



HAL
open science

**Vers une démarche de conception de systèmes
d'information pour la traçabilité des données :
application aux processus d'expertise des risques
naturels en montagne**

Laure Vidaud-Barral

► **To cite this version:**

Laure Vidaud-Barral. Vers une démarche de conception de systèmes d'information pour la traçabilité des données : application aux processus d'expertise des risques naturels en montagne. Autre [cs.OH]. Université Clermont Auvergne, 2021. Français. NNT : 2021UCFAC005 . tel-03545585

HAL Id: tel-03545585

<https://theses.hal.science/tel-03545585v1>

Submitted on 27 Jan 2022

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.

UNIVERSITÉ CLERMONT AUVERGNE
THÈSE

pour obtenir le grade de docteur délivré par

L'ÉCOLE DOCTORALE DES SCIENCES POUR L'INGÉNIEUR
DE CLERMONT FERRAND

Spécialité doctorale : Informatique

Laure VIDAUD-BARRAL

Vers une démarche de conception de systèmes d'information pour la
traçabilité des données : application aux processus d'expertise des
risques naturels en montagne

soutenue publiquement le 26 février 2021 devant le jury composé de :

Présidente :	Myriam MERAD	Directeur de recherche	CNRS, LAMSADE
Rapporteur :	Ahmed LBATH	Professeur	Université Grenoble Alpes
Rapporteur :	Patrick MEYER	Professeur	IMT Atlantique
Examinatrice :	Anne-Laure JOUSSELME	Chercheuse	OTAN-CMRE, La Spezia-Italie
Examineur :	Cédric BOUHOURS	Maître de conférences	Université Clermont Auvergne
Directeur de thèse :	François PINET	Directeur de recherche	INRAE
Co-directeur :	Jean-Marc TACNET	Docteur, ICPEF	INRAE

REMERCIEMENTS

L'obtention de mon doctorat est sans nul doute la plus complexe des activités qu'il m'ait été donné de réaliser tant d'un point de vue professionnel que personnel. Les meilleurs et les pires moments de ce parcours ont été partagés avec de nombreuses personnes que je souhaite ici chaleureusement remercier.

En tant qu'ingénieure d'études et permanente dans l'unité de recherche ETNA (Erosion Torrentielle, Neige et Avalanches) d'INRAE, je voudrais d'abord exprimer toute ma gratitude d'avoir eu la chance de réaliser cet exercice.

A l'origine de ce projet, un peu déraisonnable, je remercie tout d'abord Jean-Marc TACNET qui est le premier à avoir cru en cette possibilité pour moi. C'est ensuite tous les acteurs du collectif de recherche originel qui ont activement participé à le rendre possible que je souhaite remercier : Mr Mohamed NAAIM, ancien animateur du Thème de Recherche RIVAGE, Mr Didier RICHARD, ancien directeur de l'unité ETNA et Mme Corinne CURT, ancienne co-animatrice de l'équipe ADRET. L'environnement scientifique dans lequel je me suis inscrite en thèse s'est aujourd'hui complètement transformé. Je souhaite donc également remercier les personnes qui ont pris le relais, Mme Florence NAAIM et Mr Guillaume CHAMBON, directrice et directeur adjoint de l'unité ETNA, ainsi que Mr Nicolas ECKERT, animateur de l'équipe MODERN.

Cette thèse a été réalisée en collaboration avec une autre unité de recherche ; l'unité TSCF (Technologies et Systèmes d'Information pour les agrosystèmes) d'INRAE Clermont-Ferrand au travers de Mr François PINET qui m'a fait l'honneur de prendre la direction de thèse. Je ne saurais comment remercier François PINET et Jean-Marc TACNET qui ont assuré, de façon complémentaire, l'encadrement de mon travail et je salue les nombreuses analyses critiques constructives et bienveillantes qui ont porté cette thèse et l'ont guidée jusque dans les dernières relectures.

Je tiens également à exprimer toute ma reconnaissance aux membres du jury Mme Myriam MERAD, Mme Anne-Laure JOUSSELME et Mr Cédric BOUHOURS pour l'intérêt qu'ils ont porté à mes travaux en acceptant de les évaluer et particulièrement à Mr Ahmed LBATH et Mr Patrick MEYER qui en ont été les rapporteurs.

Je souhaite également adresser mes sincères remerciements à tous ceux qui contribuent à rendre notre travail plus simple au quotidien par la résolution de toutes sortes de problèmes. Je pense aux collègues des Services Déconcentrés d'Appui à la Recherche (SDAR). Et je pense aux représentants du personnel de Grenoble et à leur engagement important pour notre collectif.

Je voudrais adresser mes plus chaleureux remerciements à tous ceux, amis et collègues, qui m'ont encouragée, soutenue, aidée de multiples façons, tout au long de ces années. Sur cette dernière année,

je pense particulièrement à Eric, Valérie(S), Gwénola, Sylvie et Alex. Merci pour votre soutien précieux et nos échanges sur des sujets multiples qui m'ont toujours permis de prendre du recul, parfois bien nécessaire. Une pensée émue également pour mes amis Carole et Guy-No, Assia et Laurent, Maud, Valérie et Sébastien, Bubu, Guillaume et Aline auprès desquels je n'ai pas brillé par ma présence ces derniers temps! Malgré tout, merci d'être présents.

C'est maintenant vers ma famille que je me tourne, mes parents, ma sœur, mes beaux parents, ma belle-sœur, mes beaux-frères, aussi Manou, Pajeau et les minis, Léo, Tao et Lilie. Merci à vous tous pour le soutien inconditionnel, les chaleureux encouragements, les conseils et les exutoires. Enfin, les mots ne me semblent pas suffisants pour remercier spécialement les deux personnes avec lesquelles je ne compte plus les heures d'échange, d'écoute et de réconfort, Janje, et, bien sûr, Rom. Vous le savez, sans vous, rien n'est possible. Merci Rom d'avoir œuvré tous les jours à rendre notre quotidien agréable et apaisant même quand ma tête était ailleurs! Et un dernier merci plein de tendresse pour mes deux trublions préférés, Eglantine et Jules, qui, avec la candeur propre aux enfants ont toujours su pimenter, dans un sens comme dans l'autre, toute cette période. Une chose est sûre, nous voilà tous, fin prêts, repartis vers de nouveaux horizons..

La gestion de l'environnement et des risques naturels concerne l'ensemble des territoires, la population et les activités socio-économiques. Elle implique de nombreux acteurs notamment des élus, techniciens, experts, gestionnaires, acteurs économiques. Ils relèvent de l'État, des collectivités locales ou des opérateurs d'infrastructures critiques d'énergie ou de transport, en vue d'assurer la sécurité des biens et des personnes. Ils sont souvent amenés à prendre des décisions difficiles et rapides en considérant la nature et le niveau des menaces avec les vulnérabilités humaines, sociales, et économiques. Ces décisions sont l'aboutissement d'un processus d'évaluation souvent complexe, réalisé la plupart du temps sur la base de nombreuses informations provenant de sources diverses inégalement fiables, de nature hétérogène et imparfaite (données imprécises, incomplètes, contradictoires, incertaines). Dans ce cadre, les expertises techniques apparaissent comme une forme d'intégration des connaissances et des incertitudes associées.

A titre d'exemple, plusieurs situations critiques se sont produites pendant l'hiver 2017-2018. En Savoie, l'événement neigeux de début janvier a provoqué une avalanche de neige d'une ampleur exceptionnelle qui a coupé la route entre Bessans et Bonneval sur Arc. Les hauteurs de neige pouvaient atteindre de 4 à 7 mètres par endroits isolant complètement la commune de Bonneval sur Arc qui n'a qu'un unique accès routier en hiver. La gestion des infrastructures telles que les routes exposées aux phénomènes naturels est un cas typique de ces contextes de décision délicats. Les infrastructures de transport sont, en effet, critiques en raison des conséquences économiques, sociales et de sécurité que l'interruption de circulation peut induire.

Dans de tels contextes, quelle décision prendriez-vous quant au maintien des accès ou de la coupure des axes de transport? Pourriez-vous décrire le processus de raisonnement qui vous a amené à prendre une décision plutôt qu'une autre? Comment pourriez-vous transmettre et partager vos motivations auprès de collègues moins expérimentés ou d'autres acteurs moins spécialistes impliqués dans la prise de décision? Comment pourriez-vous la justifier auprès de citoyens ou de magistrats et enfin, comment évalueriez-vous et considèreriez-vous l'influence de qualité de l'information sur votre décision?

Décrire comment ces expertises, et les décisions qui leur sont associées, sont construites apparaît comme un enjeu majeur de qualité et de transparence, tant lors des phases d'élaboration qu'à posteriori lors de retour d'expériences. Stocker et capitaliser les données et les flux d'information associés est également essentiel.

Cette thèse aborde la question de la traçabilité, à la fois en ce qui concerne les processus de décision associés à l'expertise mais aussi la nature et la qualité des informations mobilisées. Elle propose de contribuer à combler un manque de méthodologies et de techniques de conception spécifiques pour

décrire les processus puis construire des systèmes d'information capables de capturer et de représenter les liens entre la qualité des informations et les décisions.

Cette thèse s'inscrit à la frontière de l'informatique et de l'aide à la décision appliquées au domaine de la gestion des risques naturels en prenant un exemple d'application relative à la gestion d'une route exposée à un phénomène d'avalanche. Elle propose une méthodologie originale basée sur la conception et l'exploitation de jeux sérieux pour aider, améliorer et tracer le processus de décision en tenant compte de l'influence de la qualité des informations mais aussi implémenter la conception des systèmes d'information associés.

Le jeu sérieux est pensé comme un observatoire du processus de décision dont on maîtrise tous les éléments en étant capable de capturer les informations qui sont recherchées, analysées puis évaluées par des joueurs mis en situation de prise de décision. Il permet ainsi de valider la conception du système d'information.

Sur le fond, son aspect ludique constitue également un outil d'apprentissage et de communication très efficace qui dissimule la complexité des processus et des méthodologies en jeu. La conception même du jeu sérieux constitue une façon d'appréhender la complexité et la multitude des critères qui interviennent dans le processus de décision. Cela contribue à la formalisation des processus et à l'amélioration de leur élicitation.

Au final, le jeu permet avant tout de connaître, contrôler, tracer la nature et l'ordre des informations utilisées par un acteur pour prendre sa décision. Il nécessite et permet aussi d'explorer la question de la pertinence de la décision en elle-même. Ceci exige d'être capable de construire une référence, valable d'un point de vue thématique, pour juger du bien fondé du choix d'un joueur en fonction des informations dont il disposait au moment où il a pris sa décision. Le principe est basé sur la comparaison d'une situation de jeu avec un processus de décision de référence qu'un expert aurait pu suivre.

L'approche s'inscrit dans la problématique difficile de la validation d'un processus d'aide à la décision, dans des cas complexes où la décision n'est prise qu'une seule fois sans pouvoir réellement savoir si elle constituait la solution idéale. La validation indirecte repose ainsi sur l'hypothèse qu'une décision explicitée et justifiée à partir de critères établis et choisis par les experts est a priori meilleure qu'une autre. Sur cette base, la démarche d'aide multicritère à la décision vient capturer, formaliser et soutenir la démarche. Au final, le cadre du jeu sérieux peut être considéré comme un cadre générique pour la recherche dans le domaine de la gestion des imperfections de l'information (association de niveaux d'imperfection aux données, établissement d'une échelle d'évaluation de la qualité des données, lien avec les décisions etc.). Le jeu a également une portée pédagogique en contribuant à la formation des acteurs et au transfert, au partage d'avis lors de prise de décision.

D'un point de vue informatique, la conception de ces jeux n'est pas immédiate et s'avère rarement évolutive. Les développements visent ici à garantir la réutilisabilité et la généricité des méthodologies de conception pour s'adapter aux besoins du domaine thématique de l'aide à la décision. Nous proposons, dans ce travail, une méthodologie (basée sur l'ingénierie des modèles) de conception d'outils informatiques dédiés à la traçabilité des informations, et de leur niveau de qualité dans les processus de décision. Une bibliothèque de profils UML est mise à disposition pour soutenir cette démarche en offrant un cadre de modélisation pour les processus de décision. Chaque profil UML correspond à un objectif particulier : la structure du jeu sérieux attendu, la traçabilité des informations, la prise en compte d'un niveau d'imperfection des données ou la construction d'une référence experte d'analyse de risque. Afin de réaliser des expérimentations, notre approche a été implémentée dans une chaîne logicielle.

Notre démarche est illustrée par sa mise en application sur deux cas d'étude pour concevoir des structures de données pour des jeux sérieux. Le premier concerne le jeu sérieux DecisionTrace dédié au processus de décision qui amène à fermer (ou non) une route dans des conditions de risque d'ava-

lanche marqué. Le second s'intéresse au jeu RiskGame [Jousselme et al., 2018] dédié au processus de décision qui consiste à déclencher une reconnaissance maritime vers un bateau suspect.

Finalement, le triptyque jeu sérieux, aide multicritère à la décision et conception informatique constitue une contribution pluridisciplinaire aux travaux existants dans le domaine de l'aide à la décision appliquée à la gestion du risque et de la conception des systèmes d'information. Il aborde des problématiques prégnantes et récurrentes de traçabilité des informations, de niveau de qualité des informations, de pertinence des décisions prises et des choix de stratégies pour la conception de systèmes d'information dédiés. Il contribue à améliorer la compréhension globale du processus de décision mais aussi de capitaliser les informations et les processus en espérant au final, aider à produire de meilleures décisions.

Mots-clés : risques naturels, avalanches, expertise, imperfection des données, traçabilité, processus de décision, aide multicritère à la décision, validation, jeux sérieux, ingénierie des connaissances, conception informatique, ingénierie des modèles, profils UML.

