



HAL
open science

La sûreté de fonctionnement soutenable : motivations. Etat de l'art, verrous et hypothèses scientifiques (1)

Francis Claude, Jean-Pierre Signoret

► To cite this version:

Francis Claude, Jean-Pierre Signoret. La sûreté de fonctionnement soutenable : motivations. Etat de l'art, verrous et hypothèses scientifiques (1). Congrès Lambda Mu 23 “ Innovations et maîtrise des risques pour un avenir durable ” - 23e Congrès de Maîtrise des Risques et de Sûreté de Fonctionnement, Institut pour la Maîtrise des Risques, Oct 2022, Paris Saclay, France. <hal-03877915v3>

HAL Id: hal-03877915

<https://hal.science/hal-03877915v3>

Submitted on 9 May 2024

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.



HAL Authorization

La sûreté de fonctionnement soutenable : motivations. Etat de l'art, verrous et hypothèses scientifiques (1)

Sustainable dependability : motivations. State of the art, barriers and scientific assumptions (1)

CLAUDE Francis
ESTP

Grande école d'ingénieurs de la
construction

Cachan, France
fclaud@estp.paris.eu

SIGNORET Jean-Pierre
TotalEnergies Professeurs associés
j-p.signoret@orange.fr

Résumé — Cet article est le second d'une série de trois publiés pour ce Congrès du Lambda Mu 23. Il propose un état de l'art de quatre disciplines scientifiques qui trouvent des applications au sein des entreprises industrielles : les Cindyniques, la sûreté de fonctionnement, la maîtrise des risques industriels et le management intégré des risques.

À l'interaction entre terrain et théorie ces métiers apparaissent comme appliquant le principe de conception et sont constitutifs d'une ingénierie gestionnaire fondée, qui incarne le projet général que l'on peut attribuer aux sciences de gestion.

Mots-clés — *Les Cindyniques, sûreté de fonctionnement, maîtrise des risques, management intégré des risques*

Abstract — This article is the second in a series of three published for this Lambda Mu 23 Congress. It provides a state of the art of four scientific disciplines which find applications within industrial companies: Cindynics, dependability, risk mastering and integrated risk management.

In the interaction between field and theory, these professions appear as applying the principle of design and constitute a well-founded managerial engineering that embodies the general project that can be attributed to management sciences.

Keywords — *Cindynics, dependability, risk mastering, integrated risk management*

I. INTRODUCTION

Compte tenu de la thématique du Congrès du Lambda Mu 23, « innovations et maîtrise des risques pour un avenir durable », trois communications ont été proposées autour de l'évolution souhaitable de la sûreté de fonctionnement vers la sûreté de fonctionnement soutenable.

Dans la perspective d'un développement durable, la première, celle-ci, fait le point sur l'état de l'art de quatre disciplines : les Cindyniques, la sûreté de fonctionnement, la maîtrise des risques industriels et le management intégré des risques. Une attention a été portée sur leurs niveaux logiques d'intervention : les systèmes techniques, les systèmes socio-techniques et enfin les systèmes socio-économiques.

La deuxième [1] précise les verrous identifiés et les hypothèses qu'il conviendra de vérifier pour voir émerger une sûreté de fonctionnement (*dependability*) soutenable (*sustainable*).

Enfin, la troisième [2] propose deux méthodes de prospective environnementale (prévisionnelle et décisionnelle) en réponse à l'Édito d'Emmanuel Arbaretier, Président du Comité de programme. Le principe consiste à regrouper, au sein d'une même démarche stratégique de gestion préventive des risques majeurs et des crises, d'une part, un programme pour se préparer maintenant aux changements attendus dans le futur (pré-activité vis-à-vis du risque) et d'autre part, une stratégie en agissant maintenant pour provoquer les changements souhaitables de l'environnement actif de l'entreprise (proactivité vis-à-vis du risque).

Cette recherche est issue d'un programme de l'ESTP « Architecture, Ingénierie et Management Responsable pour la Transition Écologique des Entreprises Industrielles ». Dans ce programme, quatre axes d'études sont abordés : prospective environnementale et stratégie industrielle, actuariat industriel (projet, portefeuille de projets, entreprise, secteur d'activité), efficacité économique et sûreté de fonctionnement soutenable et, un axe transverse étudie l'administration des processus de décision.

II. ÉTAT DE L'ART

Lors du Lambda Mu 22 un article avait été présenté comme éléments de valorisation d'un des Groupe de Travail et de Réflexion (GTR) de l'Institut de Maîtrise des Risques et de la Sûreté de Fonctionnement (IMdR) qui portait sur « le risque et les métiers du risque dans l'entreprise industrielle » [3]. Cinq « métiers » avaient été présentés en 2020 or, avec la continuité des travaux, c'est finalement douze métiers qui sont désormais identifiés. Pour chacun d'entre eux une finalité, des fonctions, des méthodes et même un glossaire ont pu être distingués [4]. Ils peuvent paraître nombreux mais c'est un fait

empirique au sein des sociétés non-financières et plus généralement dans l'industrie.

Pour les besoins de la présente communication quatre disciplines scientifiques sont étudiées : les Cindyniques, la sûreté de fonctionnement, la maîtrise des risques industriels et enfin le management intégré des risques. Un point commun à ces disciplines est d'aborder conjointement des aspects de complexité et d'incertitude. Leur principale différence est de le faire à des échelles ou des niveaux logiques différents : principalement les systèmes techniques (installations industrielles, produits manufacturés...), les systèmes socio-techniques (les systèmes techniques dans leur environnement sociétal) et enfin les systèmes socio-économiques (les systèmes socio-techniques dans leur environnement économique).

Le fait d'évoquer le concept de système tient au fait que c'est un choix de modélisation où l'on ne va raisonner qu'en termes d'interactions. Pour l'incertitude et notamment le risque, comme nous allons l'observer, ces différentes disciplines peuvent en avoir des interprétations différentes et c'est bien naturel dans la mesure où elles ne raisonnent pas sur les mêmes types de systèmes et donc les mêmes niveaux logiques.

Dans cet article, un certain nombre de concepts vont être utilisés. Ces derniers peuvent avoir des interprétations différentes selon les industries ou les différentes traductions. Depuis 2017, plusieurs groupes de travail, dont le GTR de l'IMdR GiRC pour Gestion intégrée des Risques et de la Complexité, ont participé à la rédaction d'un « glossaire » de l'IMdR qui a été publié en juin 2022 sur le site web de l'association [5]. Afin d'éviter toute ambiguïté, les concepts qui font partie de ce glossaire, dès lors qu'ils sont mentionnés pour la première fois en français dans le texte, sont en italique et en gras et nous proposons au lecteur de se référer au site web pour connaître les définitions précises.

A. Les Cindyniques

Les sciences du danger ou les *Cindyniques* sont apparues dans les années 90 à l'initiative de Georges-Yves Kervern, ingénieur, dirigeant industriel et chercheur français. En 1986, il publie un ouvrage « la culture réseau : éthique et écologie de l'entreprise » [6]. Il évoque la prospective pour savoir « comment sortir la culture de l'inculture » et « la clairière écologique » comme un programme de recherche pour l'entreprise du XXI^{ème} siècle dans la perspective de donner des bases plus solides aux méthodes de gestion.

À la suite d'une conférence organisée à l'Unesco en 1987 pour confronter les expériences de différents secteurs industriels, un archipel émerge, « l'archipel du danger », comme un vaste continent scientifique à la charnière du XX^{ème} et du XXI^{ème} siècle. Initialement, les Cindyniques initient trois générations de recherche sur le danger correspondant à :

- celle du risque technologique majeur (1987 – 1994) ;
- celle du risque psychologique majeur (1994 - 2001) qui est un premier transfert des concepts de l'industrie vers la société civile (la famille, la ville et la santé publique notamment) ;
- celle de la planète et de l'espèce humaine depuis 2001, car des menaces majeures sont remises au premier plan de la conscience internationale ;

Au sein de cet archipel des îlots suffisent par leur nombre à justifier le pluriel affichés par « *Cindyniques* » : psychologie, sociologie, mathématiques financières, calcul actuariel, calcul fiabiliste, les Congrès Lambda Mu, calculs de probabilités sur des arborescences, informatisation du traitement des informations, phénoménologie, etc .. [7].

Pour réaliser la finalité des sciences du danger, les Cindyniques étendent volontairement le périmètre des dangers à prendre en compte au-delà de la technique aux facteurs humains et organisationnels. En effet, le facteur humain se limitant aux seules situations de travail opérationnelles, ils souhaitent tenir compte de l'environnement dans lequel œuvrent les humains, les organismes, car ils représentent des lieux où se jouent, à tous les niveaux, de nombreuses interactions.

Ainsi, Les Cindyniques cherchent à identifier toutes les sources de risques au sein des organismes au-delà des sources techniques et notamment humaines, organisationnelles, culturelles et environnementale de façon à bâtir des plans d'actions pour réduire les risques. Nous discuterons ultérieurement du management intégré des risques, qui n'a pas pour seule fonction de réduire les risques à un niveau acceptable, comme c'est le cas aussi pour la *sûreté de fonctionnement* (*dependability*) et la *maîtrise des risques* (*risk mastering*), mais d'optimiser la prise de risque de façon à réaliser et/ou créer et/ou préserver de la valeur selon les décisions à prendre.

Au-delà de décrire, notamment par des arbres des causes, les enchaînements conduisant aux *incidents*, *accidents*, catastrophes qui aboutissent à des quantifications sur les deux axes d'un espace à deux dimensions des *événements redoutés* non souhaités :

- la probabilité ;
- la gravité.

L'outil majeur des sciences du danger est l'hyperespace du danger [8]. Cet outil caractérise d'une part, des situations d'activités et d'autre part, des qualificatifs de zones considérées comme dangereuses. Dans le premier cas, cinq domaines (spatial, géographique, chronologique, contextuel et réseau d'acteurs) sont étudiés. Dans le second, les *données*, des *modèles* sont pris en compte, auxquels s'ajoutent des qualificatifs, relatifs aux sciences humaines, comme les *règles* (subies ou imposées), les *valeurs* qui guident les actions vers des buts et les *finalités* qui sont les buts visés par l'organisme. Nous reviendrons à la fin de cet article sur quelques termes clés : données, modèles, règles, valeurs, finalités.

