



HAL
open science

De l'analyse de simulations à la conception de systèmes de travail sûrs. “ Comment contribuer à un autre monde ? ”

Cecilia DE LA GARZA

► To cite this version:

Cecilia DE LA GARZA. De l'analyse de simulations à la conception de systèmes de travail sûrs. “ Comment contribuer à un autre monde ? ”. 54e congrès de la SELF. Université de l'ergonomie – Comment contribuer à un autre monde ?, Sep 2019, Tours, France. pp. 599-605. hal-04089519

HAL Id: hal-04089519

<https://cnam.hal.science/hal-04089519>

Submitted on 27 Oct 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



*Texte original**.

De l'analyse de simulations à la conception de systèmes de travail sûrs

Cecilia DE LA GARZA
EDF Lab Paris-Saclay
PERICLES – Facteurs Organisationnels et Humains
7, Av. Gaspard Monge
91120 Palaiseau – France
cecilia.de-la-garza@edf.fr

Ce papier apporte le point de vue de spécialistes FOH en conception dans le domaine de la sûreté nucléaire. Il met en avant l'utilité de la simulation dans deux contextes différents : la conception d'une future salle de commande et les évolutions organisationnelles en matière de gestion de crise. Le papier conclue sur comment la simulation ouvre la voie à de nouvelles formes d'entraînement à des situations de crise.

Mots-clés : conception, sûreté, simulation, formation.

From simulation towards a safety design.

This paper presents the HFO specialists' point of view in the field of nuclear safety related to emergency operation and crisis management. It highlights the utility of simulation in two different contexts: the design of a future control room and organizational changes for crisis management. Paper concludes of how simulation paves the way for new forms of training for crisis management.

Keywords: design, safety, simulation, training.

*Ce texte original a été produit dans le cadre du congrès de la Société d'Ergonomie de Langue Française qui s'est tenu à Tours, les 25, 26 et 27 septembre 2019. Il est permis d'en faire une copie papier ou digitale pour un usage pédagogique ou universitaire, en citant la source exacte du document, qui est la suivante :

DE.LA GARZA C. (2019) De l'analyse de simulations à la conception de systèmes de travail sûrs. Actes du 54^{ème} Congrès de la SELF, Université de l'Ergonomie : Comment contribuer à un autre monde ? Tours, 25, 26 et 27 septembre 2019

Aucun usage commercial ne peut en être fait sans l'accord des éditeurs ou archiveurs électroniques. Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page.

INTRODUCTION

Le point de vue qui sera adopté ici est celui des spécialistes FOH dans le domaine de la sûreté nucléaire et des apports relatifs à une conception sûre dans le domaine de la conduite incidentelle et accidentelle et de la gestion de crise. Le but étant dans tous les cas de contribuer à la maîtrise des risques. La particularité étant que s'agissant de situations accidentelles et de gestion de crise, les observations de l'activité réelle prennent un sens spécifique, car tout se fait par différentes formes de mises en situation et de simulations (maquettes, prototypes, simulateurs dynamiques partiels, simulateurs pleine échelle). L'activité réelle est donc celle qui est observée *in situ* lors de ces mises en situation et simulations auxquelles des futurs utilisateurs y participent.

APPROCHE DES SPECIALISTES FOH POUR LA SURETE DANS LE NUCLEAIRE

Le focus est mis sur les apports FOH axés sur la simulation à partir de deux exemples.

- La conception en amont : le cas d'une future salle de commande.
- La conception ou re-conception de d'une organisation, en se focalisant sur la résilience organisationnelle.

EDF R&D pratique une conception « centrée utilisateur » mettant en œuvre des étapes clé pour la prise en compte des FH, en tenant compte des contraintes industrielles (Labarthe, De la Garza, 2011). Mais cette conception « centrée utilisateur » telle, définie exemple, dans l'ouvrage de Norman et Drapper (1986), reprise dans différentes normes pour la conception des systèmes interactifs et des logiciels¹, nécessite une réadaptation pour la conduite de projets industriels. EDF R&D développe son ingénierie des facteurs humains selon une approche dite « pro-active » dont le but est d'anticiper les risques et les difficultés

¹ Processus de conception centrée sur l'opérateur humain pour les systèmes interactifs (ISO 13407), les méthodes de conception

en lien avec les futures situations de conduite dès les phases les plus en amont de la conception (De la Garza, Fadier, 2005 ; De la Garza, 2004).