Management of environment and natural risks concerns all the territories, population and socio-economic activities. It involves many actors, in particular elected officials, technicians, experts, managers, economic actors. They belong to States' administration, local authorities, operators of critical energy, transport infrastructures, in order to ensure the security of exposed people and assets. They are often expected to make difficult and quick decisions considering the nature and level of threats along with human, social, and economic vulnerabilities. These decisions are the outcome of a complex evaluation most of time process carried out on the basis of a great amount of heterogeneous and imperfect information (imprecise, incomplete, conflicting, uncertain data) provided by numerous sources which may be unequally reliable. In this context, technical expertise appears as a form of integration of knowledge and associated uncertainties.

For example, several critical situations occurred during the winter of 2017-2018. In Savoie, heavy snowfall in early January caused an avalanche of snow of exceptional magnitude which cut the road between Bessans and Bonneval sur Arc. The snow depths could reach 4 to 7 meters locally, completely isolating the town of Bonneval sur Arc, which has only one road access in winter. The management of infrastructures, such as roads exposed to natural phenomena, is a typical case of these delicate decision-making contexts. Transport infrastructure is indeed critical because of the economic, social and safety consequences originating from traffic interruption.

In such contexts, what decision would you make regarding maintaining access or cutting off transport routes? Could you describe the reasoning process that led you to make one decision over another? How could you convey and share your motivations with less experienced colleagues or other less specialized actors involved in decision-making? How could you justify in front of citizens or magistrates and lastly, how would you assess and consider the influence of quality of information on your decision?

Knowing and describing how expert assessments and associated decisions are constructed appears therefore to be a major issue to ensure quality and transparency both during the risk prevention phases and a posteriori during feedbacks and recovery steps. Storing and capitalizing data and associated information's flows are also essential.

This thesis addresses the issue of traceability both with regard first to the decision-making processes associated with expertise but also to the nature and quality of the information mobilized. It proposes to help filling a lack of specific methodologies and design techniques for describing the processes and then building information systems capable of capturing and representing the links between the quality of information and decisions.

This thesis is at the frontier of the fields of information system and decision support applied to natural

risk management. We take an example of application related to the management of a road exposed to snow avalanche. It offers an original methodology based on the design and operation of serious games, to help and improve the decision-making process taking into account the influence of the quality of information, and also to implement the design of the associated information systems.

Serious gaming is thought of as an observatory of the decision-making process. Each of its elements is registered, allowing capturing the information that is sought, analyzed and then used by players placed in a decision-making situation. It thus makes it possible to validate the design of the information system but also improve players' technical skills and knowledge.

Basically, its playful aspect is also a very effective learning and communication tool that somehow conceals the complexity of the underlying processes and methodologies involved. The conception of a serious game constitutes therefore a way to understand the complexity and the multitude of criteria used in an expert assessment and related to decision-making processes. This contributes to the formalization of the processes and helps to improve their elicitation.

In the end, the game above all allows to know, control and trace the nature and the order of the information used by an actor to make his decision. It allows the question of the relevance of the decision itself to be explored. This requires being able to build a benchmark, thematically valid for judging the merits of a player's choice based on the information they had at the time they made their decision. The principle is based on the comparison of a game situation with a reference decision process that an expert could have followed.

The approach fits into the difficult issue of validating a decision support process in complex cases where the decision is made only once without being able to really know if it was the ideal solution. Indirect validation is thus based on the assumption that a decision made explicit and justified on the basis of criteria established and chosen by the experts is a priori better than another. On this basis, the multi-criteria decision support approach captures, formalizes and supports the process. In the end, the serious game framework can be considered as a generic framework for research in the field of information imperfection management (association of levels of imperfection with data, establishment of an evaluation scale of data quality, link with decisions, etc.) while also having an educational impact by contributing to the training of actors and transfer, sharing of opinions during decision-making.

From a computational point of view, the design of these games is not straightforward and is rarely able to evolve easily. Here, the developments aim to guarantee the reusability and genericity of design methodologies to adapt to the needs of the thematic area of decision support. We propose a methodology (based on model-driven engineering) for the design of computer tools dedicated to the traceability of information, and its level of quality, in decision-making processes. A library of UML profiles is made available to support this approach by providing a modeling framework for decision-making processes. Each UML profile corresponds to a particular objective : the structure of the expected serious game, the traceability of information, the consideration of data imperfection or the construction of an expert risk analysis reference.

In order to carry out experiments, our approach was implemented in a software design process. Our approach is illustrated by its application on two case studies, in order to design data structures for serious games. The first concerns the serious DecisionTrace game dedicated to the decision-making process which leads to closing (or not) a road under snow avalanches conditions. The second focuses on the RiskGame [Jousselme et al., 2018] context dedicated to the analysis of decision-making process related to maritime reconnaissance survey towards a suspicious vessel.

Finally, the combination of serious gaming, multi-criteria decision support and computer design constitutes a multidisciplinary contribution to existing work in the field of decision support applied to risk management and in the field of information system design. It addresses the significant and recurring issues of information traceability, information quality level, the relevance of the decisions

taken and the choice of strategies for the design of dedicated information systems. It helps to improve the overall understanding of the decision-making process but also to capitalize on information and processes, hoping ultimately to help produce better decisions.

Keywords : natural risks, avalanches, expertise, data imperfection, traceability, decision process, multi-criteria decision support, validation, serious games, knowledge engineering, computer design, model-driven engineering, UML profiles.

Remerciements	4
Résumé	7
Abstract	11
Table des matières	13
1 Introduction générale	17
Guide de lecture	18
I Risques naturels, processus de décision et systèmes d'information	21
2 Gestion des risques naturels et exigences de traçabilité dans les processus de décision	23
2.1 Le contexte de la gestion des risques naturels	25
2.1.1 Gestion des risques naturels : définitions, politique et mise en œuvre opérationnelle	27
2.1.2 Approche intégrée de la gestion des risques naturels	32
2.1.3 Contexte de décision, sources d'information et traçabilité : l'exemple de l'avalanche	38
2.2 Décrire, tracer les processus de décision et aider la décision	39
2.2.1 Représenter et modéliser les processus de décision	39
2.2.2 Tracer et capitaliser la connaissance associée au processus de décision	43
2.2.3 Synthèse : apport des méthodes d'aide à la décision pour la traçabilité, support des systèmes d'information pour la qualité des informations.	55
Synthèse des besoins et identification de la problématique de recherche	57
Le constat et les besoins	57
La problématique et les objectifs	60
II État de l'art : Risques naturels, processus de décision, traçabilité et systèmes d'information	63
3 Capitalisation de la connaissance sur les processus de décision pour la gestion de risques naturels avec des systèmes d'information	65
3.1 Gestion de la connaissance	66
3.2 Ingénierie des connaissances en matière de processus de décision	69
3.3 Transférer la connaissance avec des outils : le concept original de jeu	70

4 Représentations UML et formalisation des jeux sérieux	75
4.1 Concepts généraux de métamodélisation	76
4.1.1 Modèle et ingénierie des modèles (IDM)	76
4.1.2 DSML et profils UML	79
4.2 Modélisation de jeux sérieux	81
Synthèse : vers une nouvelle méthodologie pour tracer les processus de décision	89
III Développements méthodologiques : Aide multicritère à la décision et conception informatique d'outils de traçabilité des processus de décision	93
5 Expliciter, représenter et justifier un processus de décision	97
5.1 Une méthodologie pour tracer le processus de décision dans les risques en contexte incertain grâce à la conception de jeux utiles	99
5.2 Formaliser la connaissance experte associée au processus de décision : exemple en gestion de risque d'avalanche	101
5.2.1 Identifier des critères : analyse de l'aléa avalanche	101
5.2.2 Décrire le contexte de décision : de l'analyse de l'aléa avalanche à la fermeture d'une route exposée	103
5.3 Vers un modèle d'aide multicritère à la décision basé sur une référence experte	105
5.4 Développement du jeu de plateau DecisionTrace pour gérer le risque d'avalanche en contexte incertain	110
5.5 Reconstruction du processus de décision du joueur, comparaison à une référence experte : La face cachée du jeu DecisionTrace	115
5.5.1 Première étape : Reconstruction du processus de décision du joueur ou de l'équipe	115
5.5.2 Seconde étape : Comparaison du processus de décision du joueur à une référence experte	116
5.5.3 Animation de sessions de jeu pour tester le jeu DecisionTrace	117
6 Vers une conception générique de jeux sérieux pour la capture, la traçabilité et la capitalisation des processus de décision	121
6.1 Analyse de besoins en matière de conception d'environnement informatique dédié à la capture de la traçabilité des processus de décision au travers des jeux sérieux	125
6.1.1 Besoins généraux	125
6.1.2 Besoins spécifiques	126
6.2 Une démarche de conception basée sur la combinaison de profils UML pour concevoir des jeux sérieux dédiés à la capture de la traçabilité des processus de décision	131
6.2.1 Présentation de la démarche de conception pour des jeux sérieux dédiés à la capture de processus de décision	131
6.2.2 Détails sur le principe d'utilisation des stéréotypes de profils UML	135
6.3 Présentation des profils UML	139
6.3.1 Un profil UML dédié à la conception des jeux sérieux	139
6.3.2 Un profil UML dédié à la traçabilité du processus de décision	145
6.3.3 Un profil UML dédié à l'évaluation d'un risque	145
6.3.4 Un profil UML dédié à la qualité des informations et la fiabilité des sources	150
6.4 Vers une forme de validation des profils UML : utilisation de la méthodologie de conception pour le développement de structures de données support à deux jeux sérieux	153
6.4.1 Conception d'une structure de données pour le jeu sérieux inspiré par le jeu de plateau DecisionTrace	154

6.4.2	Conception d'une structure de données pour le jeu sérieux inspiré par le jeu de plateau RiskGame	166
6.5	Implémentation de l'approche au sein d'une chaîne logicielle pour concevoir les prototypes de jeux sérieux	172
6.6	Exploitations et capitalisation de données avec les jeux sérieux conçus sur la base des profils UML	175
IV	Discussion - Conclusion	179
7	Discussion et conclusion générale	181
7.1	Synthèse de la problématique et de la démarche de recherche	181
7.2	Les apports et les limites	183
7.2.1	Dans le domaine de l'aide à la décision et de la traçabilité des processus de décision	183
7.2.2	Dans le domaine de la conception de systèmes d'information	188
7.3	Les perspectives	190
7.3.1	Développer l'outil de recherche que représente le jeu sérieux DecisionTrace	190
7.3.2	Développer un observatoire du processus de décision pour améliorer sa formation et approcher une forme de validation	192
7.4	Conclusion finale	193
	Bibliographie : productions	195
	Bibliographie : références	195
	Liste des figures	205
	Liste des tableaux	209
	Annexes	219
	Annexe A : Guide d'élaboration des scénarios du jeu DecisionTrace avec l'exemple du scénario du Queyras	221

Dans la vie courante, chacun est amené à prendre des décisions personnelles ou professionnelles à tout moment. Ces décisions considèrent des enjeux divers selon des contextes économiques, environnementaux, sociaux et des portées stratégiques, opérationnelles ou tactiques. La décision est indissociable du contexte dans lequel elle s'inscrit et fait de la prise de décision, qu'elle soit individuelle ou collective, un processus complexe. Ce processus nécessite de traiter une variété de données hétérogènes (des données numériques, des expertises, des témoignages) avec la diversité de types et de niveaux de qualité qu'elles peuvent présenter. Une connaissance n'est jamais totale et parfaite, un avis comporte toujours une part de subjectivité, une donnée mesurée admet toujours une part d'erreur, des données peuvent manquer ou avoir été altérées, etc. Ce niveau d'imperfection est lié aux sources qui en sont émettrices et qui peuvent elle-mêmes présenter des niveaux variables de fiabilité. S'interroger sur le concept même de processus de décision pose alors clairement la question de ses composants et de leurs interactions mais aussi de savoir s'il peut être bon, mauvais, perfectible, mesurable, et de ce qu'on peut mettre en place pour en améliorer le résultat (la décision).

En zone de montagne en France, les phénomènes naturels tels que les avalanches, les crues torrentielles et les chutes de blocs menacent des personnes et des infrastructures avec divers niveaux de risque. Ils peuvent provoquer des victimes, des dommages ou fragiliser des activités économiques. Des mesures et stratégies de protection sont mises en œuvre pour en limiter les conséquences et plus généralement gérer les risques. Le Ministère de la Transition Ecologique (MTE)¹ est en charge de la politique de gestion des risques naturels à l'échelle nationale. Pour tenter de réduire les risques, la stratégie nationale s'organise depuis la prévention des risques jusqu'à la gestion de crise et la réparation.

Dans les processus de décision associés à la gestion des risques, les données, les mesures, les connaissances, les résultats de simulations sont le plus souvent combinés avec des raisonnements plus qualitatifs qui constituent l'expertise. Il s'agit par exemple de déterminer quel est le niveau de risque, quelle est la meilleure mesure à prendre. Un exemple concret qui sera largement utilisé et développé dans la suite concerne le choix d'autoriser ou pas l'accès via une route que l'on sait exposée à un phénomène d'avalanche. Dans ce cas, plusieurs acteurs (la commune, les services de l'État, le gestionnaire de l'infrastructure) vont devoir échanger et converger vers ce qui leur semblera la décision la plus adaptée sur la base des éléments d'information dont ils disposent. Il s'agira ici de faire le meilleur choix, d'être capable d'en justifier la genèse et la nature à court terme mais aussi à plus long terme au cas où cette décision de couper ou de laisser la route ouverte aurait entraîné des consé-

1. <https://www.ecologie.gouv.fr/>

quences dommageables.