Un point fondamental à appréhender dans les sciences du danger est que pour identifier des *événements redoutés* une analyse des dangers doit être préalable à toute analyse de risque. En ce sens, les Cindyniques considèrent le « danger » comme une capacité intrinsèque à créer un dommage, il « conserve un statut ontologique matériel » [9] il est réel et physiquement présent. À la différence, un risque à un caractère épistémique au sens où il n'a d'existence et de repère temporels uniquement pour la cognition d'un ou d'humains qui souhaitent leur en accorder, et relativement à l'analyse des conséquences de la connaissance d'un phénomène sachant que cette connaissance est imparfaite. Le risque qu'il soit envisagé en tant que construction ou en tant que quantification, voire les deux, relève du domaine de la

représentation. « Il n'a donc pas d'existence indépendante du sujet ou de l'objet à l'origine de cette représentation et il en va de même pour les variantes épistémologiques du risque que sont les notions d'incertitude, d'ambiguïté et d'ignorance [9] (l'ignorance se réfère ici à l'incertitude radicale au sens de Keynes).

Par exemple, le responsable d'un site industriel, Installation Classée pour la Protection de l'Environnement (ICPE), au sein d'une zone industrielle avec d'autres ICPE et possiblement des installations SEVESO, ne peut nier l'existence de ces installations et le fait qu'elles sont intrinsèquement dangereuses et par conséquent source de risques technologiques. Elles sont réelles et présentes. Si de plus, par exemple, cette installation se trouve au confluent de la Seine et de l'Yonne, alors ce sont des « dangers », lesquels en interaction avec l'installation, un « enjeu », forment une « situation dangereuse ». Pour les Cindyniques, un « risque » est la résultante d'un « aléa », une crue de l'Yonne par exemple, avec une situation dangereuse. Ainsi, sauf à supprimer les installations voisines, la Seine et l'Yonne, les dangers existeront toujours pour l'installation.

Cela a été d'ailleurs l'objet de la loi n° 2003-699 du 30 juillet 2003 relative à la prévention des risques technologiques et naturels et à la réparation des dommages que de fixer des règles de gestion de ces risques.

Pour conclure sur les Cindyniques, même si le métier n'existe pas à proprement parlé dans les entreprises industrielles, il apparaît clairement que cette discipline se place dans une logique d'anticipation et d'intelligence au sens de Herbert Simon et détaillé par Jean-Louis Le Moigne [10] dans le processus de résolution de problèmes complexes. Ainsi, l'hyperespace du danger est un cadre d'analyse qui peut contribuer à l'établissement du contexte interne et externe d'un processus de management des risques.

Pour les lecteurs qui souhaiteraient approfondir leurs connaissances dans cette discipline un chapitre d'ouvrage permettra d'en avoir une vision d'ensemble synthétique [11] et le dernier ouvrage de référence de G. Planchette publié en 2022 dans le domaine permettra d'en avoir une vision exhaustive [12].

Une fois l'hyperespace du danger anticipé et bien compris et notamment les différents liens de dépendance et d'influence systémiques qui lient les variables d'études en jeu, ce sera le rôle des deux métiers que nous allons aborder conjointement maintenant que de gérer ces risques dans un sens que nous allons préciser. Ces métiers de l'entreprise industrielle sont la Sûreté de Fonctionnement (SdF) et la Maîtrise des Risques Industriels (MdRI) ; ils sont intrinsèquement associés et réaliser l'un sans l'autre n'a aucun sens compte tenu de la complémentarité systémique de leurs finalités. En effet, en fonction d'un risque jugé acceptable :

- le rôle de la SdF sera d'assurer une « sûreté de fonctionnement » du système technique sous la contrainte de limite supérieure de probabilité d'occurrence des *événements redoutés* et
- le rôle de la MdRI sera de « maîtriser » les conséquences maximales d'incidents ou d'accidents, c.-à-d. que si le risque se matérialise, en dommages aux biens par exemple, la conséquence réelle devra toujours être inférieure à la limite supérieure de conséquence acceptable et ce, à

indépendamment de sa probabilité d'occurrence et à l'échelle du système socio-technique.

Ces deux métiers s'exercent donc en permanence sous contraintes de limites compte tenu d'*exigences* (des propriétés logiques que le système doit satisfaire) formulées par une maîtrise d'ouvrage ou une autorité de contrôle.

B. La Sûreté de fonctionnement et la maîtrise des risques industriels

Plusieurs éléments ont contribué à l'essor de la SdF :

- concrétiser le fonctionnement sûr d'un système technique à partir d'une intention stratégique initiale d'un ou plusieurs décideurs ;
- un besoin de la part de ces mêmes décideurs d'avoir des prédictions quantifiées sur le fonctionnement futurs des systèmes techniques ainsi qu'une optimisation des coûts (ou de la rentabilité) de ces systèmes ;
- la nécessité pour les ingénieurs d'associer à une logique de moyens, une logique de performance ;
- la qualification de nouvelles technologies dans des systèmes techniques de plus en plus complexes ;
- la généralisation de l'électronique dans les systèmes techniques ;
- le besoin de nouvelles capacités (connaissances et compétences) pour les ingénieurs ;
- l'enrichissement des dimensions des analyses ainsi que de nouvelles ressources et notamment de méthodes pour faire face à ces défis.

Le premier exemple marquant est probablement celui de l'armée du III^{ème} Reich à partir de 1938, dans le cadre de la domination aérienne en Europe pendant la seconde guerre mondiale. Une recherche dans le domaine des missiles (une innovation pour l'aéronautique à l'époque) permettrait, au moins en partie, de compenser sa faiblesse stratégique vis-à-vis de ses adversaires au niveau des bombardiers lourds à long rayon d'action. Telle est l'intention stratégique initiale.

Vu qu'aucun missile n'arrivait à atteindre « une » cible et les moyens importants mis en œuvre, Robert Lusser, un ingénieur allemand avec de fortes compétences dans le développement d'avions de combat, est appelé au côté de Wernher von Braun pour l'aider à faire décoller ses « bombes volantes ». Il en découvre le principal défaut, le résout et, à partir de là, le design a fonctionné. Son principe est basé sur le fait que la résistance d'une chaîne ne peut être supérieure à celle de son maillon le plus faible. Il en tire une équation permettant de « prédire », dès la conception, *la fiabilité* (*reliability*) d'un système technique : la probabilité de succès d'une chaîne de composants est égale au produit des probabilités de succès de chacun de ses éléments.

1) De la fiabilité à la sûreté de fonctionnement des systèmes techniques

Dans les années 50, la loi de probabilité de Waloddi Weibull est publiée en 1951 et permet de prédire des taux de *défaillances*. L'invention du « transistor » entraînent le développement de dispositifs électroniques nouveaux. A la fiabilité s'ajoute la disponibilité et la maintenabilité des systèmes (pour les équipements électroniques des destroyers de l'US Navy lorsque le *Department of Defense* aux États-

Unis – DOD constate un coût de maintenance de 2 USD pour 1 USD d'équipement).

Dans les années 60, la fiabilité constitue la base d'une doctrine et de méthodologies pour adresser le bon fonctionnement de systèmes techniques composés d'équipements mécaniques, hydrauliques et électroniques. L'analyse par arbre de défaillances est une de ces méthodes notamment pour l'évaluation des événements redoutés en termes de probabilité d'occurrence et de conséquences. Elle a été initialement développée par H.A. Watson aux Laboratoires Bell aux Etats-Unis en 1962 pour fiabiliser, à la demande de l'US Air Force, le missile intercontinental Minuteman. Une histoire veut que les ingénieurs aient annoncé aux généraux que la probabilité initiale d'atteindre une cible fixée était de 50%. Les généraux auraient répondu...peu importe nous en lancerons deux...Depuis les systèmes techniques embarquent avec eux leur potentiel de fiabilité, potentiel qui doit se retrouver au niveau de chaque composant et de leurs interactions.

Le DOD lance un programme de fiabilité pour le développement et la production de systèmes et d'équipements qui va entraîner une nouvelle exigence contractuelle avec la fourniture d'études de fiabilité de la part des fournisseurs. Les entreprises désireuses de continuer leurs relations commerciales décident d'acquiescer ces nouvelles capacités. En France, le centre de fiabilité du Centre National d'Études des Télécommunications est créé en 1961.

Vu que des progrès sont apportés en termes « d'amélioration de la qualité et des performances des produits, de réduction des coûts de conception et de réduction des coûts de maintenance » [13], la doctrine s'internationalise et adresse autant les activités militaires que les industries civiles grand public : industries de l'énergie (électrique dont nucléaire et hydraulique, gaz, pétrolière,...), des transports (routier et ferroviaire de marchandises, ferroviaire de voyageurs, aérien, maritime), manufacturière (chimique, métallurgie, automobile, équipements électronique et électrique,...) et le secteur aéronautique et spatial. Cette doctrine prend le nom de sûreté de fonctionnement.

Alain Villemeur réalise en 1997 un état de l'art de la sûreté de fonctionnement à date [14]. Pour les lecteurs qui souhaiteraient approfondir leurs connaissances dans cette discipline un chapitre d'ouvrage permettra d'en avoir une vision d'ensemble synthétique [15] et le dernier ouvrage de référence internationale dans le domaine de J.P Signoret publié en 2021 permettra d'en avoir une vision exhaustive [16].

2) De la sûreté de fonctionnement à l'acceptabilité des risques des systèmes socio-techniques

Il est tout à fait possible de lire une histoire des techniques [17], au demeurant très intéressante notamment sur « la société de consommation...d'énergie » de la civilisation industrielle. Néanmoins, des historiens, ont décidé de réaliser des recherches cette fois dans la prise en compte de la *sécurité* dans l'histoire des techniques. Plus particulièrement, Cyrille Foasso a pris l'exemple de l'énergie nucléaire et de la démarche de Franck Reginald Farmer [18].

Dans sa thèse de doctorat, C. Foasso [19] décrit l'histoire de la *sûreté* de l'énergie nucléaire civile en France (1945 – 2000) comme une histoire multiple, histoire technique des techniques, histoire d'organisations scientifiques, industrielles, administratives, histoire sociale, histoire

internationale et comparative enfin, car l'histoire de l'énergie atomique se déroule très tôt dans un cadre qui dépasse les frontières nationales.