Conception d'un futur système socio-technique et intégration des FOH

On peut distinguer trois modes d'intervention des FOH selon l'étape du projet.

- Une intégration « experte » via les référentiels spécifiques du domaine et les normes ergonomiques. Cette intégration relève plus du conseil et de l'expertise du spécialiste FH, que de l'analyse à proprement parler de la situation de travail. Cet apport se veut un guidage pour la conception mais qui nécessite une évaluation par la suite et/ou une confrontation avec le réel.
- Une intégration « ponctuelle » selon des sollicitations du projet, par exemple dans l'une des phases en amont pour des recommandations ergonomiques adaptées aux besoins du projet, ou en aval pour l'évaluation d'un prototype. L'expert FH se doit d'avoir une connaissance du travail réel pour répondre aux besoins des futurs utilisateurs et construire des scénarios d'évaluation pertinents pour l'évaluation des choix techniques.
- L'intégration dite « holiste » dans laquelle l'ergonome aura la plus grande légitimité dans la mesure où il pourra suivre du début à la fin globalement le processus de conception. Ceci implique un fort investissement du point de vue des compétences FH et une association de cette compétence aux autres compétences. L'ergonome devient alors un « prescripteur » et peut agir sur les spécifications lors de différentes phases du projet, en se basant sur les analyses de l'existant, comme sur les évaluations faites progressivement. Il s'appuiera sur des

et d'évaluation de l'utilisabilité (ISO TC 159/SC 4), le guidage de l'utilisateur (ISO 9241-13), etc.

diagnostics pour faire des pronostics qui pourront être évalués et enrichis au cours de différentes campagnes dites d'évaluation FH.

Démarches qualitatives pluridisciplinaires et référentiels

Dans le nucléaire il existe des référentiels de type NUREG² ou EPRI³, notamment pour la conception et l'ingénierie des facteurs humains. Ces documents apparaissent plus comme des « recueils » de recommandations et de bonnes pratiques que comme des outils opérationnels pour des ingénieurs, mais qui sont néanmoins pris en compte dans les travaux de la R&D. EDF R&D travaille depuis plus de quinze ans dans le développement d'approches méthodologiques qualitatives fondées sur les connaissances en ergonomie de conception, de la psychologie cognitive et de la fiabilité humaine. Cette discussion se focalise sur la phase d'évaluation des moyens de conduite, qui se caractérise par des tests utilisateurs basés sur des mises en situation, i.e. des simulations des futures situations de conduite. La notion de « validation FOH » de systèmes socio techniques (SST) telle qu'envisagée dans les projets par la R&D met l'accent sur son statut de « processus », lié à la conception, et dont la fin n'est située qu'après la mise en service et les premières phases de retour d'expérience opérationnel. Nous sommes également loin des « preuves tangibles » mentionnées dans les définitions de validation des référentiels qualité, tels l'ISO 8402⁴ (1994), qui s'adressent en général plus aux systèmes techniques qu'aux systèmes SST et pour lesquels les éléments de « preuves tangibles » sont difficiles à caractériser de façon certaine et partagée.

Par ailleurs, dans un projet industriel mettant en œuvre des démarches d'ingénierie simultanée, nous sommes loin

d'un processus théorique et séquentiel qui présente chaque phase de conception comme un ensemble fini de tâches validé, avant de passer à l'étape suivante.