L'expertise constitue une brique élémentaire du processus de décision qui apporte une lecture technique de la situation au décideur qui peut ne pas posséder les compétences techniques pour le faire. L'expertise est aussi considérée comme une succession de décisions qui répondent, pas à pas, à des situations complexes évolutives au cours du temps [Tacnet, 2009]. L'expertise est donc une composante d'un processus de décision global, qui se compose de processus de décision plus fins. C'est pourquoi encore aujourd'hui, il est nécessaire de mieux comprendre toutes les étapes de ces processus de décision et leurs facteurs décisifs, en formalisant mieux les étapes, les acteurs, les données et les raisonnements qui interviennent. Tracer et expliciter les décisions est un enjeu pour les gestionnaires, l'État et les experts scientifiques. Ces processus se confrontent aux mêmes besoins et objectifs d'explicitation et de traçabilité de l'information que ceux attendus pour les expertises techniques et pour lesquels une norme existe, [AFNOR, 2003]. Cette exigence peut aussi être attendue, par exemple, dans le cadre de procédures judiciaires pour expliciter et justifier les décisions prises [Lacroix, 2005].

Ce travail de thèse s'inscrit dans un cadre mixte d'aide à la décision et d'informatique avec l'objectif de contribuer à une gestion intégrée des risques naturels. Il vise à améliorer la compréhension des processus de décision, notamment en proposant d'améliorer leur traçabilité, et ce de manière non spécifique aux risques naturels, même s'ils en constituent le principal contexte. Cette thèse propose de s'appuyer sur des méthodes de modélisation de conception de systèmes logiciels pour identifier, capturer, tracer, analyser les données et les raisonnements suivis dans un processus de décision, mais également pour approcher une forme de validation du processus. Ainsi, nous présentons une méthode basée sur le langage de modélisation (UML - Unified Modelling Language) pour concevoir des jeux sérieux dédiés à l'étude du processus de décision.

Guide de lecture

La thèse est organisée en 4 parties (Fig. 1.1).

Le chapitre 1 correspond à l'introduction générale du travail.

La partie I présente le contexte général

Le chapitre 2 aborde la prise de décision en particulier en matière de gestion de risques naturels en soulignant l'importance et la place des expertises mises en œuvre pour supporter les processus de décision. Il introduit le niveau d'exigence de traçabilité requis pour pouvoir justifier ces décisions auprès de la Société ainsi que la notion d'imperfection des informations impliquées.

Une synthèse présente ensuite la problématique scientifique et les objectifs de ce travail de thèse.

La partie II constitue un état de l'art relatif au processus de décision en gestion des risques naturels, aux exigences en matière de traçabilité et de stockage des connaissances sur les processus de décision.

Le chapitre 3 analyse en quoi il est complexe d'étudier le processus de décision et explore les possibilités offertes par l'ingénierie des connaissances pour tenter de répondre à cette question. Il présente ensuite en quoi le besoin de traçabilité des informations, particulièrement en contexte incertain, guide notre travail dans une perspective d'amélioration des processus de décision en matière de gestion des risques naturels.

Le chapitre 4 décrit les pratiques proposées par l'ingénierie dirigée par les modèles et l'intérêt de leur soutien. Il présente ensuite différents cadres informatiques possibles pour concevoir des jeux sérieux comme des systèmes dédiés à la traçabilité des informations.

Une synthèse des deux précédents chapitres justifie alors la piste de travail que nous avons choisie au regard de notre problématique et de cet état de l'art.

La partie III présente les contributions de la thèse.

Le chapitre 5 propose une méthodologie innovante pour étudier les processus de décision en matière de gestion des risques naturels (1) en se basant sur la conception d'un jeu sérieux qui repose sur une mécanique simple et une référence experte d'analyse de risque, (2) en offrant la possibilité de justifier le problème de décision sous-jacent avec des modèles d'aide à la décision.

Le chapitre 6 présente une méthodologie de conception de jeux sérieux, en tant qu'outillage informatique, dédiée à la capture et l'analyse des processus de décision. Nous détaillons également la chaîne logicielle que nous proposons et qui permet de dérouler cette démarche. Deux cas d'étude sont illustrés; un dans le domaine des risques naturels, le jeu DecisionTrace, et un dans le domaine de la sécurité maritime, le jeu RiskGame. Ces deux cas utilisent tout ou partie de la proposition de méthodologie.

La partie IV synthétise le travail de thèse réalisé depuis l'enjeu et les objectifs initiaux jusqu'aux principales contributions proposées. Cette partie propose un regard critique sur les travaux et développements réalisés avant de proposer des perspectives de continuité dans un cadre plus large et de présenter une conclusion générale.

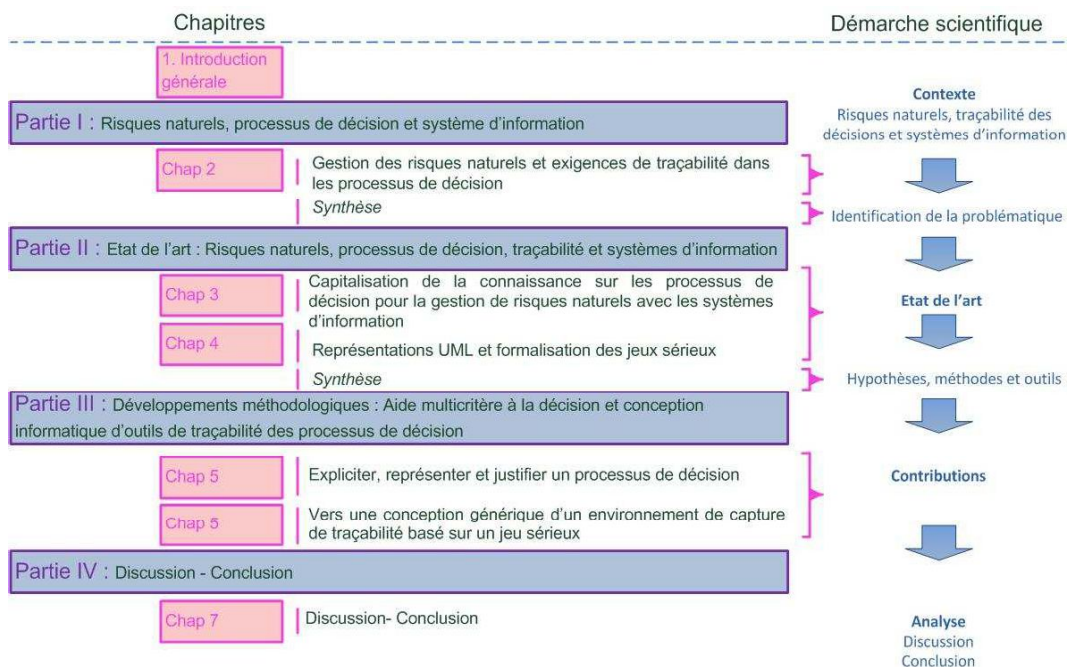


FIGURE 1.1 – Plan de la thèse.

PARTIE I

**Risques naturels, processus de
décision et systèmes d'information**

CHAPITRE 2

GESTION DES RISQUES NATURELS ET EXIGENCES DE TRAÇABILITÉ DANS LES PROCESSUS DE DÉCISION

Sommaire

2.1 Le contexte de la gestion des risques naturels	25
2.1.1 Gestion des risques naturels : définitions, politique et mise en œuvre opérationnelle	27
2.1.1.1 Gestion des risques naturels et décisions associées	27
2.1.1.2 Décisions en gestion des risques naturels : analyse de risque en contexte incertain	30
2.1.2 Approche intégrée de la gestion des risques naturels	32
2.1.2.1 Diversité des contextes de décision	32
2.1.2.2 Typologie et niveaux de décision	35
2.1.2.3 Apport potentiel de l'aide à la décision	37
2.1.3 Contexte de décision, sources d'information et traçabilité : l'exemple de l'avalanche	38
2.2 Décrire, tracer les processus de décision et aider la décision	39
2.2.1 Représenter et modéliser les processus de décision	39
2.2.1.1 Le concept de processus de décision	39
2.2.1.2 Représentation et modélisation du processus de décision	39
2.2.2 Tracer et capitaliser la connaissance associée au processus de décision	43
2.2.2.1 Le concept de traçabilité	43
2.2.2.2 Apport des méthodes d'aide multicritères à la décision à la traçabilité des processus de décision	47
2.2.2.3 Imperfection de l'information et traçabilité dans les systèmes d'information	50
2.2.3 Synthèse : apport des méthodes d'aide à la décision pour la traçabilité, support des systèmes d'information pour la qualité des informations.	55

Les modifications durables de notre environnement, induites par le profond dérèglement climatique que nous connaissons, ont largement impacté les orientations scientifiques mondiales de ces dernières années (European Environment Agency (EEA) ¹, Bureau des Nations unies pour la réduction des risques de catastrophes (UNISDR) ²). Anticiper n'est parfois déjà plus possible car il faut gérer les conséquences des catastrophes. Les territoires doivent devenir plus résilients, s'adapter et vivre des périodes intenses et profondes de transitions. De nombreux chercheurs de tous horizons (sciences de l'ingénieur, écologie, économie, biologie, etc.) contribuent, au côté des services opérationnels, à l'amélioration des processus de transition des territoires.

La gestion des risques naturels est partie intégrante de cette adaptation forcée. En 2001, [Harding et al., 2001], s'agissant de la prévention des risques naturels, soulignait la nécessaire approche intégrée de plusieurs disciplines pour traiter de différents types de risque, avec la sécurité humaine, les politiques publiques mais aussi les valeurs, intérêts et stratégies des acteurs en interaction. La prévention des risques naturels est une action nécessairement collective et interdisciplinaire.

Les risques naturels menacent les territoires en mettant en danger des personnes, des biens et des activités économiques. Leur gestion est en constante effervescence car intimement liée à des contextes variés (opérationnels, tactiques et stratégiques) qui évoluent rapidement dans le temps et concernent des zones éparses et de taille hétérogène. Dans le domaine des risques naturels, gérer (c'est-à-dire alerter, prévenir, secourir ou réparer) c'est prendre des décisions. Ces prises de décision sont des processus complexes qui répondent à des contextes variés, empreints d'incertitudes sur les informations, les acteurs, les délais. Elles peuvent s'appuyer sur des analyses techniques de risque qui reposent elles-mêmes sur des informations imparfaites. La prise de décision doit se baser sur une grande diversité d'informations provenant de sources tout aussi diverses (par leur nature et leur fiabilité).

En matière de gestion des risques, plusieurs profils de décideurs existent : un élu, un gestionnaire opérationnel, un expert scientifique ou un expert technique. Parfois, ils cumulent plusieurs compétences. Dans un contexte mouvant et incertain, caractéristique de la gestion des risques naturels, le rôle et la responsabilité du décideur sont d'identifier les informations pertinentes, de savoir où les trouver, de les combiner au mieux et de s'entourer des personnes qui ont les compétences et les expériences adéquates pour les analyser. Cela lui permet de produire sa décision qui va consister à prendre un parti. Apparaissent alors des questions simples : Est-ce que la décision prise peut être considérée comme bonne ou mauvaise ? Est-ce qu'il est possible de définir ce que serait la meilleure décision ? Sur quelles bases la décision a-t-elle été prise, est-elle légitime ?

Connaître et expliciter les différents raisonnements qui ont été mis en œuvre, les intervenants, les informations utilisées, leurs origines, leurs imperfections ainsi que les outils mis à disposition dans la prise de décision apparaît comme essentiel pour apprendre des décisions du passé et espérer des améliorations. Dans ce contexte de capitalisation des connaissances autour des décisions, caractériser et permettre la traçabilité des données et des raisonnements constituent de nouvelles pistes de recherche et de compréhension. Pour la mettre en place des systèmes informatisés sont nécessaires mais les volumes de données manipulées peuvent s'avérer considérables. Au-delà du besoin de stockage, il faut également se donner les moyens de mettre en place de façon pratique la traçabilité et d'équiper les acteurs pour qu'ils puissent l'assurer. Ceci pose des questions de conception et d'implémentation d'environnements informatiques dédiés : Comment collecter ces informations de traçabilité ? Comment les stocker, les rendre accessibles ? Comment les analyser ? Comment les porter à connaissance ?

1. <https://www.eea.europa.eu/>

2. <https://www.unisdr.org/>

Dans ce chapitre, nous introduisons le contexte de gestion des risques naturels, central dans cette thèse, et donnons les principales caractéristiques des processus de décision et de leur état initial de traçabilité. Les différents concepts que nous présentons permettent notamment d'identifier les besoins en matière de traçabilité des processus de décision.

2.1 Le contexte de la gestion des risques naturels

Ce travail de thèse traite en grande partie d'un cas d'étude sur le risque naturel d'avalanche, c'est pourquoi ce sujet sera évoqué spécifiquement de façon plus détaillée.

Expertise et analyse de risque : les bases de la gestion des risques naturels

Le risque naturel est communément défini comme le croisement entre l'aléa, qui est l'événement menaçant lié au phénomène naturel, et la vulnérabilité des enjeux, terme qui désigne les dommages potentiels auxquels on accorde une valeur (Fig. 2.1).

L'analyse de risque consiste à quantifier puis combiner les deux composants du risque naturel que sont l'aléa et la vulnérabilité. L'aléa est assimilable au phénomène décrit au travers de son intensité et de sa fréquence (pour une intensité donnée le phénomène a une certaine probabilité de se produire). La vulnérabilité correspond à la valeur des conséquences, si le phénomène considéré se produit.

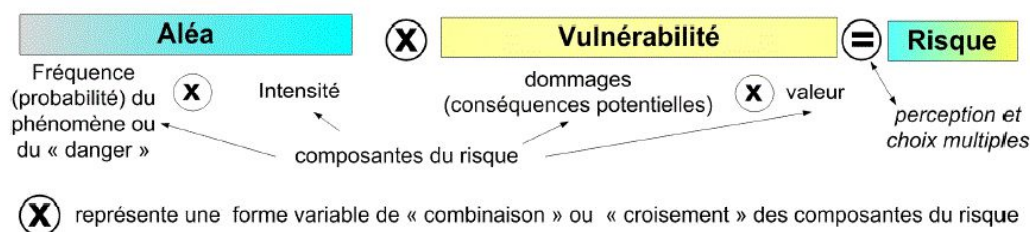


FIGURE 2.1 – Définition du risque [Tacnet, 2009].