Le premier ingénieur à avoir ouvert la voie post-moderne, au sens de U. Beck [20], de l'acceptabilité des technologies à risques pour la société est F. R Farmer en 1967. Lors du 2^{ème} Congrès de l'AIEA, il a fait plus que proposer une nouvelle méthode d'évaluation de la sûreté d'un réacteur nucléaire civil. Il a restructuré le modèle général du processus de décision stratégique d'implantation de centrales pour les dix années qui devaient suivre. A ce jour, il est finalement toujours d'actualité dans son principe.

Auparavant les concepteurs étaient placés sous la contingence du concept d'accident maximum possible. F.R. Farmer a proposé une ingénierie de façon à placer les concepteurs de centrales dans une logique de performance avec des objectifs fixés en termes de risques par les évaluateurs (les autorités de contrôle). La performance du système technique (bon fonctionnement, durabilité) embarque alors des exigences du système socio-technique exprimées en termes de risque acceptable pour la population environnant une installation nucléaire civile. Cela se traduit pour la Sdf à concevoir l'installation sous la contrainte de limite supérieure de probabilité d'occurrence des événements redoutés et notamment celui de la fusion du cœur. Aujourd'hui cette limite est fixée pour un réacteur pressurisé européen (EPR) à 10^{-6} par réacteur/an pour la probabilité de l'évènement redouté : fusion du cœur. À notre connaissance, seules les industries nucléaires civile et aéronautique ont ce niveau d'exigence en impliquant par nature l'ensemble de leur filière. À titre de comparaison, aujourd'hui, en France, l'enquête permanente sur les Accidents de la Vie Courante (AcVC) nous renseigne sur le fait que la probabilité de décéder d'un AcVC (lors d'une présence à domicile ou d'activité à l'extérieur – sport, vacances, magasins,...) est de $3,1 \times 10^{-4}$. Le risque d'un AcVC est par conséquent plus de 300 fois supérieur au risque nucléaire civil. Émile Borel faisait remarquer [21] qu'un humain qui s'imposerait de tenir compte, pour agir au quotidien, d'un niveau de probabilité de 10^{-6} deviendrait très probablement fou.

F. R. Farmer évalue l'accroissement du risque de cancer de la thyroïde dû à l'implantation d'une centrale à 5 à 10 cas potentiels par 10^3 années-réacteur soit 0,01 cas par an (par réacteur). Sur la population considérée lors du cas d'étude, sans la centrale, les données d'une étude statistique pour le développement d'un cancer de la thyroïde donnent 72 cas par an. Le risque est jugé acceptable par la « société civile » car l'accroissement du risque dû à l'implantation de la centrale, n'augmente que de façon très marginale (+0,014%), le nombre de cancer de la thyroïde sans la centrale comparée à l'opportunité de tirer profit des avantages que cette filière énergétique du nucléaire civil promet de réaliser. Cela nécessite d'assurer une « *sûreté de fonctionnement* » du réacteur. Charge aux « concepteurs » d'en apporter la preuve, dès la conception, aux « évaluateurs » (les autorités de contrôle). Ce travail qui consiste à maintenir chaque conséquence de chaque risque à un niveau acceptable est appelé la maîtrise des risques.

Il faut attirer l'attention ici sur un point précis. Une tradition, notamment dans l'industrie, consiste à évaluer un risque à partir de deux composantes : une probabilité d'occurrence p et une conséquence c . Par exemple, avec une perspective risquée à horizon un an, notée « -10 000,0 », qui

est jugée acceptable (les probabilités que les pertes -10 000 et 0 soient les résultats de l'expérience aléatoire menée sont respectivement de 0,1 et 0,9) : la maîtrise des risques ne consiste pas à garantir que le risque ne dépassera pas -10 000 x 0,1 soit -1 000 dans l'année qui vient mais à le « maîtriser » de telle sorte que, s'il arrive demain matin, sa conséquence ne soit pas plus importante que -10 000.

Un article a fait le point dans le détail du processus de cette articulation cohérente entre sûreté de fonctionnement et maîtrise des risques pour un système qui n'était plus que « technique » mais « socio-technique » [22].

Le fonctionnement sûr de l'installation « et » le risque de dommages aux populations locales à l'extérieur de l'installation étaient intégrés dès la conception. Pour maintenir le risque à un niveau acceptable en fonction des différentes conséquences possibles en termes de rejet radioactifs, cette approche se traduit dans les faits par la spécification d'un **critère de sûreté pour le nucléaire civil, non-linéaire en probabilité** (c.-à-d. que le rapport entre l'accroissement des conséquences et l'accroissement des probabilité n'est pas constant).

Avec ces précisions, les auteurs espèrent ainsi faire mieux comprendre cette ingénierie gestionnaire des risques compte tenu du degré d'acceptabilité des risques et ce, sur l'ensemble du spectre des événements redoutés avec pour chacun d'eux :

- une limite supérieure de probabilité d'occurrence à garantir par la SdF ;
- une limite supérieure acceptable de conséquence à garantir par la MdRI.

Nous comprenons mieux pourquoi ces métiers ont historiquement et par la nature des risques qu'ils doivent gérer pour qu'ils soient socialement acceptables, une vision du risque dont les conséquences sont toujours négatives puisqu'il s'agit essentiellement de risque de dommages ou de responsabilité. André Lannoy a réalisé en 2013 un panorama des méthodes existantes pour déterminer le risque acceptable [23].

3) La maîtrise des risques des systèmes socio-techniques

Si à l'époque de F.R. Farmer le risque étudié était celui du risque de dommage à la personne (cancer de la thyroïde), aujourd'hui le nombre de risques à prendre en compte s'est considérablement développé (du point de vue de la **sécurité** et de la **sûreté** des systèmes socio-techniques).

De plus, si dans les années 70-80 la prise en compte des risques dans l'industrie reste une affaire d'experts, d'ingénieurs ou de chercheurs, les catastrophes naturelles et industrielles majeures ont fait réfléchir les décideurs, les ingénieurs, les politiques, et ont abouti à des actions pour combattre les effets du risque [13]. C'est la même démarche conjointe effectuée par les Cindyniques. Ce **retour d'expérience** (REX ou RETEX) depuis le grand incendie de Londres en 1666, et plus récemment depuis les accidents de Three Miles Island en 1979 aux Etats-Unis et de la navette américaine Challenger en 1986 a permis d'enrichir les **facteurs de risque** dans les analyses de risque.

Les risques d'incidents et d'accidents sont systématiquement traqués par anticipation. Le rapport Rasmussen [24] (Wash 1400) introduit pour la première fois le concept d'une « analyse de risque » globale pour une installation associée avec des arbres de défaillance (pour les

causes) et des arbres d'événements (pour les conséquences). C'est la première analyse globale de sûreté nucléaire qui va bien au-delà de l'approche de F. R Farmer.

En France, A. Lannoy est un précurseur de l'introduction en France du concept d'analyse de risque, l'année après sa thèse de doctorat sur le sujet, un livre plus complet est publié [25].

En ce qui concerne les nouveaux facteurs, A.D Swain et H.E Guttman [26] introduisent le concept de la fiabilité humaine qui inaugurerait les travaux sur le *facteur humain*. Quant aux *facteurs organisationnels* c'est le REX sur l'accident de Challenger avec la Commission Rogers qui a fait émerger ce concept. La Commission a en effet conclu que c'est la culture d'entreprise et les processus de décision de la *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) qui a conduit à l'accident.

En France, depuis l'adoption de la directive Européenne SEVESO adoptée en 1982, qui a depuis été révisée deux fois et qui fait partie du Code de l'environnement au même titre que les autres Installations classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE), et la loi « risques » de 2003 relative à la prévention des risques technologiques et naturels, ces derniers sont gérés d'une façon intégrée à l'échelle des territoires. La SdF s'est généralisée aux industries concernées.

Dans une approche conjointe et inséparable, la SdF et la MdRI, ont proposé une démarche structurée pour les systèmes techniques et socio-techniques dits « à risque », associant, depuis près de 80 ans maintenant :

- une production de connaissances sur des bases scientifiques dont les Congrès Lambda Mu sont un des vecteurs de valorisation et de dissémination ;
- des formations initiales et continues ;
- une approche pragmatique de la résolution des problèmes complexes issue de l'expérience ;
- un respect des réglementations en vigueur.

Les points clés sont : le retour d'expérience, l'établissement du contexte, l'identification des risques, les méthodes d'analyses de systèmes, l'évaluation des conséquences, les facteurs humains et organisationnels, la maîtrise des risques (le traitement des risques, risque par risque, avec les exigences d'acceptabilité telles que définies plus haut).

La gestion du risque étant ici entendu comme « le processus d'intégration des résultats avec des considérations techniques, sociales auxquelles s'ajoute les aspects économiques, environnementaux et politiques afin de parvenir à une décision » [27].

C'est précisément aussi parce que nous ne pouvons pas maîtriser tous les risques pris individuellement, que nous devons « aussi » les gérer globalement ce qui est davantage le rôle du management intégré des risques et de l'ERM.

4) Disciplines scientifiques et normalisation de la SdF et de la MdRI

a) Les disciplines scientifiques de la SdF et de la MdRI

Parmi les disciplines scientifiques qui associent décision, conception et recherche en sciences de gestion, la SdF et la MdRI ont initialement utilisé les méthodes d'optimisation de la recherche opérationnelle (RO) [28] et de l'ingénierie

système [29]. Puis, avec les travaux de H. A. Simon sur le modèle canonique pour la résolution de problèmes complexes (intelligence, conception, choix, évaluation, bilan) repris par J.L. Le Moigne [10], les travaux francophones initiaux de Bernard Roy ont permis de distinguer l'optimisation d'un modèle (formel) avec l'optimisation de la réalité [30]. B. Roy est le créateur du laboratoire d'analyse et de modélisation des systèmes pour l'aide à la décision (Lamsade) de l'Université Paris-Dauphine. La RO pour la gestion de production, les modèles aléatoires et l'aide multicritères à la décision se sont alors développés dès les années 70 [31].

Plus récemment, pour maîtriser les systèmes industriels, l'architecture des systèmes « artificiels » [32], permet d'intégrer l'ingénierie système dans les référentiels d'architecture avec différents outils de modélisation (BPMN, UML, SysML,...) et d'être au service de la maîtrise « business » des grands systèmes industriels « c.-à-d. pour être capable de les concevoir, de les fabriquer et de les mettre en œuvre sous contraintes de qualité, de coût, de temps et de performance (QCDP) » lorsque l'on se trouve au sein d'environnements complexes [33].