Ainsi des phases de test/validation itératives caractérisent la démarche de conception. Sachant que la validation FH est située en fin de conception, après un premier retour d'expérience en début d'exploitation, dans le cadre d'évaluations d'ensemble, avec des équipes formées. Pour les étapes antérieures, il s'agit d'un processus de tests/évaluations qui « mesure » l'efficacité d'un système ou d'un sous-système et propose des améliorations. Ainsi, pour la conception d'une future salle de commande le processus de tests/évaluation FH des moyens de conduite de l'EPR a démarré depuis une quinzaine d'années, en vue de décliner et opérationnaliser une démarche de conception « centrée utilisateur » selon plusieurs objectifs (Labarthe et al., 2011).

- Situer « au mieux » les différentes étapes d'évaluation pour intégrer leurs retours dans le processus de conception.
- Décliner la partie itérative de la démarche tout en avançant dans la conception et le déroulement du projet, i.e. en validant des choix de conception en lien avec une étape du projet
- Analyser, lors de l'évaluation suivante, le bénéfice des modifications demandées à l'étape précédente.
- Contribuer au choix des moyens logistiques et méthodologiques pour réaliser, soit une évaluation d'ensemble des moyens de conduite, soit une évaluation ciblée, sur une partie de ce système.
- Contribuer à la construction progressive de l'activité future avec d'autres experts de la conception et de l'exploitation. Le but est d'établir un

² Guides de l'US NRC (Nuclear Regulatory Commission) 0700 Human-System Interface Design Review Guidelines (2002), 0711 HFE Program Review Model (2002), CR-6393 Integrated System Validation Methodology and Review Criteria (1995)

³ Guide de l'EPRI (Electric Power Research Institute) « Human Factors Guidance for Control Room and Digital Human-System Interface Design and Modification » (2005)

⁴ ISO 8402 : Validation : confirmation par examen et apport de preuves tangibles que les exigences particulières pour un usage spécifique prévu sont satisfaites.

diagnostic, au travers des campagnes d'évaluation, sur la base de scénarios d'utilisation écologiques (Vicente 1999 ; Rasmussen, Vicente 1989) qui sont, en fonction de l'avancement du projet, de plus en plus riches en termes de niveau de représentativité du futur SST de conduite.

- Identifier de nouveaux besoins en termes de formation des futurs utilisateurs, face aux évolutions technologiques et organisationnelles.

LA SIMULATION UN OUTIL PUISSANT POUR LA CONCEPTION

Tester pour anticiper des risques et valider les choix de conception

La « simulation » a un statut particulier dans nos projets et est un outil de base pour le diagnostic et le pronostic de l'activité future pour la performance des équipes et la sûreté et fiabilité du système de conduite. Tout au long du projet, des simulations passent par des maquettes statiques (images papier d'écrans ou de consignes, pages écran informatique, maquette bois pour l'agencement de la salle de commande), des maquettes dynamiques couplées à un simulateur par exemple, ou des simulateurs plein échelle. Ces simulations se fondent sur la construction de scénarios qui se veulent réalistes et représentatifs de situations futures probables, d'après des connaissances sur la conduite accidentelle, les études probabilistes et le REX international d'accidents nucléaires.

Tester pour évaluer la résilience organisationnelle d'un SST

Dans le cadre de la gestion de crise, l'accident de la centrale de Fukushima Daiichi en 2011 a relancé l'intérêt pour la résilience organisationnelle. EDF a mis en place une série d'actions en vue de s'assurer que l'organisation nationale de crise, les équipements et l'ensemble du système socio-technique était en mesure de faire face à ce type de situation dite « situation extrême » (De la Garza et al. 2018). Nous sommes partis de l'approche de la résilience portée par le Modèle de la Résilience en

Situation (MRS) (Le Bot, Pesme, 2010) développé depuis plus de dix pour l'évaluation de la performance humaine en conduite incidentelle et accidentelle. Le MRS articule deux points fondamentaux :

- la coexistence de deux rationalités a priori opposées, l'anticipation de la rationalité technique d'une part, l'adaptabilité de la rationalité « souple » du collectif humain, d'autre part.
- Le fonctionnement dynamique du SST en situation opératoire où se joue la résilience pour faire face à la situation, par la succession de phases de rupture, où l'adaptation d'une règle ou d'un mode opératoire s'impose, et de phases de stabilisation où le système applique les règles.