Classiquement, on considère deux types de vulnérabilité des enjeux :

- *La vulnérabilité directe* : La vulnérabilité directe se rapporte à l'atteinte matérielle ou corporelle directement imputable à l'impact physique d'un phénomène d'origine naturelle ou anthropique sur un enjeu. Elle peut donc être de nature structurelle ou bien porter préjudice à des personnes;
- *La vulnérabilité indirecte* : La vulnérabilité indirecte (ou induite) représente les conséquences sur les activités et les fonctions associées à une infrastructure critique telle qu'un réseau routier impacté. Elle se traduit par des perturbations fonctionnelles et des dysfonctionnements permettant ensuite de mesurer la dégradation du service assuré par ce réseau. Elle peut être fonctionnelle, territoriale ou institutionnelle.

Ces différents niveaux de vulnérabilité sont illustrés pour des infrastructures critiques (Fig. 2.2, Fig.2.3). Soit l'infrastructure est endommagée elle-même et cela n'entraîne aucune autre forme de conséquence. Soit l'endommagement de l'infrastructure implique des dommages sur une autre infrastructure ou bien à une échelle encore plus grande, comme un territoire, par exemple. Considérant

le risque mouvement de terrain ou d’avalanche, l’exemple d’une route menacée qui doit être coupée à la circulation est classique. Les dégâts occasionnés peuvent ne concerner que la route en elle-même, la laissant en partie praticable ou la coupant complètement. Ils peuvent empêcher l’accès à une autre infrastructure, par exemple, l’accès à la gare des trains. Ou ils peuvent complètement empêcher l’accès à un village, une vallée, un territoire, et isoler des citoyens et des activités économiques.

Niveaux de vulnérabilité et éléments exposés	Vulnérabilité de l’infrastructure elle-même	Vulnérabilité des infrastructures dépendantes	Vulnérabilité du territoire dépendant
Élément matériel, composant de l’infrastructure	Vulnérabilité directe	Vulnérabilité directe	
Flux de service (matériel ou immatériel)		Vulnérabilité indirecte	Vulnérabilité indirecte
Sous-système territorial (socio-économique, politique, etc.)			

FIGURE 2.2 – Les niveaux de vulnérabilité des infrastructures critiques [Bouchon, 2006].

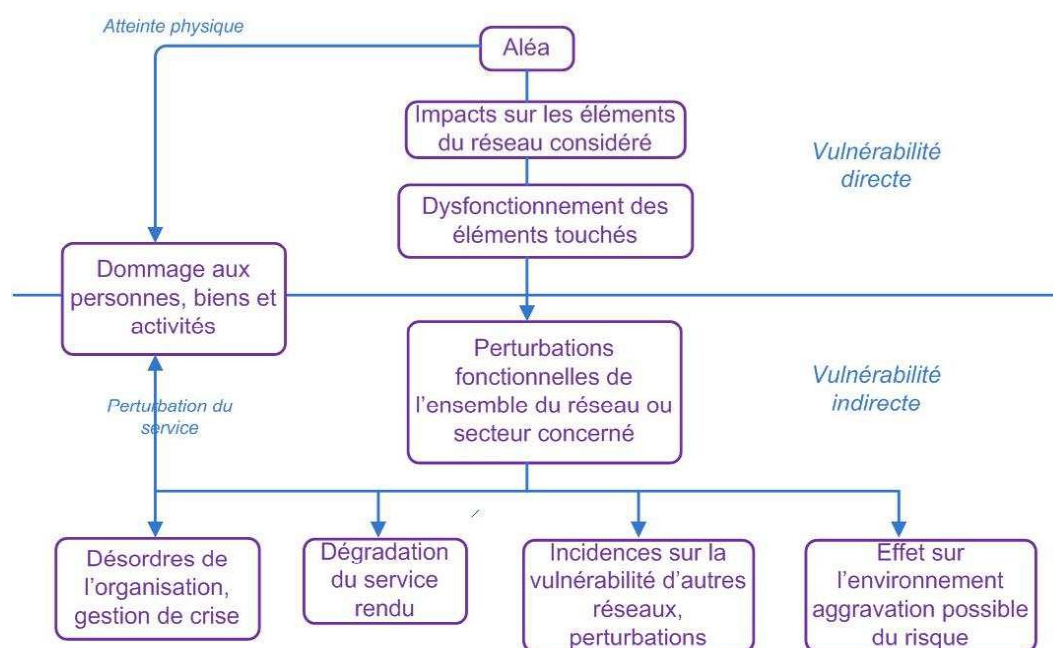


FIGURE 2.3 – La vulnérabilité directe/indirecte du réseau routier [Utasse, 2015].

Au vu des composantes du risque, une mesure de limitation de la vulnérabilité contribue donc à réduire le risque. Travailler à réduire les dommages potentiels sur les enjeux constitue une mesure de prévention. On peut alors distinguer les mesures non structurelles (information préventive, aménagement du territoire, gestion de l’occupation du sol, élaboration de plans de prévention des risques, plan communaux de sauvegarde) et les mesures structurelles (architecture, construction des bâtiments, ouvrages de protection), [Tacnet and Burnet, 2007]. De façon plus générale, la gestion des risques naturels englobe ce type d’objectif en recouvrant l’ensemble des mesures prises pour réduire le risque et limiter les dommages matériels ou humains potentiels.

2.1.1 Gestion des risques naturels : définitions, politique et mise en œuvre opérationnelle

La gestion des risques naturels repose essentiellement sur l'identification du risque, son étude et son évaluation avec l'objectif essentiel d'en limiter les conséquences.

2.1.1.1 Gestion des risques naturels et décisions associées

Le contexte des risques naturels fait partie du domaine général de la gestion des risques pour laquelle [Gleyze, 2001] a proposé une classification (Fig.2.4). Les inondations, les feux de forêts, les mouvements de terrain, les avalanches, sont cités, par exemple. Cette classification distingue les risques technologiques, urbains, sanitaires et environnementaux qui sont intégralement liés à l'activité humaine. Les risques naturels ne sont pas essentiellement du fait de l'homme mais peuvent l'être exceptionnellement, notamment pour le risque d'avalanche ou le risque de feux de forêt.

Type de risque		Risque
Risques naturels		Inondations
		Feux de forêts
		Mouvements de terrain
		Avalanches
		Séismes
		Volcans
		Cyclones, tempêtes
Risques technologiques		Risques industriels
		Risques de barrage
		Risques de transport de matières dangereuses
		Risques nucléaires
Risques urbains	Risques bâtimentaires	Menaces de ruines
		Risques diffus (chantiers, matériaux...)
	Risques de réseaux	Gaz, électricité, eau
		Transports
	Risques de société	Menaces pour la tranquillité publique, la sécurité des personnes
		Menaces pour la sécurité des biens
Risques diffus (manifestations, fêtes)		
	Conflits, attentats	
Risques sanitaires et environnementaux		Pollutions, toxicité
		Insalubrité, épidémies, maladies
		Risques alimentaires

FIGURE 2.4 – Classification des risques proposée par [Gleyze, 2001].

La France est le deuxième pays d'Europe le plus concerné par les catastrophes naturelles. Les deux tiers de ses 36 000 communes sont exposées à au moins un phénomène naturel (source : Ministère de la Transition Ecologique (MTE) ³). Le risque inondation est le principal risque national, au regard du nombre de communes concernées, de la densité du réseau hydrographique français et du coût économique des catastrophes. Récemment, un épisode méditerranéen (2 et 3/10/2020) a causé de terribles inondations et mouvements de terrain dans les alpes maritimes, dans les vallées de la Vésubie, de la Roya et de la Tinée. Malgré tout, les risques naturels en montagne ont montré à plusieurs reprises toute leur réalité. Par exemple, le glissement de terrain à La Salle-en-Beaumont en Isère en

3. <https://www.ecologie.gouv.fr/prevention-des-risques-naturels>

1994 qui a fait 4 morts et endommagé 9 maisons. Concernant le risque d'avalanche, les accidents mortels sont souvent liés à des pratiques individuelles hivernales comme le ski de randonnée, l'alpinisme ou d'autres activités pratiquées en dehors des stations de ski. Ces dernières années, ils ont entraîné le développement de nombreuses actions de sensibilisation et de formations notamment sous l'égide de l'ANENA⁴. Les événements avalancheux qui impliquent des biens et des infrastructures en dehors des pratiques récréatives existent aussi et peuvent potentiellement être meurtriers. Des événements passés ont été très médiatisés comme la catastrophe de Montroc en Haute-Savoie en 1999 où une avalanche a fait 12 morts et détruit 14 chalets. On peut citer quelques exemples, sans aucune victime, comme en 2012, où à Saint-François-Longchamps, une coulée de 8m de haut emportait un pylône de télésiège et provoquait l'évacuation de 70 skieurs, sans faire de blessés graves. En 2018, sur la commune des Houches, c'est une quarantaine d'habitations qui avaient été atteintes par une avalanche, des véhicules endommagés et une ligne électrique à haute tension coupée. Les conséquences de cette avalanche ont été grandement limitées grâce au paravalanche en place (site de Taconnaz).

La gestion de la réduction des risques naturels est organisée, la gestion des risques naturels est organisée à différentes échelles en France. En France, c'est l'État qui est en charge de la prévention des risques essentiellement via le Ministère de la Transition Écologique (MTE). Le Ministère de l'Intérieur intervient quant à lui en phase de préparation, d'anticipation et de gestion des moyens de secours lors des crises. L'État impulse notamment la réalisation et la mise à jour des Plans de Prévention des Risques Naturels (PPRN). Ce sont des documents cadres de la mise en œuvre de la politique de gestion des risques naturels. Ils sont réalisés à une maille territoriale et sous l'autorité des préfets et de façon partagée entre les collectivités locales et les Établissements Publics de Coopération Intercommunale (EPCI). En étant intégrés dans les documents d'urbanisme, ils réglementent les implantations des constructions humaines dans les zones considérées comme exposées à un ou plusieurs phénomènes naturels. La figure (Fig. 2.5) illustre les principales étapes de réalisation et d'intégration d'un Plan de Prévention des Risques, non spécifiquement dédié à un phénomène naturel particulier. Elle met en évidence la diversité des acteurs et des données impliquées dans le processus de réalisation jusqu'à sa mise en œuvre effective et nous permet d'introduire le besoin en matière de traçabilité des acteurs, des actions et des liens entre eux, nécessaire pour la qualité de réalisation mais aussi pour une bonne communication avec la population. Des progrès méthodologiques sont donc encore possibles pour l'amélioration des PPR. Le risque d'avalanche fait partie des risques naturels qui ont fait l'objet d'un guide spécifique. Ce guide propose un cadre uniforme de réalisation avec quatre axes de travail : la description des phénomènes, la prévention du risque, les méthodes d'analyse et de cartographie et l'élaboration finale du dossier⁵.

Sur les dix dernières années, l'État Français s'est attaché à développer des programmes de sensibilisation aux risques naturels qui sont devenus aujourd'hui des acteurs incontournables de la prévention :

- En 2012, l'Observatoire National des Risques Naturels⁶ (ONRN) est créé avec l'objectif de mettre en place un outil d'observation des risques, accessibles à tous, alimenté par les données des organismes qui travaillent à une meilleure connaissance des phénomènes et des impacts (MTE, ONF, MétéoFrance, le service géologique national (BRGM), INRAE, etc.);
- En 2014, le portail internet de Géorisques⁷ voit le jour avec l'objectif de sensibiliser le citoyen aux risques présents dans son environnement proche. Le portail met à disposition les connais-

4. www.anena.org

5. Rapport du délégué aux risques majeurs 2016-2017, Direction générale de la prévention des risques au Ministère de la Transition Écologique

6. <http://www.onrn.fr>

7. <http://georisques.gouv.fr>

2.1. LE CONTEXTE DE LA GESTION DES RISQUES NATURELS

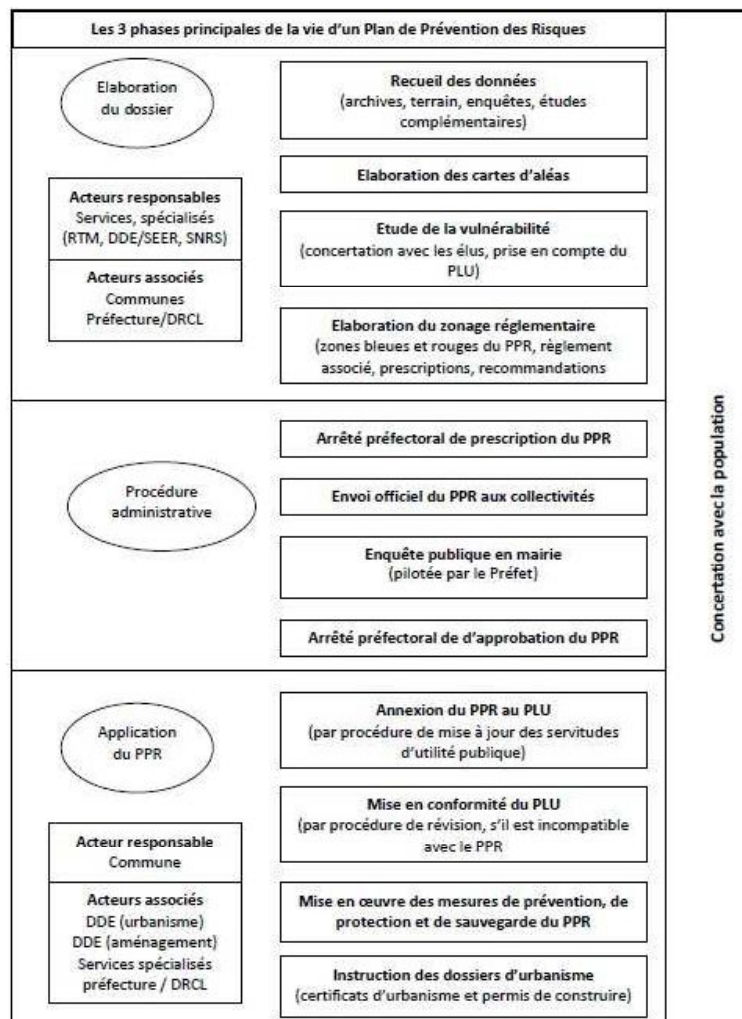


FIGURE 2.5 – Les phases principales de la vie d'un Plan de Prévention des Risques selon [De Oliveira, 2010].

sances cartographiques les plus récentes ;

- En 2011, les premières Assises Nationales des Risques Naturels (ANRN) sont organisées. Initialement, dédiées uniquement au partage des connaissances pour une meilleure prévention des risques, elles ont évolué avec les changements sociétaux. La dernière édition en 2019, a largement traité des questions d'adaptation au changement climatique et de capacité des territoires à la résilience.