Le lecteur intéressé pourra trouver dans l'ouvrage d'André Lannoy [13] publié en 2008 les repères historiques et méthodologiques pour la SdF et la MdRI au-delà de ce que nous avons pu exprimer ici bien brièvement.

b) La normalisation de la SdF et de la MdRI

Dans ce domaine les normes américaines MIL-STD ont constitué une base importante de normes pour l'ingénierie système et qui s'est transformé peu à peu en normes pour gérer des projets considérés comme des systèmes pour réaliser des produits considérés comme des systèmes techniques ou socio-techniques.

Le Comité Technique 56 (TC 56) de la Commission Électrotechnique Internationale, « *dependability* », coordonne les travaux de normalisation de la discipline. Sur ce qu'est la gestion de la sûreté de fonctionnement, l'IEC précise « *dependability management coordinates reliability, maintainability, supportability, availability and other related aspects such as performance, risk and cost to realize more value for the products and services to which it is applied* » [33]. En France, l'Association Française de Normalisation distribue ces normes, dont 11, avec la nomenclature NF EN IEC 60 300-XX, concerne la gestion de la sûreté de fonctionnement [35]. Le terme « *dependability* » a été traduit par « sûreté de fonctionnement ». Il n'est pas pris en considération les spécifications de sécurité, de sûreté et environnementales même si des documents précise que la majorité des recommandations puisse s'appliquer.

En effet, du point de vue de la normalisation de la sécurité industrielle (*industrial safety*) et de la sûreté industrielle (*industrial security*), comme nous l'avons développé, sont davantage des critères pour analyser des systèmes socio-techniques et par conséquent, du domaine de la MdRI et, sur un plan normatif, ce sont différents TC de l'IEC qui s'occupent de ces aspects selon les domaines d'activités ou les technologies.

Avec une approche système, pour conclure ce paragraphe à propos de la SdF et de la MdRI, si la SdF adresse les risques des systèmes techniques, la MdRI adresse ceux des systèmes sociotechniques.

Sur un plan normatif nous pouvons regretter ce cloisonnement.

Le management intégré des risques adresse quant à lui les risques des systèmes socio-économiques.

C. Le management intégré des risques

« Au cœur de la gestion d'une entreprise se trouve sa gouvernance, en d'autres termes ceux qui exercent le contrôle sur l'entreprise et prennent ainsi des décisions majeures (ressources humaines, R&D et choix stratégiques, fusion-acquisition, tarification et marketing, gestion des risques, affaires réglementaires, etc ... » [36]. Cette assertion est de Jean Tirole, économiste français, ingénieur général des ponts et des eaux et forêt et prix de la banque de Suède en économie en 2014.

Toutefois la gouvernance d'entreprise (*corporate governance*) rentre aussi dans un cadre fixé par L'État qui définit les règles du jeu et responsabilise les acteurs qui peuvent (et même doivent !) rechercher leur intérêt propre. L'entreprise responsabilisée quant à l'impact de ses choix peut se concentrer sur l'efficacité de sa production tout en contribuant au respect des limites que la société souhaite s'imposer par la réglementation. Parmi ces règles figure l'obligation de publier un reporting financier (bilan, compte de résultat, annexes) avec l'ajout récent d'une information plus fournie sur la stratégie et les facteurs de risque dont leurs impacts sur la valeur (le Document d'enregistrement Universel - URD). Un second reporting extra-financier (ESG ou RSE) cette fois est un document servant à communiquer sur les implications sociales, environnementales, sociétales de ses activités ainsi que sur son mode de gouvernance. Le premier document sert à évaluer sa performance financière et le second sa performance extra-financière.

À ce jour, il n'existe pas de métier à proprement parler pour réconciliation et piloter ces deux performances. Néanmoins, c'est souvent sous la responsabilité de la Direction financière que les documents d'ensemble sont publiés. L'approche du management des risques de l'entreprise est couvert par l'ERM en associant au sein d'un dispositif d'ensemble le management des risques et le contrôle interne. Les personnes en charge de la Responsabilité Sociétale des Entreprises (RSE) traitent quant à elles des aspects liés à la performance extra-financière. Nous ne développerons pas ici ces disciplines cependant nous pouvons évoquer en substance que le mouvement de l'ERM (*Enterprise Risk Management*) est un mouvement apparu à la fin du XX^{ème} siècle pour donner suite à deux pressions auxquelles sont soumises les entreprises. La première se réfère au management stratégique de l'entreprise et notamment au maintien et au renforcement de son avantage compétitif. La seconde, se rapporte à la gouvernance d'entreprise (*corporate governance*). Le management des menaces et opportunités des organisations dans des limites acceptables est l'essence du management du risque. Ainsi, dans un contexte d'incertitude, déterminer un degré d'incertitude acceptable afin d'optimiser la création de valeur est l'objectif considéré comme le postulat de base dans le concept de management des risques [37].

Si la question de l'ERM concerne la gouvernance d'entreprise avec la direction et les actionnaires où les administrateurs selon les formes juridiques, la question qui se pose alors pour les dirigeants est de savoir quel mode de gouvernance l'entreprise va choisir comme modèle relais pour

réaliser les objectifs de la gestion des risques qui sont pour l'Autorité des Marchés Financiers (AMF) [38] :

- créer et préserver la valeur, les actifs et la réputation de la société ;
- sécuriser la prise de décision et les processus de la société pour favoriser l'atteinte des objectifs ;
- favoriser la cohérence des actions avec les valeurs de la société ;
- mobiliser les collaborateurs de la société autour d'une vision commune des principaux risques.

À ce jour, force est de constater que le principal modèle relais pour la gouvernance interne de l'entreprise est réalisé par le management de la qualité. Le référentiel des normes de l'ISO ayant étendu son vocable aux risques cela a paru adapté or les principes du management de la qualité et ceux du management des risques sont différents.

Ainsi, du point de vue du management des risques, si la qualité gère le risque de non-conformité dans les processus, l'ingénierie (gère la sûreté de fonctionnement, le risque sécurité et le risque sûreté) et le management (gère la performance d'ensemble du système à réaliser ainsi que le budget et les délais de réalisation du projet).

Or, un projet de recherche, Germa [39] qui portait sur la gestion et la maîtrise des risques associés au management des projets complexes, a permis de constater que l'information sur les risques pour le management était très majoritairement transcrite sous la forme de matrices conséquences-probabilités ou matrices de risques. Ces matrices identifiées comme des métriques de niveau 1 (langage parlé) et 2 (langage parlé + règles logiques) par Germa ne permettent pas d'apporter une aide à la décision robuste en situation d'incertitude. De nombreuses publications l'ont démontré. Nous pouvons en citer deux. La première publiée lors du Congrès Lambda Mu 20 [40] démontre qu'avec cet outil il n'est pas possible de déterminer des niveaux de risques et des catégories de risques or, ce sont les deux objectifs de la méthode. La seconde [41] conclut sur le fait que, même si un décideur est adverse au risque, il vaut mieux prendre des décisions totalement aléatoires pour avoir une chance de réaliser les objectifs que de se baser sur les matrices de risques comme outil d'aide à la décision. Germa encourageait l'utilisation de métrique de niveau 3 (échelle d'intervalle utilisées en aide à la décision multicritères) et 4 (mesure de distance comme celles utilisées dans la finance ou l'assurance et possiblement indépendamment du fait de disposer de profondes bases de données statistiques).

Dès lors, le management de la qualité n'apporte pas une aide à la décision en présence d'incertitude sur des bases très solides. Dans les sept principes qui viennent en appui des concepts fondamentaux (NF EN ISO 9000 :2015) figure celui qui nous concerne : prise de décision fondée sur des preuves. Difficile d'admettre que les métriques discutées précédemment puisse apporter une quelconque preuve ni même une assurance d'ailleurs.

On constate d'ailleurs historiquement que c'est parce qu'il peut exister des situations à risque que des dispositifs qualité ont été mis en place et non l'inverse. Par exemple, Georges Akerlof, prix de la Banque de Suède en 2001, avait démontré dans un article célèbre [42] "*le marché des voitures d'occasion : incertitude sur la qualité et mécanisme de*

marché" les problèmes que pouvait poser des asymétries d'information entre des agents économiques (un acheteur et un vendeur de voiture ou une maîtrise d'ouvrage et un réalisateur par exemple). C'est le cas de la sélection adverse lorsque, en l'absence de marqueur de qualité, les prix peuvent baisser voir des marchés disparaître. Pour les véhicules d'occasion, les garanties apportées par les constructeurs ou le contrôle technique rentrent dans ce type de marqueur de qualité.

D'ailleurs n'est-il pas paradoxal que « la Qualité » fasse appel à une discipline comme le management des risques qui est destinée à optimiser la prise de décision en situation d'incertitude pour des problématiques de management de la qualité dont les conséquences doivent être très proche de la certitude, comme la gestion des anomalies ou des défauts par exemple.

Fin des années 90 et début 2000 un modèle relais à la gouvernance d'entreprise avait été proposé **Le management intégré des risques** (MiR) ou management global des risques.

Le MiR est la coordination, sur l'ensemble du périmètre de management déterminé, d'une part, des auteurs de décisions entre eux et, d'autre part, de ceux-ci avec les objectifs, ce qui implique que tout auteur de décision :

- ait pleinement connaissance des conséquences de chacune de ses alternatives probabilisées et de leurs contributions au risque global de l'entreprise,
- ait la possibilité de hiérarchiser les résultats probables par rapport aux objectifs généraux et les préférences en matière de risque de l'entreprise,

de manière à prendre ses décisions compte tenu desdits objectifs [43]. On intègre le management du risque au management sinon on multiplie les ressources pour un avantage moindre.

Un risque est vu comme un événement qui peut ou non survenir (un événement aléatoire) et dont les conséquences, s'il se produit, auront un impact probable sur ce à quoi l'entreprise accorde de la valeur. Du point de vue de sa gestion cette fois, un risque sera considéré comme un écart probable par rapport aux niveaux de performance attendus souvent fixés sous forme d'objectifs ou d'exigences (technique, économique, financière, environnementale...).