L'extension du MRS à la gestion de crise montre l'importance du fonctionnement collectif d'un réseau de groupes, prévu en amont, mais éphémère, constitué par l'équipe de conduite, les agents de terrain, et les équipes de crise en support et autres entités internes et externes à l'entreprise. Les éléments clefs de ce fonctionnement collectif sont la capacité à redonner du sens à une situation inattendue : sensemaking (Weick, Sutcliffe, Obstfeld, 2008), au travers la coopération, la coordination et la collaboration intra et inter groupes, favorisant la décision experte (De la Garza, Le Bot, Baudard, 2018 ; Le Bot, Baudard, De la Garza, 2018). L'approche pluridisciplinaire de la résilience associant fiabilité humaine et ergonomie cognitive a permis dégager les caractères favorables ou défavorables des facteurs inhérents à l'organisation de crise afin de fournir des pistes pour leur ajustement au travers de différents types de simulation.

L'anticipation organisationnelle est proactive : elle se joue avant que la situation n'advienne. C'est un processus qui produit des moyens de gérer les situations de crise avant qu'elles ne se produisent. Le processus d'anticipation ne peut anticiper toutes les situations dans leurs détails. Le processus d'anticipation traite donc d'un ensemble ou classes de situations

potentielles, avant que la situation n'advienne, en mettant à disposition du processus d'exécution des règles et des ressources suffisantes pour reconnaître une situation et interagir avec elle, telles que :

- Des règles d'organisation des groupes : i) rôles, responsabilités, ii) répartition et planification des tâches, iii) constitution des équipes ou groupes de travail, etc.
- Des règles d'exécution : i) procédures, ii) formation, iii) fondamentaux « métier », iv) culture de sûreté, etc.
- Des moyens, outils et ressources : i) interfaces, informations, ii) moyens de communication et matériels, iii) effectifs présents ou en renfort.

Ces moyens, ressources et règles sont aussi stables et pérennes que possible, ils permettent un fonctionnement robuste et productif. Le processus d'anticipation est assuré par les ingénieries locales du site et corporate ainsi que par les différents organismes de formation. Il s'appuie sur des connaissances et des savoirs produits par les études scientifiques et le retour d'expérience pour renforcer son efficacité.

Le processus d'adaptation en gestion de crise intervient de façon réactive et itérative en situation ou juste avant une situation : il fournit potentiellement les mêmes « objets » que le processus d'anticipation mais uniquement en fonction de la situation vécue et pour gérer cette situation en particulier. Les groupes impliqués dans la gestion d'une situation supportent ce processus en établissant quand nécessaire des règles d'organisation et d'exécution ad hoc en temps réel. Par exemple, lors de simulations d'accidents, si les opérateurs détectent une erreur dans une procédure en cours d'application, ils se concertent pour modifier localement, et pour l'accident en cours, la règle erronée qu'ils doivent suivre matérialisée par la procédure. Ou encore, face à une situation hors dimensionnement, non couverte par les procédures, un mode opératoire sera « improvisé » en collaboration avec les équipes support de crise. L'adaptation ne procède pas ex nihilo

et réutilise ce qui a déjà été anticipé en l'adaptant ou en innovant d'après leur expertise et connaissances techniques.

Pour exploiter de façon sûre nos réacteurs, se pose la question de savoir où porter l'effort : faut-il mieux anticiper ou alors plus compter sur l'adaptation en temps réel ? De fait, il ne s'agit pas de faire un choix entre ces deux stratégies organisationnelles. Et la simulation est là un outil qui permet de tester l'articulation des deux, comme ceci peut être constaté a posteriori dans le cas d'accidents. Ainsi, pour tester la résilience organisationnelle, suite à des évolutions organisationnelles post-Fukushima, des simulations dites « situation extrême » ont été conduites (De la Garza et al., 2018 ; Le Bot et al., 2018). Ces simulations de par leur grandeur et modes d'organisation sont une première mondiale. En effet, ces essais pleine échelle se sont déroulés sur deux simulateurs de salle de commande de façon simultanée, avec en parallèle une équipe support de crise partiellement constitué et quelques membres de la cellule du commandement national, afin de reconstituer en partie l'organisation nationale de crise. Des observateurs se sont répartis dans ces différents endroits géographiques, puis les chronologies et observations ont été mises en commun en vue d'une analyse associant l'ergonomie, la psychologie cognitive et la fiabilité humaine au travers du MRS. L'analyse de la résilience est fondée sur une approche empirique qui a pour objectif d'identifier les Faits Marquants (FM). Un FM est la survenue ou l'absence d'actions, de décisions ou de reconfigurations.

