut trouver des éléments transférables dans d'autres champs notamment dans 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. Ces réflexions peuvent aussi s'appliquer à d'autres disciplines (médecine...) ou d'autres publics mettent en avant également les possibilités d'investigation de l'approche DBR.

Enfin, la grille de magnitude que nous proposons (tableau 1) adaptée à l'évaluation de capacités mobilisées en situations nautiques offre des perspectives de transfert possibles sur d'autres activités. Par rapport aux questionnements soulevés, sa graduation va être affinée grâce à des tests menés en 2018-2019 sur des activités pédagogiques dans le cadre du projet européen DAhoy (www.dahoyproject.eu). Ainsi, dans ce projet, les capacités de prise de décision en lien avec la grille de VUCAptitude vont être mises à l'épreuve, notamment sur une activité pédagogique de gestion de crise (modèle du Volcan islandais Eyjafjöll, éruption survenue en 2010), par les équipes de Reykjavik University, mais aussi sur d'autres activités menées à l'Ecole navale et à l'IMTA qui vont permettre de faire varier les niveaux de magnitude des composantes VUCA afin de mieux identifier et calibrer les niveaux de compétences et à terme la VUCAptitude d'un futur cadre.

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.

FICHIER AUTEUR

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 ENAAEE (2017).

The EUR-ACE Framework Standards and Guidelines (EAFSG). The European Network for Accreditation of Engineering Education. <http://www.enace.eu/accruited-engineering-courses-html/engineering-schools/accruited-engineering-programs/>, accessed 14 January 2018

ENAAEE (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.

Gutierrez Rodriguez Sylvie Servigne S. (2007), Métadonnées Spatiotemporelles Temps-Réel *Revue des Sciences et Technologies de l'Information - Série ISI : Ingénierie des Systèmes d'Information*, 2, 12, pp.97-119

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.

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.
- 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 Experienc. 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.
- Waldeck R., Gaultier Le Bris S. , Rouvrais S. (2018) "Interdisciplinarité et VUCA" dans In *Systèmes Complexes Artificiels & Naturels*.
- 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.