Il n'y a pas ici de débat que les normes du management de la qualité ont compliqué à souhait entre risque positif versus risque négatif, de séparation du traitement des risques avec ceux avec des conséquences positives d'une part et ceux avec des conséquence négatives d'autres part. Le MiR gère selon les décisions à prendre avec des distributions de gains, de pertes ou les deux réunies compte tenu des perspectives et des préférences d'un ou de plusieurs décideurs.

Un décideur est ici pris dans un sens très large et peut concerner l'ensemble des collaborateurs et collaboratrices d'une entreprise. La gouvernance d'entreprise, fixe et communique les objectifs, les critères sur lesquels elle souhaite fonder les décisions. Dans une logique d'apprentissage du risque et de diffusion d'une culture du risque, les risques sont identifiés par les décideurs (les managers et leurs équipes) en fonction de leurs attentes. Il est largement préférable que les gestionnaires de risque ou les consultants n'arrivent pas avec leur « valise de risques ».

Pionnier du management des risques en France, c'est le professeur Bertrand Munier, dans le cadre d'une Unité Mixte de Recherche (UMR) du CNRS, le Groupe de Recherche sur l'information et la décision (GRID), qui a organisé les premiers transferts à l'industrie. Les approches initiales étaient essentiellement anglo-saxonnes. Le Master recherche Sciences de la décision et Management des risques a été créé en 1990 et le Mastère Spécialisé Management global des risques en 2000. Au carrefour des sciences de gestion et des sciences de l'ingénieur, ce sont les premières formations en France dans le domaine, à notre connaissance, pour les sociétés non-financières et notamment industrielles. Elles existent toujours.

Nous pouvons distinguer deux types d'aides à la décision issues des travaux initiaux et des développements ultérieurs. Une aide pour des décisions ponctuelles compte tenu de ce qui précède et une autre qui rentre dans le cadre de la gestion des risques et de la valeur dans le cadre d'une démarche de management des risques de l'entreprise (ERM).

1) Aide à la décision et expertise par la gestion des risques

C'est un innovateur au milieu de l'histoire des probabilités, précurseur de l'économie du risque, que Daniel Bernouilli en 1736, associe pour la première fois, théorie des probabilités et *choix économiques risqués* tels qu'ils sont *estimés par chacun*. L'espérance mathématique du risque (sa moyenne ou sa criticité – que l'on retrouve comme mesure du risque dans les matrices de risques) n'est pas descriptive de la valeur qu'accorde un individu pour des choix risqués réels. Plus généralement, un choix individuel en présence de risque ne dépend pas de d'un système de prix.

Ici, la valeur n'est pas uniquement exprimée en unité monétaire. Tout dépend du problème décisionnel posé. Si l'approche système ne raisonne qu'en termes d'interaction, l'approche décisionnelle du management intégré des risques raisonne principalement en termes d'arbitrage entre valeur et risque.

Étudié depuis par des philosophes, des mathématiciens, des économistes, des statisticiens et plus récemment pas des psychologues, la théorie du risque ou théorie des perspectives (*Prospect Theory*) propose des heuristiques et modèles (normatifs, descriptifs et prescriptifs) pour le(s) décideur(s) en fonction des « risques » par abus de langage et plus précisément en fonction des typologies d'incertitude auxquelles ils sont confrontés (certain, risque, ambiguïté, incertitude, incertitude radicale, précaution, défaut épistémique de connaissances). Au cœur de cette réflexion se pose la question des « préférences » en matière de risque du ou des décideurs et par conséquent de leurs comportements anticipés.

Pour P. Slovic, « l'expression de préférence au moyen de choix et de la prise de décision est l'essence d'un comportement intelligent et déterminé [44]. L'autre point majeur est que une fois l'estimation du risque est réalisée (probabilité(s)-conséquence(s)), l'évaluation du risque portent sur un arbitrage « risque-valeur ». Deux ouvrages majeurs ont réalisé des états de l'art exhaustifs dans le domaine : celui de Peter Wakker (*Prospect Theory*) [45]. et celui édité par D. Kahnemann et Amos Tversky (*Choices, Values, and Frames*) [46]. Le constat doit être fait qu'à l'heure actuelle le transfert de la recherche à la formation initiale se limite à quelques initiatives (Toulouse Business School, HEC pour la partie

école de commerce et de management et l'ESTP et l'ENSAM pour les écoles d'ingénieurs) et à des niveaux d'étude élevés (M2, Mastère, thèse de doctorat).

Suite à ces travaux de recherche une attitude vis-à-vis du risque (risque, ambiguïté, incertitude) tient compte de trois dimensions : l'aversion au risque, un point de référence (qui peut être un objectif) et l'aversion aux pertes.

Avec une approche différente de celle de RO mais complémentaire, dans les années 70 se développe des techniques de décision à objectifs multiples, toujours sur la base des préférences d'un décideur et des questions d'arbitrage de valeur entre projets ou type de configuration de système technique (pour une maîtrise d'ouvrage – MOA – par exemple). R.L. Keeney and H. Raiffa ont beaucoup contribué aux apports [47]. On précise que les préférences, si possible, sont déterminées « avant » la conception car ces dernières constituent en fait une fonction objectif multi-attributs (les points de vue importants à retenir pour la prise de décision) et multicritères (une préférence exprimée sur les différentes valeurs des attributs) et permet d'optimiser la conception. Le principe est le même que celui développé précédemment avec F. R. Farmer mais il est étendu du cas discret aux cas continus. Chaque critère est défini sur une échelle d'intervalle (métrique de niveau 3 observée par Germa). On trouve des cas d'application pour des questions techniques mais aussi d'environnement (pollution de l'air, gestion de la biodiversité animale dans une forêt, des questions énergétiques, de transport de matières dangereuses, de qualité de l'eau,). Là encore la question n'est pas de faire une somme pondérée entre les critères mais de tenir compte des interactions entre les critères (celles qui contribuent à maximiser la « valeur » et celles qui n'y contribuent pas). L'objectif de la démarche est d'optimiser une prise de risque et possiblement en saisissant des opportunités.

L'intérêt de la démarche vaut pour toute décision multi attributs et multi-critères, en ce sens les méthodologies sont pertinentes pour l'évaluation de la performance extra-financière qui est toujours délicate puisqu'elle doit conjuguer des dimensions d'analyses et des grandeurs différentes. C'est le cas notamment aussi pour des choix environnementaux. Vu que l'environnement naturel ne coûte rien à personne, seul le coût d'extraction et de transformation des ressources naturelles à une valeur (économique cette fois) que l'on va retrouver dans toute la chaîne de valeur jusqu'au consommateur, ces méthodes permettent d'attribuer une « valeur » et pas forcément en unité monétaire. C'est aussi le cas pour des problématiques sociétales ou pour une conjugaison d'aspects économiques, sociétaux, environnementaux et de gouvernance).

L'environnement naturel n'a ni valeur économique, ni prix, il n'a de valeur que celle que les décideurs veulent bien leur accorder. Dans le cas d'une décision multicritères (coût, performance technique, délais de mise à disposition, impact environnemental par exemple) ce dernier critère sera évalué au regard des autres critères et ce, de façon interactive. Nous avons les mêmes difficultés avec les critères de sécurité et de sûreté par exemple. Dire que, c'est parce que la sécurité n'a pas de prix qu'elle a un coût, n'a aucun sens pratique ni théorique d'ailleurs car D. Bernouilli l'a résolu en 1738 (du point de vue d'une décision qui comporte une dimension aléatoire et qui nécessite d'engager des ressources pour obtenir des résultats conforme aux objectifs s'entend).

L'ouvrage de M. Merad donne des exemples de décisions multicritères en situation d'ambiguïté (les conséquences et par conséquent les probabilités ne sont pas précises) [46]. Pour des décisions de groupe, H. Raiffa avait aussi développé des outils, l'analyse de la négociation [48].

Compte tenu de différents paradoxes relevés dans les sciences de la décision une nouvelle mesure est apparue, l'intégrale de Choquet qui est une intégrale non-additive pour tenir compte justement des interactions entre attributs et critères. Elle est utilisée pour évaluer des décisions de risque, d'ambiguïté ou d'incertitude sur la base d'alternatives monocritère mais aussi maintenant multicritères avec différentes méthodes pour obtenir les préférences en matière de risque d'un décideur.

L'approche classique d'une décision multicritère consiste à obtenir une somme pondérée entre les poids des critères égale à 1 ou 100%. C'est très fréquent dans les appels d'offres comme représentation des préférences d'une maîtrise d'ouvrage.

Approche linéaire de base

Par exemple avec 4 critères et 4 coefficients nous avons :

$$\alpha C_1 + \beta C_2 + \gamma C_3 + \delta C_4 \quad (1)$$

$$slc: \alpha + \beta + \gamma + \delta = 1$$

Approche alternative non linéaire, non additive et systémique

La Figure 1. ci-dessous représente ce jeu d'interaction entre critères que l'on peut capter lors d'un entretien avec un décideur avec une approche non-linéaire et systémique afin de prendre des décisions complexes.

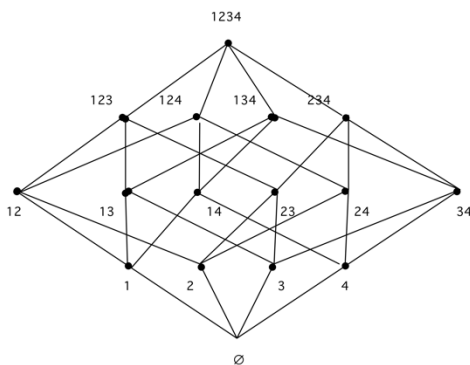


Fig. 1. Interactions entre critères avec un modèle non-linéaire et non-additif

En réalité il y a $2^n - 2$ mesures à réaliser avant de parvenir à la mesure d'ensemble. Ici 1, 2, 3 et 4, représente 4 attributs et peuvent être remplacés par :

- performance technique, coût, délai de mise à disposition, impact environnemental ;
- ou disponibilité, fiabilité, sécurité, sûreté ;
- ou environnement, sociétal, éthique, gouvernance.

La mesure de l'ensemble nous donnera la note de l'ensemble. De plus, il n'est pas nécessaire que les critères soient de mêmes dimensions ni de même grandeur.