- Un FM peut être Individuel ou collectif, pouvant concerner un groupe ou plusieurs groupes et les interactions entre ceux-ci ;
- Un FM peut renforcer ou fragiliser la fiabilité du SST, en particulier lorsqu'une équipe tente un nouvel mode opératoire.
- En réaction à une situation attendue ou inattendue, il peut se référer au

sensemaking : rupture de la coopération, la collaboration et la coordination nuisant ainsi à la possibilité de construction de sens.

Lors des analyses les FM sont regroupés par collectif : équipe en salle de commande, agents de terrain, équipes support, équipes nationales. Des catégories de FM sont

établies : FM techniques, relatif au résultat de la conduite sur le procédé, FM d'expertise relatif au support à la conduite, ou FM organisationnels ou de fonctionnement du collectif. Les principales étapes de la démarche pluridisciplinaire pour l'étape suivante d'analyse des FM sont synthétisées dans le tableau 1.

OBSERVATEURS	FIABILITE HUMAINE + ERGONOMIE		FIABILITE HUMAINE		ERGONOMIE		
Chronologie par observateur puis chronologie globale	Analyse brute à partir des observations et des débriefings : Faits Marquants (FM)	Points techniques Synthèse des FM par collectif et globaux	Chronologies MONACOS (méthode de fiabilité humaine)	Analyse fonctionnelle de la résilience	Analyses cognitives (prise de décision, résolutions de problème, difficultés de compréhension, etc.) et Analyses du fonctionnement collectif (coopération, coordination, collaboration)		
					Chronogrammes d'activité SdC et interactions Site/PCDN/ETCN	Analyses thématiques des débriefings	Analyse en relation avec les hypothèses d'étude sur l'atteinte des objectifs de conduite

Tableau 1 - Synthèse de la méthodologie d'analyse d'une simulation de type « situation extrême »

DE LA SIMULATION POUR LA CONCEPTION A LA SIMULATION POUR MIEUX S'ENTRAINER

La représentativité des simulations augmente et évolue entre les évaluations préliminaires et les finales. Notamment, les premières évaluations prennent comme modèle pour les simulations les situations de référence, i.e. l'existant, tout en intégrant de nouveaux principes de conception. Toutefois, ceci atteint des limites en termes de représentativité, pour le diagnostic, et le pronostic, lors d'évolutions technologiques et organisationnelles importantes.

Dans le cadre d'études exploratoires pour les situations dites « extrêmes », les notions d'évaluation/validation ont nécessité d'être nuancées car compte tenu du contexte à caractère « extrême », il est impossible d'arriver à une démonstration et à une validation et vérification absolue des choix techniques et organisationnels.

Toutefois, les situations de simulation sont construites autour des innovations et des hypothèses faites autour des impacts envisagés sur la conduite, sur

l'organisation, sur l'activité. Et ce sur un simulateur pleine échelle, reproduisant le futur process pratiquement à l'identique. De fait, ce que l'on constate est que d'une part, ces évaluations finales permettent de tester des choix de conception et d'aboutir à des conclusions avec un bon niveau de confiance dans toutes nos études, et d'autre part, que ces simulations favorisent le développement de l'activité future, le développement de nouvelles compétences et connaissances et par conséquent, d'aide à la mise en place de programmes de formation. Les résultats des situations de simulation mises en œuvre pour tester des évolutions techniques, organisationnelles ou autres, sont de fait un outil de REX pour l'identification de besoins en termes de nouvelles compétences pour les futurs utilisateurs. Elles sont également un outil tout à fait adapté pour réfléchir à des formes d'entraînement innovants de type storytelling et serious game. Ce dernier point fait actuellement l'objet d'études et de développements d'outils par la R&D pour différents équipiers de crise en vue d'apporter des compléments à la formation

dite plus « classique ». Dans cette perspective, il s'agit de partir de récits d'histoires qui se sont réellement produites, accidents ou exercices de crise, en vue de développer trois axes dans le domaine notamment de la gestion de crise.