La gestion des situations de crise passent par les Plans Communaux de Sauvegarde (PCS) et les plans d'Organisation de la Réponse de Sécurité Civile (ORSEC) départementaux. Les deux systèmes préparent les pouvoirs publics pour faire face aux événements, notamment en organisant les moyens de secours. La mise en œuvre des PCS est sous la responsabilité des maires, ils s'appuient sur les informations d'un document majeur : le Dossier d'Information Communal sur les Risques Majeurs (DICRIM). Le plan ORSEC est sous la direction du préfet, même si parfois l'événement dépasse les limites d'un département. Globalement, l'essentiel des responsabilités et mises en œuvre est porté par les maires et les préfets.

2.1.1.2 Décisions en gestion des risques naturels : analyse de risque en contexte incertain

A un niveau très fin, la gestion des risques naturels peut être considérée comme une série de décisions complexes qui contribuent à un des objectifs de la prévention des risques. Le gouvernement a établi sept objectifs de la prévention : La connaissance des aléas, la surveillance des phénomènes, l'information préventive, la maîtrise de l'urbanisation, la réduction du risque, la préparation à la crise ou le retour d'expérience⁸. Cette gestion couvre un large panel d'actions à court terme, moyen ou long terme. Spécifiquement en matière de risques naturels, on s'appuie sur des analyses de risque ou expertises pour soutenir les décisions et les actions (Cf. Sec 2.1.2). [Harding et al., 2001] définissent trois grandes phases durant lesquelles des analyses de risque sont réalisées : Pré-crise, crise et post-crise. De façon cyclique, chaque gestion de crise d'un nouvel événement exploite les apprentissages tirés des événements du passé et peut les remettre en question pour contribuer à améliorer les mesures de gestion pour l'avenir. C'est pourquoi, une vision cyclique des phases de gestion est proposée et souligne l'importance de l'expertise, à chacune des phases. Elle est considérée comme l'outil technique de référence de la prise de décision en matière de gestion des risques naturels (Fig.2.6). Les acteurs-décideurs (État, responsables de la sécurité publique, collectivités, gestionnaires d'infrastructures) s'appuient sur les expertises pour organiser les actions et prendre les décisions. Ces phases sont détaillées ci-dessous :

- La *phase de prévention* durant laquelle la connaissance de l'aléa est continuellement développée, des actions sont menées pour faire prendre conscience des risques, des aménagements sont réalisés et des stratégies de protection sont établies;
- La *phase de préparation* durant laquelle la planification de la crise éventuelle est organisée (secours, ressources);
- La *phase de crise* durant laquelle il faut à la fois réduire les effets de ce qui peut encore l'être (alertes, mises à l'abri) et organiser les secours nécessaires ou les évacuations;
- La *phase post-crise* durant laquelle il faut estimer les dégâts pour pouvoir lancer les indemnisations et les reconstructions;
- La *phase de réparation* durant laquelle des actions de reconstruction ou de renforcement sur le long terme sont programmées.

En gestion des risques naturels, la prise de décision repose sur des expertises qui comprennent des analyses de risque. Le processus d'expertise est complexe et peut être considéré comme un enchaînement de décisions élémentaires [Tacnet, 2009]. La prise de décision se trouve confrontée à au moins deux sources d'incertitudes provenant de la qualité des données d'une part et des analyses de risque de l'autre, notamment du fait de son caractère aléatoire et du défaut de connaissance du phénomène (la connaissance ne sera jamais parfaite). Les différents types d'information qui alimentent la prise de décision sont autant d'éléments qui se propagent dans le processus. Selon les phases de gestion, ces types d'informations et leurs sources varient (Fig.2.7).

8. Sept piliers de la prévention des risques en France <https://www.ecologie.gouv.fr/prevention-des-risques-majeurs>

2.1. LE CONTEXTE DE LA GESTION DES RISQUES NATURELS

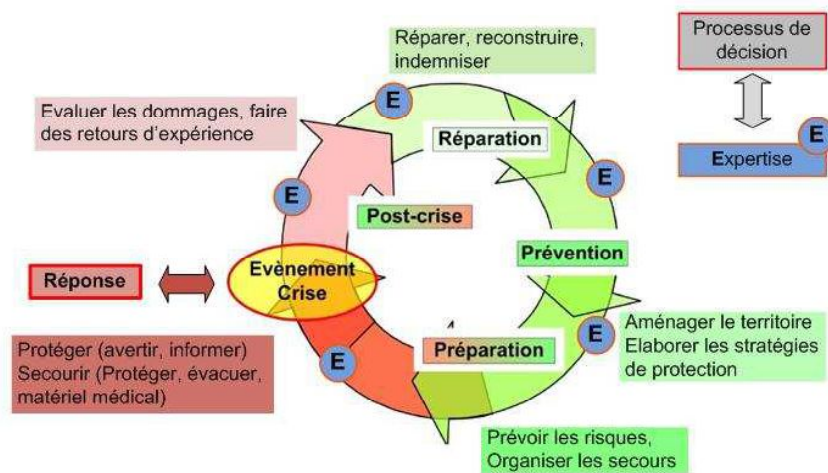


FIGURE 2.6 – L'expertise (et les processus de décision qui lui sont associés) sont indissociables des différentes phases du cycle de gestion du risque naturel, selon [Tacnet, 2009].

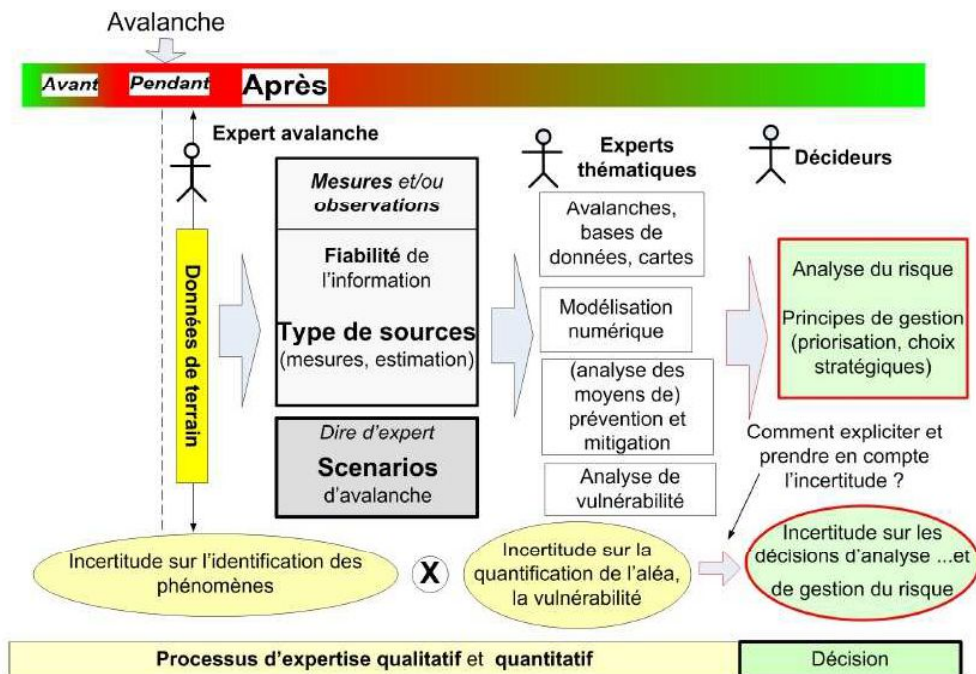


FIGURE 2.7 – Les informations impliquées dans les expertises et les décisions présentent une grande diversité et sont sources d'incertitudes qui se propagent tout au long du processus, [Tacnet, 2009].

2.1.2 Approche intégrée de la gestion des risques naturels

La gestion des risques recouvre l'ensemble des mesures et des méthodes grâce auxquelles le niveau de sécurité recherché sera atteint. L'approche de gestion des risques est dite *intégrée* lorsque tous les types de dangers naturels sont pris en compte, que toutes les phases du cercle de gestion sont considérées, que tous les acteurs responsables participent à la planification des mesures et à leur mise en œuvre, et que toutes les formes de mesures sont incluses dans la planification. Elle complète une approche classique avec l'exigence de durabilité de ses propositions; elle doit être écologiquement et socialement acceptable, et économiquement équilibrée⁹ (Fig. 2.8).

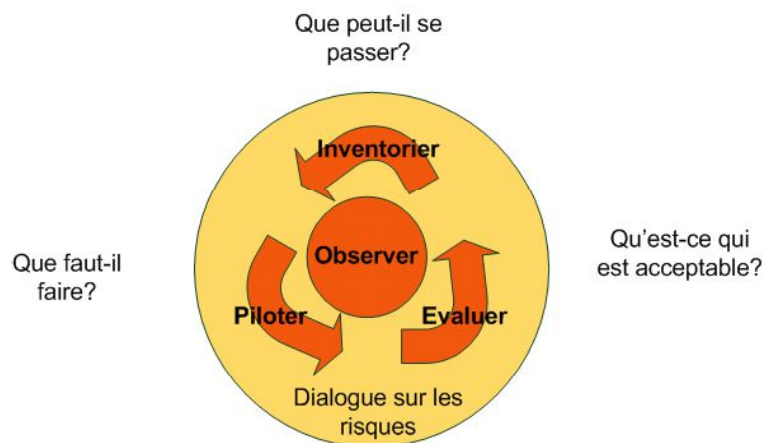


FIGURE 2.8 – Les éléments de la gestion intégrée des risques⁹.

2.1.2.1 Diversité des contextes de décision

La complexité des problèmes de décision en matière de gestion des risques naturels nécessite une approche intégrée pour soutenir les décideurs pour éviter un double écueil de parcellisation du savoir et de conception éclatée du management. Cette approche suggère l'intégration des approches disciplinaires, des types de risques, des composantes de la sécurité humaine, des politiques publiques, et des valeurs, intérêts et stratégies des acteurs en interaction [Harding et al., 2001]. Cette approche peut par exemple être illustrée sur couloir d'avalanche (Fig. 2.9), composé d'une zone de départ où la neige s'accumule, d'une zone d'écoulement et d'une zone d'arrêt, lieu où l'écoulement neigeux peut endommager des enjeux. L'intégration des disciplines scientifiques apparaît plutôt dans les phases d'analyse de risques alors que l'intégration globale s'ouvre à des perspectives encore plus larges (politique, psychologie, économie) plutôt sur la gestion globale du risque. L'aide à la décision est introduite comme un moyen d'intégration des approches entre l'analyse de risque et la gestion du risque, notamment dans un contexte d'incertitude. Quelques exemples de décisions associées à leur contexte sont présentés pour montrer cette diversité (Tab 2.1).

En définitive, les décisions techniques sont principalement liées à l'analyse de risque et ne sont qu'une partie des résultats nécessaires à la gestion intégrée des risques [Tacnet et al., 2014]. La gestion intégrée des risques peut ainsi être décomposée en trois étapes qui interagissent. Elle démarre avec l'analyse de risque, et se poursuit avec l'évaluation du risque pour un objectif final de gestion du risque (Fig. 2.10, Fig. 2.11). Dans le cadre de notre travail, ce constat pose trois questions fondamentales :

9. <https://www.bafu.admin.ch/>

2.1. LE CONTEXTE DE LA GESTION DES RISQUES NATURELS

Contexte de décision	Exemple d'objectif de décision
Exemples d'objectifs de décision pour des experts scientifiques	
Analyse du niveau de risque pour cartographie	Quel est le niveau de risque d'une zone?
Exemples d'objectifs de décision pour des responsables de la sécurité publique	
Stratégie de protection et construction d'ouvrages	Quel choix d'ouvrage? Quel dimensionnement? Quelle efficacité? Quelles plantations pour réduction du risque?
Gestion des infrastructures	Doit-on fermer une route? Doit-on équiper une route de capteurs? Doit-on évacuer des habitations? Doit-on rassembler dans un lieu public?
Gestion nationale	Peut-on déclarer l'état de catastrophe naturelle?
Exemples d'objectifs de décision pour des juges	
Conséquences juridiques	Quelles responsabilités établir?
Exemples d'objectifs de décision pour des compagnies d'assurance	
Assurances	Comment établir un régime d'indemnités en cas de sinistre? Quel niveau de dédommagement?

TABLEAU 2.1 – Exemples d'objectifs et de contexte de décision en gestion des risques naturels.

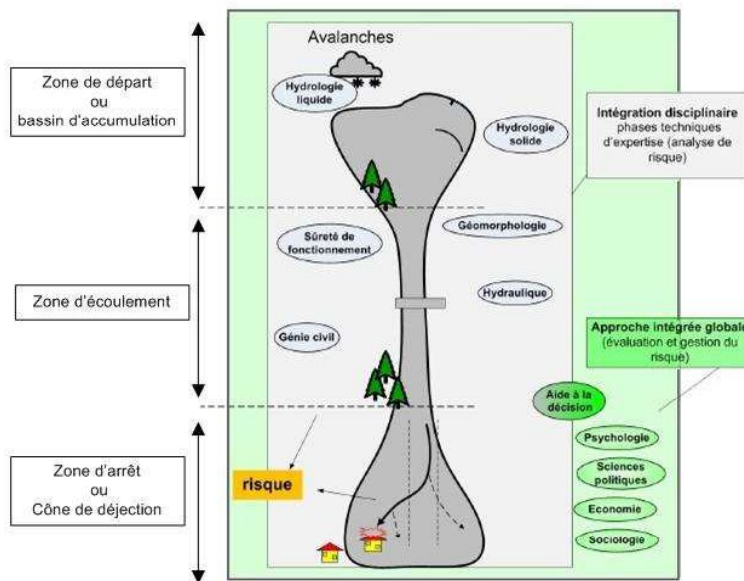


FIGURE 2.9 – Approche intégrée globale pour l'expertise en exemple pour le risque d'avalanche, [Tacnet, 2009].