L'avantage, une fois que nous avons la fonction, chaque nouveau cas peut être évalué objectivement et une nouvelle note sera établie. C'est sur ces bases, par exemple, que l'on

peut construire une fonction de valeur-risque d'entreprise. Considérons que différents niveaux de résultats net ou d'Ebitda (*Earnings Before Interest & Taxes*) sont des critères de décisions. Si l'entreprise souhaite marquer une préférence pour les pertes faibles (avoir un résultat net de -10% n'est pas préféré à un résultat net de +2%) alors il faut le dire et implémenter la fonction en ce sens. Les matrices probabilités-impacts n'implémentent aucunes préférences en matière de pertes faibles, bien au contraire. En modélisant les risques ET en mesurant les risques par la criticité ($Criticité = p \times c$) ET en évaluant les risques par la criticité pour ensuite allouer des ressources pour le traitement des risques, la criticité devient une règle de décision. Dans ce cadre, les dirigeants disent explicitement : « nous acceptons une variance infinie des risques » et/ou « nous acceptons un nombre de risques pour l'entreprise dans une quantité infinie ».

En apportant une aide à la décision aux managers et à leurs équipes, une direction générale pourrait apporter l'assurance à un Conseil d'administration que la même personne confrontée deux fois à la même décision prendra la même décision. On pourra aussi garantir que deux personnes sur deux continents différents, confrontés à la même décision, prendront la même décision. David M. Kreps qualifiait la culture d'entreprise comme la façon dont les acteurs réagissent spontanément face à une contingence imprévue. La décision multi-attribut et multicritère, qui est par nature une décision complexe, contribue à son niveau, à la culture d'entreprise – les attributs étant assimilé ici à ceux sur lesquels l'entreprise accorde de la valeur et les critères au seuil à respecter. Les types de comportement attendus peuvent se retrouver se retrouvent souvent dans une Charte Éthique.

2) Aide à la coordination d'ensemble par la gestion des risques

En préambule on souhaite attirer l'attention sur le fait que lorsque le management global (ou intégré) a été conçu, le principe était qu'il n'était plus la peine, dès lors qu'il était mis en œuvre de juxtaposer management et management des risques. Cela n'a aucun sens. Le mot clé dans management du risque c'est management. Le défi global a donc consisté à utiliser un modèle de résolution de problème complexe pour résoudre le problème d'un seul management qui devait intégrer le risque. Un article résumait le défi [50] pour obtenir ce modèle relais de la gouvernance d'entreprise et pour lequel nous relevons les points clés.

Un périmètre de risques élargi, au-delà des seuls risques assurables comprenant les risques technologiques, industriels, terroristes, financiers, ..., car ce sont des risques de nature différente. Ce constat a nécessité de nouveaux instruments du management des risques qui font appel à des informations et à des anticipations sur l'avenir davantage qu'à des observations passées. Selon le degré de précision des probabilités et des conséquences, différentes stratégies d'actions sont proposées en fonction des différents types d'incertitudes (risque, ambiguïté, incertitude, incertitude radicale) que le(s) décideur(s) peuvent rencontrer. Utiliser le terme « risque » pour désigner ces différents environnements de décision ou *typologies d'incertitude* est un abus de langage des auteurs mais nous le garderons pour la suite sauf précision.

La nature décisionnelle profonde du management des risques est soulignée. Cette dernière garde une vision financière et assurantielle mais demande à intégrer les couplages techniques et sociaux avec les mécanismes d'incertitude dans les organisations. Des anticipations sur un

plus long terme porte sur des aspects de *sécurité* et de *sûreté industrielle* mais aussi sur des développements de marchés et les évolutions technologiques qui peuvent modifier ce qui précède et engendrer de nouveaux risques.

Par rapport à notre discussion ci-dessus, la sûreté de fonctionnement et la maîtrise des risques industriels peuvent être vues, dans une optique de management intégré des risques, comme des ressources de traitement du risque industriel. C'est à ce stade, cette fois, que nous pouvons associer les normes volontaires (qualité, santé et sécurité au travail, environnement, ...) compte tenu des standards de comportements attendus.

Sur la base du modèle de Simon que nous avons abordé précédemment, mais avec une approche différente de la RO, le processus de MiR s'applique à toutes les phases d'un projet ou des rapports trimestriels (QBR) si on travaille à l'échelle de l'entreprise. À chaque phase on développe un cycle composé de différentes étapes et de tâches pour chacune d'entre elles.

Sans rentrer dans le détail des tâches, un cycle couvre les étapes suivantes :

- le Bilan des Expériences passées ;
- l'Anticipation ou l'intelligence (au sens militaire du terme - identifier dans l'environnement les circonstances qui peuvent entraîner des écarts par rapport aux attentes et donc des décisions). Historiquement, l'hyperespace du danger des Cindyniques est un des outils de cette étape. Outil de l'analyse stratégique des entreprises une analyse SWOT (forces, faiblesses, opportunités et menaces) est utilisé à ce niveau stratégique. Il découle de cette étape la formalisation de la fonction de valeur-risque qui va, compte tenu de la stratégie décidée, mettre en adéquation la capacité subjective des décideurs à prendre des risques pour conduire la stratégie avec la capacité objective de la société à les supporter, et d'une ou plusieurs fonctions de performance selon les activités et l'identification des risques ;
- la Modélisation et l'Évaluation **des risques** (pris individuellement) et **du risque global** (pour pouvoir l'évaluer globalement et allouer des ressources). La modélisation initiale va consister au-delà des aspects quantitatifs à « **architecturer le risque** » d'entreprise de façon à l'interconnecter à l'organisation. Il s'agit de pouvoir en avoir une vision d'ensemble sous la forme de portefeuilles agrégés et d'être capable de le restituer pour une gestion des risques efficace à chaque échelle de la hiérarchie, des propriétaires de risques, des activités, des filiales. Après l'estimation, suit les analyses de risque (déterministe et stochastique multi-scénarios). Pour l'évaluation, les profils de risque des sous-projets, projets, portefeuille de projet (qui tiennent compte des valeurs extrêmes) sont rapportés au profil valeur risque de l'entreprise. L'ERM utilise le concept d'appétit pour le risque. La prise en compte des scénarios s'effectue brut (sans traitement et net (avec traitement) ;
- la Sélection (le traitement des risques – risque par risque – avec plusieurs types de décisions possibles. Pour la partie des systèmes techniques et sociotechniques des projets ou de l'entreprise, comme évoqué, elle est assurée par la SdF et la MdRI. Sans aucune ambiguïté, c'est à cette étape que l'on va pouvoir ajuster la prise de risque pour poursuivre les opportunités stratégiques initialement identifiées. La première optimisation locale de la prise de risque consiste à rendre tous

les risques pris individuellement acceptables, de bien identifier le risque résiduel (compte tenu des limites de tolérance aux risques) et que le niveau de probabilité pour réaliser les objectifs sur les différents critères convient aux décideurs compte tenu du risque global. La seconde optimisation de la prise de risque consiste à faire confondre dans la mesure du possible les différents profils de risque avec la fonction de valeur-risque de l'entreprise. C'est au cours de ces deux optimisations que l'on décide des meilleures opportunités qui vont venir fiabiliser la réalisation des objectifs.

- et enfin le Bilan - Financement (qui tient compte de la part retenue et celle transférée dont le risque de contrepartie associé à ce transfert).

Ce sont les étapes de modélisation globale du risque et d'évaluation quantitative globale du risque pour allouer des ressources (humaines, financières, techniques,...) et de financement qui sont SOUVENT oubliées et donc non mises en œuvre. Précisons que **financer le risque d'entreprise revient ici à financer les risques de la stratégie de l'entreprise**. Ajoutons qu'il ne faut pas confondre des dépenses réalisées pour le traitement des risques avec le financement du risque d'entreprise. Ce financement est un financement monétaire qui s'ajoute à celui des investissements et du besoin en fonds de roulement. Sans financement structuré du risque sur le temps long la première des conséquences est la volatilité du résultat net comptable. Nous en avons discuté lors du Lambda Mu 22 [51].

In fine, reste la mise en œuvre de la gouvernance interne et externe à l'entreprise. Sur ce point, à l'interne, le plus délicat reste la coordination du processus de décision entre les décideurs aux niveaux fonctionnels entre eux ainsi qu'entre les niveaux fonctionnels et opérationnels souvent décentralisés qui sont de culture et de formations diverses pour parvenir à une culture commune du risque. Cette coordination s'opère sur le cycle et aux étapes que nous venons d'évoquer.

Sur le plan de la gouvernance externe compte tenu des limites de la réglementation classique, de nouvelles approches sont proposées, issues de la recherche dans ce domaine précis du management des risques.

À la suite du projet Germa des professionnels nous ont demandé d'outiller ce dispositif. Cela a été réalisé depuis par l'intermédiaire de plusieurs projets de R&D et de travaux conduits à l'ESTP au sein de la plateforme technologique Architecture du Risque et Management des Décisions.

Une plate-forme digitale dans laquelle tous les propriétaires de risque de l'entreprise sont considérés comme des interfaces du système complexe : l'entreprise industrielle avec un projet d'entreprise au sein d'un environnement actif, qui transforme ses activités et ses métiers dans le cadre de limite de tolérance par catégorie de risque. Compte tenu d'exigences de rentabilité et de solvabilité, le pilotage des performances financière, extra financière et globale est réalisé en « temps réel ». La plateforme restitue aux managers et à leurs équipes et pour chacun d'eux : la probabilité de réaliser leurs objectifs et les moyens de les fiabiliser ainsi que la manière qu'il ont de les réaliser grâce à la fonction de préférence de valeur-risque de l'entreprise [52]. Le risque d'entreprise étant « architecturé » en amont, les managers et leurs équipes peuvent se concentrer sur la conception de

stratégies, de plans d'actions de traitement des risques et de prises d'opportunités susceptibles de conforter le profil - valeur- risque.

Trois autres avantages sont appréciés. Le premier, est que compte tenu de la mobilité des équipes au sein des projets et de l'entreprise, l'information n'est pas disséminée dans quelques centaines ou milliers de feuilles de tableur. Le deuxième, est en partie réalisé par l'apprentissage statistique (IA) que l'on peut effectuer sur différentes expériences. Enfin, la troisième est de disposer d'indicateurs pour connaître des montants optimaux de dépenses de traitement (budget ou investissement).