- Cibler des collectifs particuliers car les exigences en termes d'activité, et donc de besoins de formation diffèrent. Deux prototypes sont en cours de test dans l'entreprise : l'un pour l'équipe technique nationale de crise (Alengry et al., 2018), l'autre pour les managers qui assument le rôle de Directeur de crise en cas d'accident (De la Garza, Le Bot, Darses, 2019).
- Profiter de ce que la technologie offre actuellement pour mettre en place des mises en situation ou des simulations plus adaptées aux besoins des utilisateurs, moins coûteuses que des simulations sur un simulateur pleine échelle, et ludiques.
- Ouvrir la voie, en termes de conception, à une « philosophie de la gestion crise nouvelle » : l'anticipation restera toujours nécessaire, mais accepter qu'il faut aussi s'entraîner à l'inattendu.

BIBLIOGRAPHIE

- Alengry J., Falzon P., De La Garza C., Le Bot P. (2018). What is "Training to Cope with Crisis Situations"? Developing a Reflexive Training Device for a Crisis Support Team. In: Bagnara S., Tartaglia R., Albolino S., Alexander T., Fujita Y. (eds) *Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association*. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 822, pp.60-67. Springer, Cham.
- De la Garza C., 2004. *D'une approche réactive à une approche proactive en ergonomie : apports à une conception sûre d'équipements industriels et de systèmes de travail*. Habilitation à Diriger des Recherches. Université René Descartes, Paris 5.
- De la Garza C., Fadier E. (2005). Integration of safety into design process: a theoretical and practical approach in the printing sector for a proactive safety. *Int. Journal of Cognition Technology and Work, IJ-CTW*, 7 (1), 51-62.
- De la Garza C., Le Bot P., Baudard Q. (2018) The simulation of extreme situations for the analysis of resilience: an original methodology to improve simulation and organizational resilience. In: Bagnara S., Tartaglia R., Albolino S., Alexander T., Fujita Y. (eds) *Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association*. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 821, pp.13-22. Springer, Cham.
- De la Garza C., Le Bot P. Darses F., Bringaud V. A Decision Making tool to train managers coping with uncertainty in crisis management. Paper submitted to the *International Conference on Naturalistic Decision Making*, 2019, SF, CA.
- Labarthe J-P, De la Garza C. (2011). The human factors evaluation program of a control room: the French EPR approach. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing*, 21(4) 331-349.
- Le Bot P., Baudard Q., & De La Garza C. 2018. The Model of Resilience in Situation: its contribution to the crisis management analysis and improvement. *Proceedings of the Probabilistic Safety Assessment and Management PSAM14*, September 2018, Los Angeles, CA.
- Le Bot P., Pesme H. (2010) The Model of Resilience in Situation as an Idealistic Organization of At-risks Systems to be Ultrasafe. *International Conference on Probabilistic Safety Assessment & Management*. PSAM 10. June, Seattle, Washington, USA.
- Norman DA, Draper SW (eds) (1986). *User centred design. New perspectives on human-machine interaction*. Lawrence Erlbaum Associates: Hillsdale.
- Rasmussen J., Vicente K. J. (1989). Coping with human errors through system design : implications for ecological interface design. *International Journal Man-Machine studies*, 31, 517-534.
- Vicente K. (1999). *Cognitive work analysis. Toward safe, production and healthy computer-based work*. London: Lawrence Erlbaum.
- Weick K.E., Sutcliffe K.M., Obstfeld D., 2008. Organizing for high reliability: Processes of collective mindfulness. *Crisis management* 3, 81-123.