- Pour l'analyse de risque, comment considérer toute la diversité des facteurs d'influence et les imperfections qui leur sont associées?
- Pour l'évaluation du risque, comment prendre en compte les préférences du décideur et sa perception (évaluation) des risques?
- Pour la gestion du risque, comment choisir et adapter des méthodes d'aide à la décision?

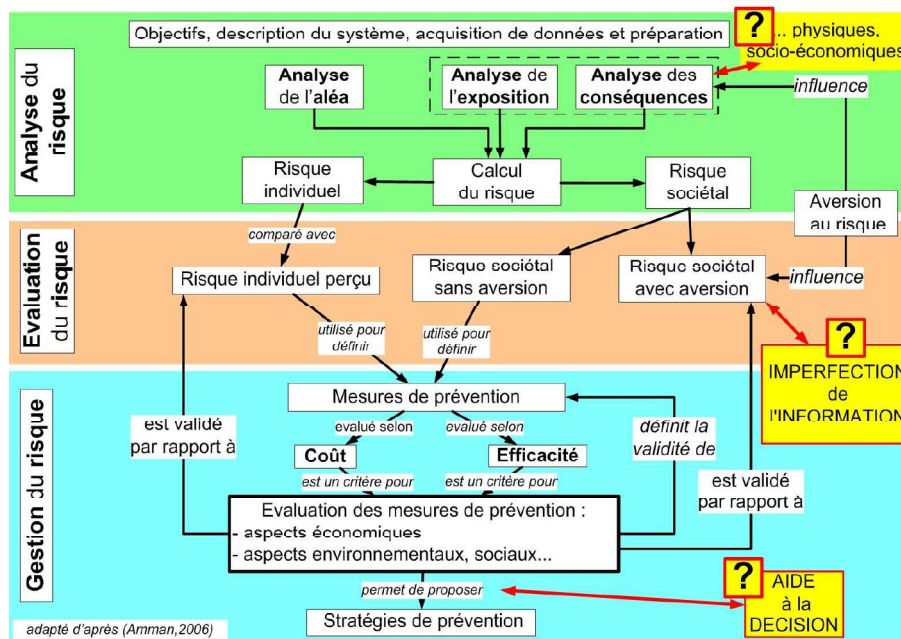


FIGURE 2.10 – De l'analyse de risque à la gestion du risque, [Tacnet et al., 2014].

On souligne l'importance des contextes différents de prises de décision : d'un côté, les aspects techniques de la prise de décision associés à l'analyse de risque, et de l'autre l'intégration d'évaluations et de choix sociaux pour des décisions plus globale de gestion de risque (Fig. 2.11).

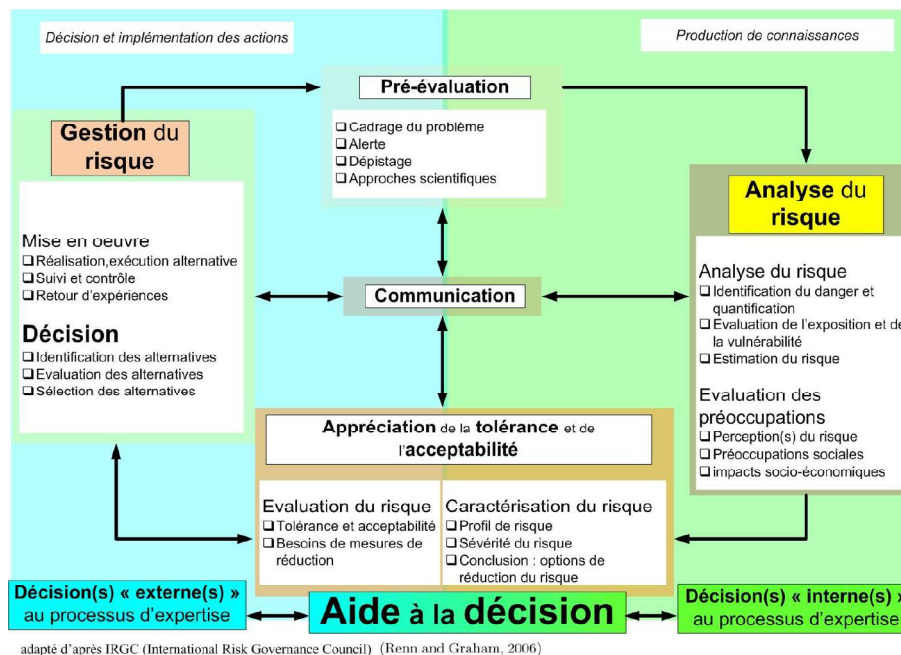


FIGURE 2.11 – Le processus d'expertise dans l'analyse de risque n'est qu'une partie du contexte global de décision, [Tacnet et al., 2014].

2.1.2.2 Typologie et niveaux de décision

La criticité d'une décision est liée à l'importance des enjeux. Sa complexité est liée au nombre d'acteurs, à la nature et à la qualité de l'information disponible. Décider est une action humaine imparfaite, perfectible et sujette à des points de vue différents. [Kahneman and Tversky, 2013] considèrent par exemple que toute décision mobilise deux parties du cerveau pour utiliser l'intuition (réaction automatique) et la réflexion (conscience). Dans ce cadre, les décisions prises sur la base d'une intuition ne sont pas forcément mauvaises. Ceci pose déjà la question de comprendre, comment la décision a été prise. Dans le domaine des risques, les analyses ne sont pas toujours complètement objectives. [Kahneman and Tversky, 2013] introduisent la théorie des perspectives : le risque est une notion subjective où tous n'évaluent pas de la même façon les gains et les pertes.

[Mintzberg et al., 1976] distingue trois façons de prendre une décision :

- La prise de décision individuelle : le processus de décision est porté par un individu qui répond à une logique de comportement reproductible. Est-ce que je confirme ma sortie en ski de randonnée du jour?
- La prise de décision en groupe : les interactions entre les acteurs du groupe influencent le processus de décision pour obtenir un consensus. Quelle orientation stratégique donner à une équipe de recherche?
- La prise de décision organisationnelle : le décideur compile avec un environnement stratégique de management qui cadre le processus de décision. Comment organiser les ressources humaines pour un travail en équipe?

De manière générale, [Ansoff, 195] considère trois niveaux dans la prise de décision : stratégique, tactique et opérationnel (Pyramide sur Fig. 2.12). Dans le domaine de la gestion des risques naturels, ces niveaux de décision vont se positionner dans les différentes phases de gestion du risque :

- Les décisions *stratégiques* déterminent une orientation sur le long terme et sont généralement prises lors des phases de prévention. Elles ont des conséquences sur l'organisation générale de la gestion des risques naturels. Par exemple, la création d'observatoires des risques naturels à l'échelle européenne;
- Les décisions *tactiques* concernent le pilotage global du système de gestion des risques naturels et impactent la gestion opérationnelle courante. Elles sont prises lors des phases de prévention, de préparation ou de réparation. Par exemple, elles réorganisent les réseaux de communication, repositionnent les ressources, fixent des budgets;
- Les décisions *opérationnelles* sont des décisions fréquentes, généralement urgentes, et dont la portée a une durée limitée. Elles sont prises par des gestionnaires dans toutes les phases de la gestion du risque et peuvent faire l'objet de procédures. Par exemple, envoyer les secours, fermer l'accès à une zone, prioriser les activités quotidiennes.

La part d'incertitude qui entre en jeu dans les décisions est grandissante depuis les décisions opérationnelles jusqu'aux décisions stratégiques. A l'inverse, la fréquence des prises de décision est grandissante depuis les décisions stratégiques jusqu'aux décisions opérationnelles. Les niveaux de prise de décision peuvent aussi être comparés les uns par rapport aux autres en fonction de trois variables : la place qui est accordée à la dimension scientifique, l'impact de la décision et le niveau d'information publique (Graphique radar Fig. 2.12).

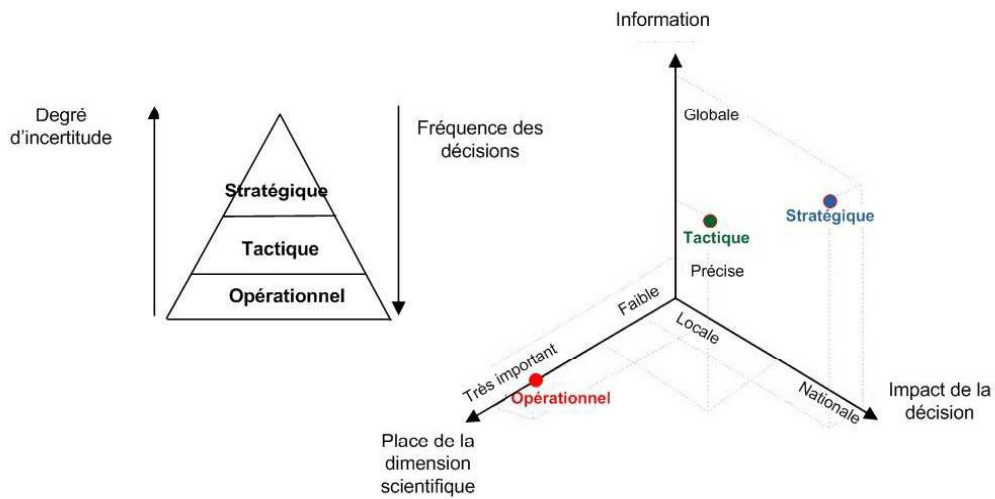


FIGURE 2.12 – Les trois niveaux de la prise décision de la pyramide d’Anthony et les trois variables déterminantes des niveaux.

2.1.2.3 Apport potentiel de l'aide à la décision

Pour chacun d'entre nous, l'activité de décision est quotidienne mais sans en avoir forcément conscience, l'activité d'aide à la décision l'est également [Tsoukiàs, 2006]. Une décision simple et individuelle peut appeler à une demande d'avis d'un proche, une décision complexe et collective peut nécessiter l'avis d'un ou plusieurs experts. Dans notre cas, nous considérons que l'aide à la décision est un outil pour servir une approche intégrée d'évaluation du risque [Tacnet, 2009].

Selon [Tsoukiàs, 2006], le processus d'aide à la décision est l'ensemble des activités liées à l'aide d'un décideur impliqué dans un ou plusieurs processus de décision. La discipline de l'aide à la décision regroupe un ensemble de méthodes pour analyser et formaliser un problème, en proposer une solution et la justifier. Nous adaptons le vocabulaire à notre domaine d'étude mais les éléments suivants la caractérisent :

- au moins deux participants ; le client (ou un décideur désigné) et l'analyste (ou un expert désigné) ;
- au moins deux objets du processus ; les préoccupations du client (décideur) et les motivations de l'analyste ;
- un ensemble de ressources qui inclut la connaissance que le client (décideur) a sur le domaine de ses préoccupations, la connaissance méthodologique de l'analyste (expert) et le temps disponible ;
- un objet de convergence, un métaobjet, qui consiste en une représentation partagée (entre les participants) des préoccupations du client (décideur).

Le développement d'un processus d'aide à la décision aboutit à la production de quatre éléments : une représentation de la situation problématique, une formulation de problème, un modèle d'évaluation et une recommandation finale.

2.1.3 Contexte de décision, sources d'information et traçabilité : l'exemple de l'avalanche

Comme pour tous les risques naturels, les contextes de décision pour la gestion du risque d'avalanche sont complexes. L'ensemble des composants qui entrent en jeu pour caractériser le contexte de décision sont analysés spécifiquement pour ce phénomène. Deux points de vue se complètent : une approche socio-économique pour détailler les éléments globaux et un niveau plus fin pour considérer les éléments techniques. Le point de vue socio-économique du contexte prend en compte :

- Les acteurs : les décideurs, les gestionnaires, les experts scientifiques du phénomène, du terrain, les juges, les assureurs, les citoyens, les acteurs du territoire;
- Les enjeux du territoire : des personnes, des biens, des économies;
- La phase de gestion considérée : prévention, préparation, crise, post-crise, réparation (Fig. 2.6);
- Les échelles de gestion et d'impact de la décision : Pays, vallée, ville, route, protection.

Le point de vue technique de l'analyse de risque considère les éléments techniques suivants :

- L'historique d'événements du site qui renseigne sur le type d'événements qui peut se produire pour ce site, leur fréquence, les enjeux potentiellement concernés;
- Des informations descriptives de la morphologie;
- Des données nivo-météorologiques qui permettent de faire un bilan sur la météo, l'état du manteau neigeux et d'envisager son évolution possible;
- Des informations sur la présence (ou l'état) d'ouvrages ou de protections pouvant éventuellement freiner cet aléa.