3) *Disciplines scientifiques et normalisation du MiR*

a) *Les disciplines scientifiques du MiR*

Sur un plan international, les disciplines scientifiques qui couvrent ce champ d'étude sont majoritairement la psychologie cognitive et sociale, l'économie, les mathématiques, l'analyse des organisations, l'économie industrielle, le génie industriel, l'assurance, la réassurance et la finance. Quatre champs d'études sont systématiquement associés au MiR : l'organisation industrielle, les choix intertemporel, la décision et plus récemment l'actuariat industriel. Une veille sur les neurosciences apparaît désormais incontournable.

b) *La normalisation volontaire de l'ERM et du management du risque*

L'ERM intègre de nombreuses réglementations en matière de gouvernance. Le premier éditeur de cadre de référence associant gestion des risques et contrôle interne a été le *Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission* (COSO). Une première édition date de 2002 avec le COSO II et la seconde de 2017 [53] où il est recherché une meilleure intégration de la stratégie et de la performance à la gestion des risques de l'entreprise (le paragraphe II. C. 2. est une voie pragmatique). L'AMF a édité deux référentiels un pour les groupes et un autre pour les petites et moyennes valeurs [38]. Un ouvrage collectif traite deux chapitres consacrés au management intégré des risques [43] et à l'ERM [37].

Pour le management du risque la première approche vient des instances de normalisation Australienne et Néo-Zélandaise (JTC – OB/7) en 1995 qui avaient l'intention de spécifier les éléments clés d'un processus de management des risques (*Risk Management*) sans entrainer une uniformisation et une généralisation... Les fonctions clés sont : l'établissement du contexte, l'identification, l'analyse, l'évaluation, le traitement, le monitoring et la communication sur le risque.

La norme AS NZS 4360:1995 fixait ce premier cas d'étude. Elle est révisée en 1999 pour tenir compte de la norme IEC 60300-3-9:1995 dont le sujet est... la sûreté de fonctionnement. En 2004, une révision différencie les options pour le traitement des risques avec des résultats positifs (les opportunités) de ceux avec des résultats négatifs. La seule méthode proposée de « management des risques » sont les matrices qualitatives probabilités-impacts.

En 2009, l'ISO reprend l'essentiel des travaux du JTC – OB/7 sur le processus de management du risque avec l'ISO 31000:2009 qui ajoute néanmoins des principes et un cadre organisationnel. Le FD ISO Guide 73 fixe le vocabulaire du management des risques et l'ISO 31010:2019 les techniques

d'évaluation des risques. Pour la préparation de cet article, un des auteurs a participé à l'élaboration de cette dernière norme (la boîte à outil de la 31000 avec les méthodes). La majorité des méthodes présentées proviennent du TC 56 (le Comité Technique de l'IEC en charge de la *Dependability*) à part les matrices probabilités-impacts. Ces normes, sauf pour le vocabulaire, ont été mise à jour en 2018.

L'ISO a néanmoins intégré les concepts de risque et d'opportunité dans la structure de haut niveau (*High Level Structure - HLS*) qui a pour vocation de servir de cadre aux normes de systèmes de management en vue d'un système de management intégré pour les organisations (par exemple, qualité, environnement, ...). Entre ces différentes normes, les concepts de risque et d'opportunité ne sont pas homogènes et ils ne le sont pas non plus avec ceux de l'ERM. De plus, elles ne favorisent pas du tout une intégration cohérente des risques entre les systèmes techniques, socio-technique et socio-économique. Notre avis, est que l'ISO est en train d'introduire un certain nombre de confusions.

La norme RG. Aéro 000 39 (10/2021) en est un bon exemple. Elle propose des recommandations pour la mise en œuvre du management des risques et des opportunités et adresse les besoins des domaines aéronautique, spatial et de défense et peut s'appliquer à d'autres domaines. Les risques et les opportunités sont considérés comme des événements aléatoires, ils suivent deux processus différenciés de gestion par l'usage unique de matrices de risques. Les deux processus ne sont pas réconciliés. La norme propose deux nouveaux concepts, celui de portefeuilles de risques et de portefeuilles d'opportunités vus tous deux comme la compilation respective des fiches de risque et d'opportunités. Dans la littérature et dans la pratique en finance, un portefeuille de risque sert la diversification des risques, et dans l'assurance à la mutualisation des risques. Dans les deux cas, c'est le coût du financement du risque le plus faible qui est recherché. Autrement dit, considérer un portefeuille de risque comme un classeur est assez réducteur.

Lors de la présentation de cette norme en octobre 2021 à l'IMdR, un des architectes principaux de la norme a été explicite sur le sujet en plaçant les travaux réalisés dans un contexte... d'Assurance Qualité. De notre point de vue nous sommes typiquement dans le domaine de l'erreur de conception. Il y a près de dix ans deux auteurs avaient discutés dans quelles mesures la gestion des risques et la gestion de la qualité devraient être intégrées [54].

III. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Cet article a souhaité faire le point sur quatre disciplines, quatre métiers du risque de l'entreprise industrielle : les Cindyniques, la Sûreté de Fonctionnement, la Maîtrise des Risques Industriels, le Management intégré des Risques.

En travaillant sur ce sujet nous avons pu mieux identifier les apports de chacun en fonction des différents niveaux logiques : système technique, sociotechnique et socioéconomiques que la Fig.2 ci-dessous tente de résumer.

De plus, historiquement nous avons pu observer comment ces disciplines et ces métiers n'ont pas fait qu'observer ces systèmes, ils ont agi sur ces systèmes. Ils ont conçu et mis en œuvre des outils de gestion et d'organisations adéquats par rapport aux problématiques rencontrées, ce qui est le principe de conception. Ainsi, le terrain constitue un lieu d'émergence de la connaissance pratique et théorique [30].

Pour paraphraser Edgar Morin [55] :

- d'une part, ils aspirent à la complexité par l'intermédiaire du processus de modélisation systémique et d'études systémiques car ils portent en eux l'aspiration à la complétude : ils savent que tout est solidaire et que tout est multidimensionnel. Néanmoins, une attitude de précaution ne leur permet pas d'identifier complexité à complétude car rien ne garantit que l'on dispose de toute l'information. Il va donc falloir « gérer » cette attente d'informations ;
- d'autre part, la conscience de la complexité, leur faisant comprendre qu'ils ne pourront jamais échapper à l'incertitude, cela permet d'engager une double attitude permanente de pré-activité et de pro-activité vis-à-vis du risque et de conscience du défaut épistémique de connaissance possible ;
- et enfin, prétendre avoir un savoir total est une contre vérité et cela nécessite une mise à jour continue de ses connaissances et compétences.

Concernant l'environnement naturel, force est de constater que sa prise en compte n'est pas à ce jour explicite. De plus, la normalisation, compte tenu du cloisonnement, ne l'encourage pas. Ce découpage en morceaux est contraire au génie de la SdF. À l'image de la propriété de fiabilité qu'il a fallu embarquer ne faudrait-il pas que le système technique embarque avec lui son potentiel de soutenabilité écologique. Ainsi, pour concevoir, fabriquer, maintenir, recycler, réutiliser en partie des systèmes techniques ne faudrait-il pas intégrer un critère de soutenabilité à l'échelle des matériaux, des composants et par conséquent à celle de la sûreté de fonctionnement pour parvenir à une sûreté de fonctionnement soutenable des systèmes techniques et parvenir ainsi à une création de valeur soutenable ?

C'est ce que nous essaierons de développer dans l'article « La sûreté de fonctionnement soutenable : motivations. État de l'art, verrous et hypothèses scientifiques (2) ».