L'analyse de risque est basée sur une multitude d'informations qui proviennent de sources hétérogènes. En France, le phénomène d'avalanche fait l'objet de programmes nationaux d'observation et de collecte de données. Le Ministère de la Transition Écologique (MTE) soutient des programmes institutionnels d'observation des avalanches qui ont pour objectifs de contribuer à l'amélioration de la connaissance du phénomène d'avalanche, à la prévention du risque et au soutien de l'action publique. Le ministère a choisi deux opérateurs pour la mise en place opérationnelle de ces programmes : l'Office National des Forêts (ONF) au travers de son service de Restauration des Terrains de Montagne (RTM) et l'Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement (INRAE) avec en particulier l'unité de recherche Erosion Torrentielle Neige et Avalanches (ETNA). Un portail d'information¹⁰ met à disposition les données publiques et présente le système d'information qui soutient les programmes ainsi que les projets de recherche autour des données collectées. Les informations collectées ne concernent que le territoire français. Le système national d'information des bases de données avalanche comprend trois dispositifs :

- La Carte de Localisation des Phénomènes d'Avalanche (CLPA) est une carte descriptive des phénomènes d'avalanches observés ou historiques. Elle décrit les limites les plus extrêmes connues pour chaque avalanche référencée. Ces données géographiques sont complétées par des enquêtes de terrain qui contiennent des témoignages, des photographies;
- L'Enquête Permanente sur les Avalanches (EPA) est une chronique descriptive, de plus de cent ans, d'événements d'avalanches survenus sur des sites sélectionnés. Ces données descriptives sont complétées par des données géographiques de localisation et des photographies;
- Le dispositif des Sites habités Sensibles aux Avalanches (SSA) est un inventaire de sites habités, concernés par un risque d'avalanche, qui propose une classification des sites en fonction de leur sensibilité au risque d'avalanche selon la méthode ([Rapin et al., 2004], [Rapin et al., 2006]). Ces données descriptives sont complétées par des données géographiques de localisation et des photographies.

10. <http://www.avalanches.fr>

L'exigence de qualité des informations stockées dans ces systèmes d'information a fait l'objet de procédures de validation qui ont cadré leur conception. Par exemple, la fiche descriptive d'un événement d'avalanche connaît plusieurs phases de vérification avant d'être considérée comme valide. Différents états de la donnée sont considérés et différents acteurs, portant des expertises différentes sur la donnée, participent au processus de validation. On peut citer les opérateurs de saisie, les observateurs de terrain, les personnes en charge de la validation des fiches ou en charge de la validation de la complétude de fin de saison qui interviennent dans le cycle de vie de la donnée. Conserver une trace de ces interactions constitue en quelque sorte l'historique de ces données, c'est ce que l'on considère comme la traçabilité de la donnée. Ces trois dispositifs contribuent ainsi aux progrès méthodologiques sur la connaissance du phénomène avalanche et autour de l'analyse de risque. Même si ces données sont nécessaires et particulièrement utiles lors d'expertises elles sont insuffisantes en matière d'évaluation stricte du risque d'avalanche.

2.2 Décrire, tracer les processus de décision et aider la décision

En 1981, le livre de [Lagadec, 1981] marquait un tournant dans la perspective de l'expertise en matière de risque. Il travaillait sur les risques technologiques et son constat s'applique aussi aux risques naturels. Jusque là, on attendait de l'expert qu'il donne la solution parfaite. [Lagadec, 1981], quant à lui, met en évidence l'intérêt de présenter objectivement l'incertitude et les indéterminations scientifiques. Il écorne ainsi l'image d'autorité incontestée de l'expert mais ouvre la possibilité de débat. *"L'expert doit ouvrir la discussion, non la clore"*. Révéler cette part d'incertitude dans les expertises et plus globalement dans les processus de décision qui s'appuient sur les expertises, passe par un suivi précis du processus global (données, raisonnements, acteurs) et la mise en place d'une traçabilité spécifique.

2.2.1 Représenter et modéliser les processus de décision

2.2.1.1 Le concept de processus de décision

Habituellement, évoquer une décision revient à évoquer son résultat final, ce qui a été acté par la décision. On considère moins le fait qu'elle soit la conséquence d'un processus complexe qui traduit un enchaînement d'actions et d'interactions entre de multiples intervenants (Fig. 2.13). La décision se distingue du *processus de décision* [Mintzberg et al., 1976]. Une décision est un engagement spécifique à l'action. Un processus de décision est l'ensemble des actions et des facteurs dynamiques impliqués tout au long du processus. Il débute par l'identification d'un stimulant pour l'action et se termine par l'engagement spécifique à l'action. Prendre une décision c'est alors mettre en œuvre le processus qui aboutira à une décision ([Mintzberg et al., 1976]).

2.2.1.2 Représentation et modélisation du processus de décision

Comprendre comment un décideur arrive jusqu'à la prise d'une décision, revient à essayer de décrire sa perception du problème et le mode de résolution de problème qu'il a choisi. Ceci nécessite de proposer une forme de modélisation de l'environnement et de la dynamique de la décision. Dans ses travaux sur l'intelligence artificielle, pour la prise de décision en politique, [Schneider, 1996] propose de modéliser le décideur dans son environnement plutôt que la décision en elle-même. Malgré une

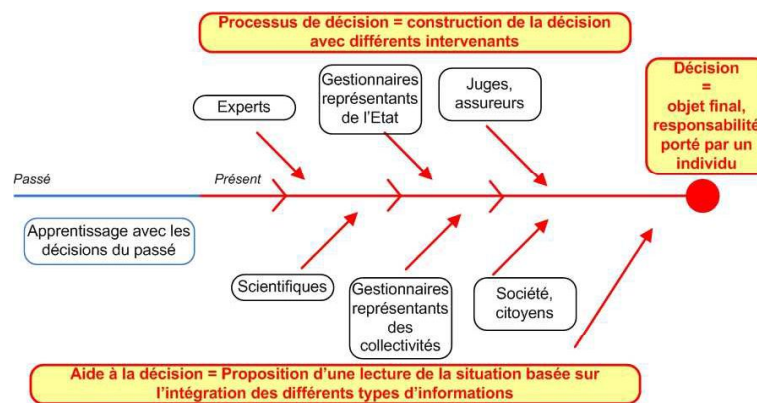


FIGURE 2.13 – Influence des profils d'acteurs dans le processus de décision global, apport potentiel de l'aide à la décision.

illustration de situation simple (Fig. 2.14), il met en évidence l'importance d'associer simultanément plusieurs facteurs complexes et fortement connectés. Il identifie quatre facteurs : la perception de la situation en fonction de l'état des connaissances, les activités de résolution de problèmes, l'interaction entre les acteurs de la décision et enfin la modélisation de l'environnement. Pour modéliser ces processus, [Mintzberg et al., 1976] propose trois méthodes : l'observation de groupes de travail, le recensement et l'analyse de décision du passé et les enquêtes par questionnaires, interviews.

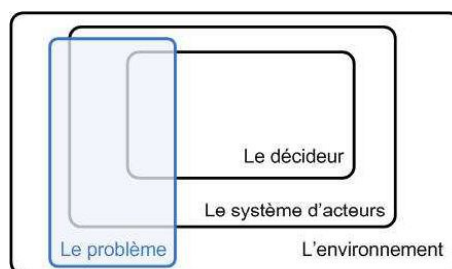


FIGURE 2.14 – La complexité de la décision politique [Schneider, 1996].

Décrire le contexte de décision est la première étape pour imaginer aider à prendre une décision. Chaque contexte est différent et implique la conception d'un modèle d'aide à la décision spécifique. Une approche pragmatique, consiste à répondre à une série de questions. Il est possible d'analyser un processus ou contexte de décision en utilisant la méthode empirique QQQCCP utilisée en journalisme (pour « Qui? Quoi? Où? Quand? Comment? Combien? Pourquoi? ») ou 5WH2 en anglais. Il s'agit de répondre à une série de questions basiques et intuitives mais pertinentes pour caractériser le cadre de la décision [Tacnet et al., 2014] :

- **Who** : Qui décide? Quels acteurs participent à la décision?
- **What** : Qu'a-t-il été décidé?
- **Where** : Où est établie la décision et quelle(s) zone(s) concerne t-elle?
- **When** : Quand la décision a-t-elle été prise? A partir de quand s'applique t-elle? Et jusqu'à quand?
- **Why** : Pourquoi cette décision a-t-elle été prise? Quels critères ont le plus pesé?
- **How** : Comment la décision a-t-elle été prise? Quelles sont les conditions qui ont influencé la décision? Quels sont les scénarios qui ont été envisagés?

- **How much** : Combien coûte la décision?

[Tacnet, 2009] propose une modélisation du processus de décision orientée système d'information, qui met en jeu les différents types de données, de traitements et de décisions intermédiaires qui sont intervenus, et révèle les besoins en traçabilité (Fig. 2.15). La traçabilité concerne la représentation et l'archivage des données en caractérisant leur portée spatiale, leur nature, leurs imperfections et leurs sources. Elle vise également à décrire l'ordre et la nature des flux de données et les traitements utilisés.

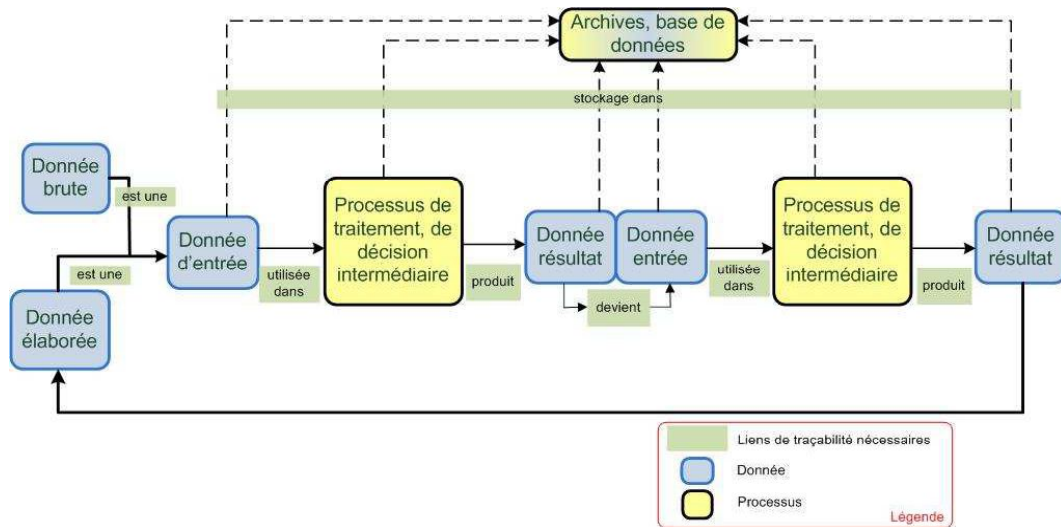


FIGURE 2.15 – Traçabilité nécessaire dans le processus de décision, adapté de [Tacnet, 2009].

L'imperfection des informations est partie intégrante du processus de décision et conditionne la décision (Fig. 2.16). Dans les modélisations des processus, elle doit être considérée comme indissociable des informations. [Smets, 1997] définit quatre formes d'imperfection de l'information :

- L'*incomplétude* correspond à l'absence de connaissances ou de connaissances partielles sur le système
- L'*incertitude* se réfère à un état de la connaissance qu'a un agent (un individu, un système informatique) de la relation entre l'état réel de la nature et l'appréciation de cet état de la nature.
- L'*imprécision* concerne le cas où l'information est insuffisante pour permettre à une personne de répondre à la question qu'il se pose.
- L'*inconsistance* est une forme d'imperfection de l'information provenant d'informations conflictuelles.

Stocker l'ensemble de ces éléments au sein de bases de données apparaît donc comme essentiel. La traçabilité permet de reconstituer les processus de décision associés aux éléments utilisés et disponibles à l'époque pour analyser, justifier la pertinence de manière contextuelle et objective. Un des enjeux pour permettre une traçabilité objective du processus de décision consiste également à représenter et stocker l'imperfection de l'information associée aux processus de décision.

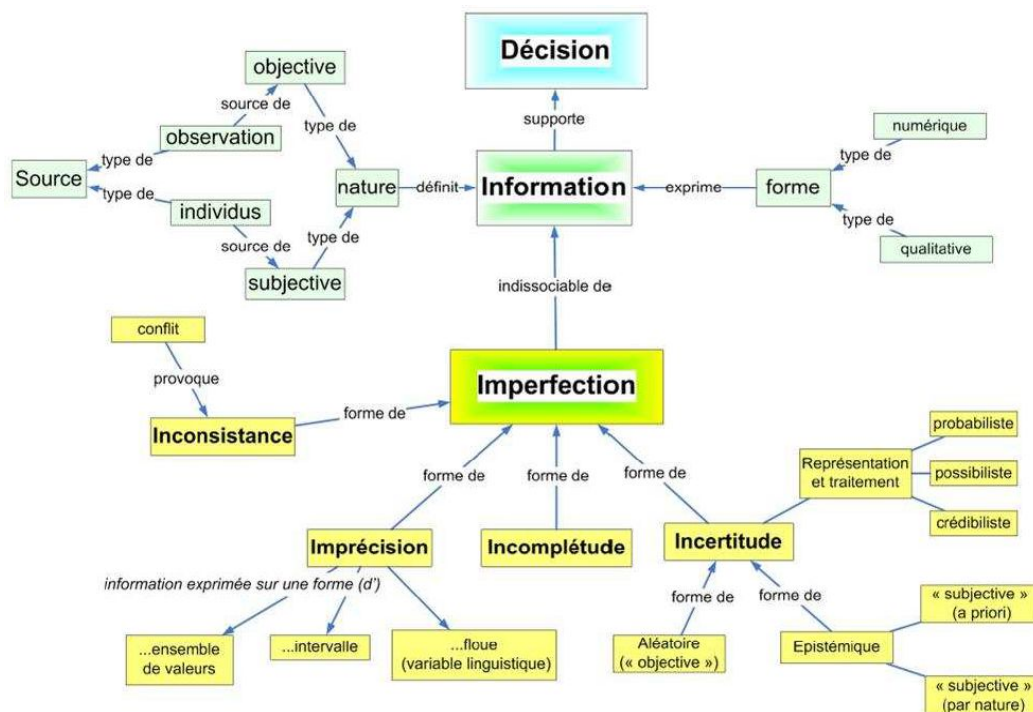


FIGURE 2.16 – L'imperfection de l'information conditionne la décision [Tacnet, 2009].