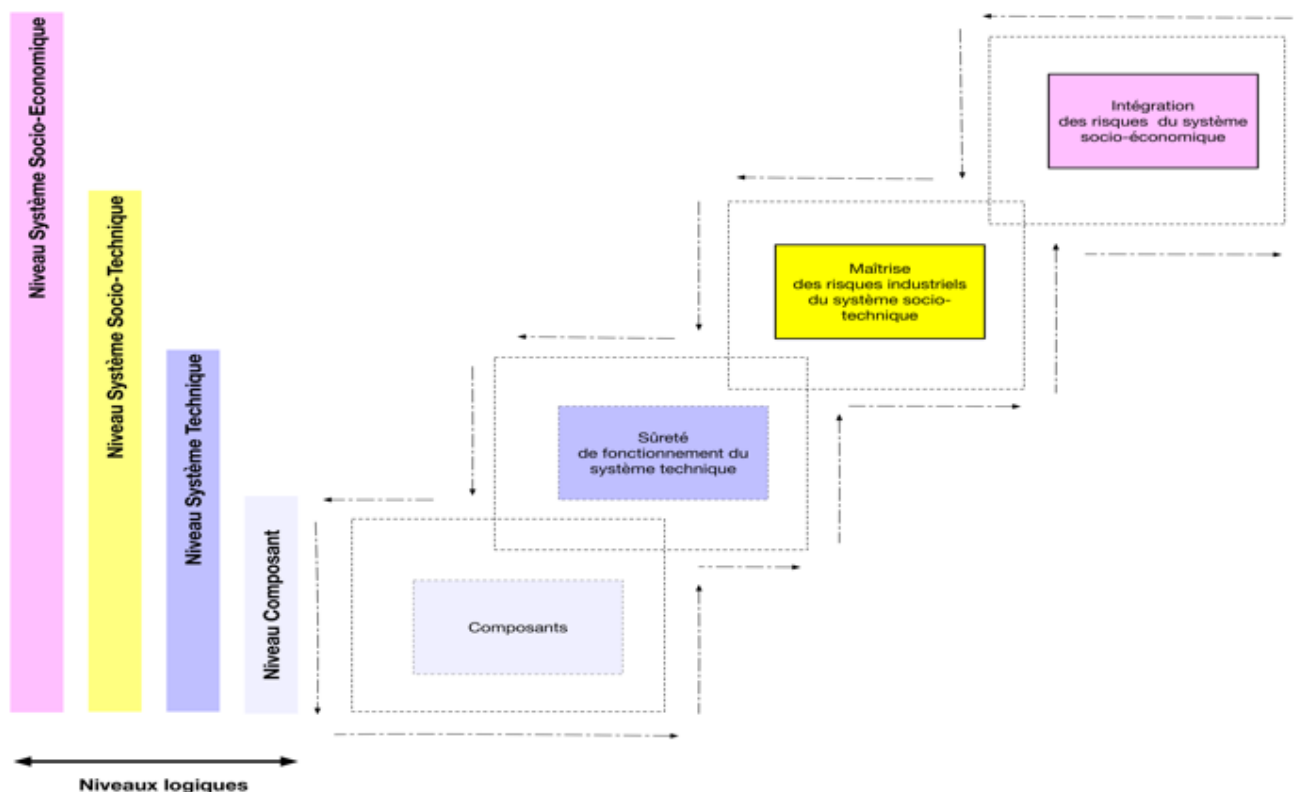


Fig. 2. Intégration et convergence des métiers du risque

REFERENCES

- [1] Claude, F., Signoret, J-P. Thing Leo, G. (2022). La sûreté de fonctionnement soutenable : motivations. Etat de l'art, verrous et hypothèses scientifiques (2). *Innovations et maîtrise des risques pour un avenir durable*. Actes du Congrès Lambda Mu 23 de l'Institut de Maîtrise des Risques.
- [2] Thing Leo, G., Claude, F. (2022). Prospective environnementale et stratégies d'innovations industrielles pour la sûreté de fonctionnement soutenable. *Innovations et maîtrise des risques pour un avenir durable*. Actes du Congrès Lambda Mu 23 de l'Institut de Maîtrise des Risques.
- [3] Claude, F., Thing Leo, G., Planchette, G., Chang, L., Signoret, J.-P., Mérian, Y., et al. (2021). Risques et métiers du risque dans l'entreprise industrielle. *Les risques au coeur des transitions*. Actes du e-Congrès Lambda Mu 22 de l'Institut de Maîtrise des Risques.
- [4] Chang, L., Claude, F., Jamain, P., Judek, C., Lannoy, A., Lardeux, E., Merlot, J., Planchette, G., Signoret, J-P., Thing Leo, G. (à paraître), in Claude, F. (Dir.), *Risques et Métiers du Risque dans l'Entreprise Industrielle*.
- [5] IMdR. (s.d). <https://www.imdr.eu>
- [6] Kervern, G.-Y. (1986). *La culture réseau : éthique et écologie de l'entreprise*. Eska.
- [7] Kervern, G.-Y. (2005). *Sur l'émergence d'une nouvelle science d'ingénierie : Les cindyniques, Sciences du danger et des activités à risques*. Documents de l'Atelier MCX 7. Gestion des activités à risques.
- [8] Kervern, G.Y. (1995), *Éléments fondamentaux des cindyniques*. Paris : Economica.

- [9] Kermish, C. (2011). *Le concept de risque*. Lavoisier.
- [10] Le Moigne, J.-L. (1990). *La Modélisation des Systèmes Complexes*. Page 131. Paris: Dunod.
- [11] Planchette, G. (à paraître). Les Cindyniques. (Dir.) F. Claude, *Risques et métiers du risque dans l'entreprise industrielle*.
- [12] Planchette, G. (2022). *Cyndiniques, la science du danger : un nouveau souffle* (éd. Série fiabilité des systèmes multiphysiques). iSTE editions.
- [13] Lannoy, A. (2008). *Maîtrise des Risques et Sécurité de Fonctionnement*. (éd. TEC & DOC). Lavoisier.
- [14] Villemeur, A. (1997). *Sûreté de Fonctionnement des Systèmes Industriels* (éd. Collection : Direction des Etudes et de Recherches d'Electricité de France). Eyrolles
- [15] Signoret, J.-P., & Thing Leo, G. (à paraître). La sûreté de fonctionnement. (Dir.) F. Claude, *Risques et métiers du risque dans l'entreprise industrielle*.
- [16] Signoret, J.-P., & Leroy, A. (2021). *Reliability Assessment of Safety and Production Systems : Analysis, Modelling, Calculations and Case Studies*. Springer Series in Reliability Engineering. Springer Nature Switzerland AG 2021.
- [17] Jacomy, B. (2015). *Une histoire des techniques* (éd. 2ième édition). Editions du Seuil.
- [18] Foasso, C. (2007). *La sécurité dans l'histoire des techniques : l'exemple de l'énergie nucléaire*, Documents pour l'histoire des techniques. URL : <http://journals.openedition.org/dht/1142> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/dht.1142>
- [19] Foasso, C. (2007). *Histoire de la sûreté de l'énergie nucléaire civile en France (1945 – 2000) – Technique d'ingénieur, processus d'expertise, question de société*. [Thèse de doctorat, Université Lumière Lyon 2]. These.fr.http://theses.univ-lyon2.fr/documents/lyon2/2003/foasso_c#p=0&a=top
- [20] Beck, U. (2001). *La Société du Risque : Sur la Voie d'une Autre Modernité*. Paris, France: Flammarion.
- [21] Borel, E. (1939). *Valeurs Pratiques et Philosophie des Probabilités*. Paris, France: Gauthier-Villars.
- [22] Claude, F. (2019). *Modélisation, mesures et comparaison des risques post Farmer pour l'industrie*. C8123. Techniques de l'ingénieur , 1-22.
- [23] Lannoy, A. (2013). *Le risque acceptable : panorama des méthodes existantes pour le déterminer*. https://www.researchgate.net/publication/280609820_Le_risque_accetable_panorama_des_methodes_existantes_pour_le_determiner.
- [24] US NRC. (1975). *Reactor Safety Study: an assessment of Accident Risks in US Commercial Nuclear Power Plants*, WASH-1400, NUREG675/014, 1975.
- [25] Lannoy, A. (1984). *Analyse des explosions air-hydrocarbure en milieu libre - Etudes déterministes et probabilistes du scénario d'accident, prévision des effets de surpression*, Bulletin de EDF R&D, nucléaire, hydraulique, thermique, 390 pages, Numéro 4, octobre.
- [26] Swain A.D., Guttman H.E., 1983, *Handbook of Human Reliability Analysis with emphasis on Nuclear Power Plant Applications*. NUREG/CR-1278, Washington, D.C., US Nuclear Regulatory Commission.
- [27] Leroy, A., & Signoret, J.-P. (1992). *Le risque technologique*. Presses Universitaires de France.
- [28] Teghem, J. (2012). *Recherche opérationnelle : méthodes d'optimisation* (Tome 1). Paris: Ellipses Edition Marketing S.A.
- [29] AFIS. (2009). *Découvrir et comprendre l'ingénierie système*. V3. Association Française d'Ingénierie Système.
- [30] David, A. (2002). *Décision, conception et recherche en sciences de gestion*. Revue française de gestion, vol. n° 139, no. 3-4, 2002, pp. 173-185.
- [31] Teghem, J. (2013). *Recherche opérationnelle : gestion de production, modèles aléatoires, aide multicritère* (Tome 2). Paris: Ellipses Direction Marketing S.A.
- [32] Krob, D. (2014). *Eléments de systémique. Architecture des systèmes. in : Complexité - Simplexité. Collège de France*. Paris : Collège de France: OpenEdition books.
- [33] Krob, D. (2009). *Eléments d'architecture des systèmes complexes*. ResearchGate.
- [34] IEC. (2022). IEC TC 56 *Dependability*. <https://tc56.iec.ch>
- [35] Afnor. (2022). Afnor EDITION 60300. <https://www.boutique.afnor.org>
- [36] Tirole, J. (2016). *Economie du Bien Commun* (éd. 2ième tirage). Paris: Presses Universitaires de France.
- [37] Claude, F., Magne, L. (à paraître). Le management des risques de l'entreprise. (Dir.) F. Claude, *Risques et métiers du risque dans l'entreprise industrielle*.
- [38] AMF. (2010). *Cadre de référence sur les dispositifs de gestion des risques et de contrôle interne*. Autorité des Marchés Financiers.
- [39] Germa. (2012, octobre 19). *Management des Risques des Projets Complexes de Génie Civil et Urbain*. Le Moniteur n° 5682 cahier détachable .
- [40] Claude, F., & Nouet, S. (2016). Les matrices probabilités impacts pour décider de l'acceptabilité des risques : un paradoxe économique. <http://documents.irevues.inist.fr/handle/2042/61714>. St-Malo: Actes du Congrès Lambda Mu 20 de l'Institut de Maîtrise des Risques.
- [41] Cox Jr, L. A. (2008). What's Wrong with Risk Matrices? *Risk Analysis*, 18 (2), 497-512.
- [42] Akerlof, G. A. (1970, Aug.). *The Market for "Lemons": Quality Uncertainty and the Market Mechanism*. The Quarterly Journal of Economics, 84(3), 488-500.
- [43] Claude, F., Munier, B. (à paraître). Le management intégré des risques. (Dir.) F. Claude, *Risques et métiers du risque dans l'entreprise industrielle*.
- [44] Slovic, P. (2009). The construction of preference. In Kahnemen, D. & Tversky, A. *Choices, Values and Frames*. Cambridge University Press.
- [45] Wakker, P. P. (2010). *Prospect Theory*. New York: Cambridge University Press.
- [46] Kahnemen, D. & Tversky, A. (2009). *Choices, Values and Frames*. 10^{ème} impression. Cambridge University Press.
- [47] Keeney, R., & Raiffa, H. (1976). *Decisions with Multiples Objectives*. New York: Wiley.
- [48] Merad, M. (2010). *Aide à la décision et expertise en gestion des risques*. Lavoisier.
- [49] Raiffa, H. (2007). *Negotiation Analysis : the science an art of collaborative decision making*. 1^{ière} édition. Harvard University Press.
- [50] Munier, B. (2002). *Le management des risques : un défi global*. Cahiers Français , n°309, 89-94.
- [51] Claude, F. (2021). Le financement du risque d'entreprise, un must pour placer le risque au coeur des transitions. *Les risques au coeur des transitions*. Actes du e-Congrès Lambda Mu 22 de l'Institut de Maîtrise des Risques.
- [52] RiD. (s.d). <https://rid.systems/rid-accueil.html>
- [53] COSO (2017). *Enterprise Risk Management : Integrating with Strategy and Performance*. Commission of Sponsoring Organization of the Treadway Commission.
- [54] Dehouck, L., Munier, B. (2011). *How integrated should risk management and quality management be ?* Conférence ICASP, Août.
- [55] Morin, E. (1990). *Introduction à la pensée complexe*. Paris. ESF Editeur.