2.2.2 Tracer et capitaliser la connaissance associée au processus de décision

2.2.2.1 Le concept de traçabilité

Dans le langage commun, la traçabilité évoque la possibilité de suivre un produit aux différents stades de sa production, de sa transformation et de sa commercialisation (définition *Larousse, 2020*). Ceci est bien connu et développé dans les filières alimentaires, par exemple. Plus proche de nos domaines d'application, la norme [ISO9000, 2015], dédiée aux systèmes de management, définit la traçabilité comme étant l'aptitude à retrouver l'historique, la mise en œuvre ou l'emplacement d'un objet. En 2008, [Bendaoud, 2008] réalisait un travail de synthèse sur les différentes définitions de la traçabilité selon les filières concernées (Fig.2.17), mais également sur les types de traçabilité possibles. Nous les avons synthétisées en fonction des objectifs de traçabilité attendus (Fig.2.18).

Définitions de la traçabilité ²⁵	Sources des définitions	Objectif / mission assignés à la traçabilité	Domaines de mise en œuvre
Aptitude à retrouver l'historique, la mise en œuvre ou l'emplacement de ce qui est examiné.	Norme ISO 9000 - version 2000	Générique	Multi-filières
La capacité à retracer à travers toutes les étapes de la production, de la transformation et de la distribution, le cheminement d'une denrée alimentaire, d'un aliment pour animaux, d'un animal producteur de denrées alimentaires ou d'une substance destinée à être incorporée ou susceptible d'être incorporée dans une denrée alimentaire ou un aliment pour animaux.	Le règlement CE N°178/2002	Dans l'esprit de ce règlement, l'objectif ciblé est l'assurance de la sécurité alimentaire.	Filières agroalimentaires
L'aptitude à suivre (en temps réel) ou à reconstruire (en temps différé) l'itinéraire logistique de produits simples ou composés à travers toutes les étapes de production, transformation et distribution.	[van der Heijden et Vernède, 2004]	Définition orientée logistique	Filières agroalimentaires
L'aptitude à suivre en temps réel (<i>track</i>) et/ou reconstruire l'historique (<i>trace</i>) des flux de produits au sein d'une chaîne de production et de distribution.	[Vernède et al., 2003]	Définition orientée logistique	Multi-filières
Transmission de toutes les informations, concernant les caractéristiques du produit et son processus d'élaboration à travers la chaîne de valeur, qui peuvent être pertinentes pour les consommateurs et leur décision d'achat au niveau des points de vente.	[Peupert et Theuvsen, 2003]	Définition orientée marketing	Multi-filières
Aptitude à identifier un animal, retracer ses mouvements tout au long de sa vie et ensuite la tracer viande qui en est issue jusqu'au consommateur final.	[Gellynck et Verbeke, 2001] (cités dans [Roos et Dulsrud, 2004])	Définition orientée sécurité alimentaire	Filières animales
Une procédure qui commence par l'identification d'un individu (animal) ou d'un groupe d'individus infectés, et qui trace toutes les infections possibles dans les deux directions; en amont vers la source et en aval vers les contacts.	[Elbers et al., 2001]	Sécurité sanitaire des animaux	Filières animales
Aptitude à tracer l'historique d'un produit (agricole) y compris l'identité des exploitations agricoles et les entreprises de commercialisation tout au long de la chaîne logistique.	[Sumner et Pouliot, 2006]	Définition orientée sécurité alimentaire	Filières agricoles
L'aptitude à préserver et accéder à l'identité et les attributs des objets physiques d'une chaîne d'approvisionnement.	[Töyrylä, 1999]	Définition orientée logistique	Multi-filières
L'ensemble des relations entre des entités entre elles et entre des entités et les process dont elles sont issues.	[Viruega, 2005]	Générique	Multi-filières

FIGURE 2.17 – Compilation d'un ensemble de définition de la traçabilité proposées à travers la littérature [Bendaoud, 2008].

Ceci a amené [Bendaoud, 2008] à présenter trois axes de valorisation de la mise en place d'une traçabilité.

- Un axe juridique et réglementaire : preuves de respect des réglementations, culpabilité ou opposabilité en justice;
- Un axe commercial et économique : accessibilité de certains marchés par preuve d'un niveau de traçabilité, produits non-conformes et rappels, assurances, fidélisation des consommateurs, lutte contre les contrefaçons, service après-vente;
- Un axe de gestion des flux et d'amélioration continue : flux logistiques, indicateurs de pilotage.

Dans le domaine des risques naturels, le concept de traçabilité des données s'écarte un peu des attentes habituelles de traçabilité pour un produit fini ou son processus de réalisation. Dans certains cas, comme par exemple pour la conception d'un ouvrage de protection, on pourrait cependant le considérer comme un produit. Mais la traçabilité qui nous intéresse désigne l'ensemble des informations à enregistrer pour améliorer la connaissance, l'origine et la transformation potentielle des

Objectif de traçabilité : la nature des objets tracés			
Traçabilité de la matière	Traçabilité opératoire	Traçabilité produit	Traçabilité de l'activité
Reconstitution des composants d'un produit fini	Historique des opérateurs partie prenant du processus de production	Historique d'un produit dans une chaîne logistique	Historique des activités enregistrées sur les étapes de vie d'un produit
Objectif de traçabilité : le périmètre couvert			
Traçabilité interne	Traçabilité externe	Traçabilité amont	Traçabilité aval
Historique sur les attributs et les opérateurs subis par le produit	Historique des acteurs extérieurs au processus principal de production	Historique des activités en amont et établissement des responsabilités	Historique à postériori du transfert d'un produit vers un autre responsable
Objectif de traçabilité : les informations suivies			
Traçabilité processus	Traçabilité procédé	Traçabilité de l'origine	Traçabilité qualitative
Historique des processus subis par le produit	Historique des paramètres pour la production de produit et événements exceptionnels	Uniquement l'origine, source du produit porte un intérêt	Historique des contrôles de qualité dans la fabrication du produit
Objectif de traçabilité : le sens de recherche des informations			
Traçabilité ascendante	Traçabilité descendante	Historique retrouvable à partir de n'importe quel moment du cycle de vie pour pouvoir le localiser dans le moment présent	
Objectif de traçabilité : l'exhaustivité du suivi			
Traçabilité totale	Traçabilité globale	Moins utopique que totale, maîtrise uniquement des processus et composants d'intérêt	
Objectif de traçabilité : la précision du suivi			
Traçabilité individuelle	Traçabilité collective	Traçabilité approchée	Traçabilité statistique
Historique individuel d'un composant ayant fait partie du processus de réalisation du produit	La maille de suivi est alors composée de plusieurs produits	Possibilité de retrouver les informations de traçabilité par approximation	Possibilité de retrouver par probabilité statistique les informations de traçabilité (origine par exemple)

FIGURE 2.18 – Synthèse des typologies de traçabilité proposées en fonction des objectifs attendus par [Bendaoud, 2008].

données, des produits ou des connaissances qui entrent en jeu dans un processus de décision. On se rapprochera ainsi des notions de traçabilité des informations de suivi sur les processus, de traçabilité des sources d'informations ou de traçabilité ascendante et descendante autour de l'objet décision, telles que définies dans le travail de [Bendaoud, 2008].

En matière de risques naturels, l'expertise peut être vue comme un lien entre le monde scientifique, technique et les décideurs responsables de la sécurité publique (État, collectivités, gestionnaires d'infrastructures). Elle répond toujours à une demande qui doit être la plus explicite possible. Elle comporte intrinsèquement des incertitudes liées soit aux connaissances encore en évolution sur les phénomènes naturels, soit aux multiples imperfections des informations. Collectées dans un univers incertain, la qualité des données est affectée de diverses manières (imprécision, incomplétude, incertitudes liées au processus de collecte, à la nature et à la fiabilité des sources). Dans tous les cas, le contenu et les limites d'une expertise sont assumés par leurs auteurs. Elle doit être considérée comme une contribution à la prise de décision en présentant les solutions possibles mais n'exonère pas le décideur de sa responsabilité en matière de choix. Il revient au décideur de confronter les différentes options en considérant les résultats de l'analyse de risque technique mais aussi la complexité du contexte sur les plans économiques, sociaux, environnementaux et juridiques. Finalement, les exigences en matière de traçabilité contribuent à maintenir chacun face à ses responsabilités.

Les exigences en matière de traçabilité concernent les raisonnements experts, les processus de décision mais aussi les données et les flux. Concernant spécifiquement les expertises, la norme NF X 50-110 [AFNOR, 2003] établit les prescriptions générales pour garantir un niveau de qualité. Elle préconise une traçabilité pour décrire et formaliser le processus d'expertise au travers des parties prenantes, des sources et du contenu technique de l'expertise (Fig. 2.19). Cette norme n'aborde cependant pas le mode opératoire nécessaire pour mettre en œuvre ses principes notamment en termes de gestion des données et des flux associés. Pour répondre au manque et sur la base de la norme, IN-RAE a développé un plan qualité d'expertise pour son collectif, dans lequel une implémentation des attentes en traçabilité est proposée (Fig. 2.20). Plusieurs champs sont évoqués autant sur le processus de réalisation (évaluation de la qualité des données, prise en compte de cette qualité dans les démonstrations argumentées) que sur le produit de l'expertise (données d'origine, données utilisées, éléments contradictoires ou manquants).

Dans le domaine juridique, suite à des catastrophes où des responsabilités doivent être établies, la transparence, l'explicitation des hypothèses et des raisonnements sont fermement attendus et évalués par les magistrats. [Lacroix, 2005] aborde la question de la traçabilité des raisonnements et de la prise en compte de l'incertitude par les juges sur les affaires relatives aux risques naturels. Ces acteurs du processus global s'appuient sur la connaissance disponible et analysent comment elle est mobilisée. Ils doivent se positionner grâce aux expertises conduites a posteriori des événements et parfois ont accès à des expertises réalisées en amont. Il ressort que pour eux, au-delà de la conclusion d'un expert en elle-même, il est essentiel d'explicitier le raisonnement, les hypothèses, les méthodes, modèles qui ont été utilisés pour produire le résultat d'expertise. Ici encore, la traçabilité des processus, des décisions et de la qualité de l'information apparaissent comme des besoins essentiels.

Le fait que l'expertise technique en risques naturels soit utilisée comme base dans les documents de gestion de risques à l'interface de citoyens révèle aussi des exigences de traçabilité, ne serait-ce que pour mieux la justifier et pouvoir communiquer dessus. Mais des manques existent encore. [Philippe et al., 2016] établissait une liste des manques de traçabilité dans l'élaboration des plans de prévention des risques naturels (PPRN) en France : une absence de typologie commune, des mesures de protection non décrites, le principe général de prise en compte des mesures non énoncé, le scénario de référence non explicité. [Carladous, 2017] soulignait la nécessité de traçabilité du raisonnement

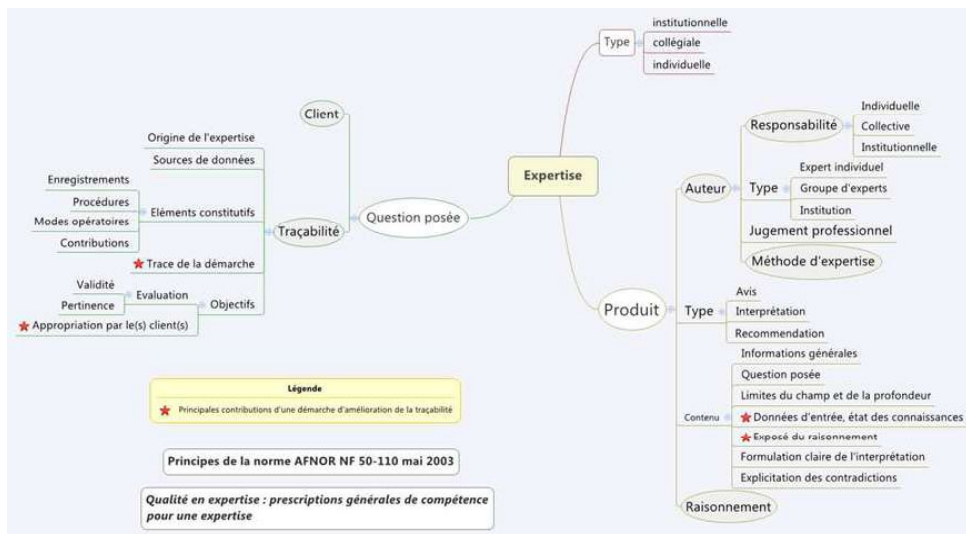


FIGURE 2.19 – Les exigences de traçabilité dans la norme NF-X-50-110, AFNOR [2003].

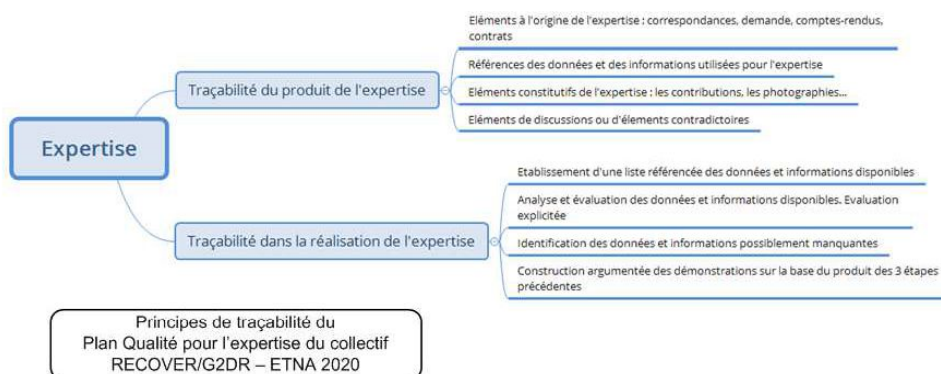


FIGURE 2.20 – Les exigences de traçabilité dans le Plan Qualité pour l'expertise du collectif RECOVER/G2DR - ETNA, INRAE édition 2020.

expert lors de l'évaluation de l'efficacité des mesures de protection (prise en compte dans l'élaboration des PPRN).

Au bout de la chaîne, les décisions de gestion du risque à proprement parler (protéger un enjeu, interdire une zone à la construction, fermer ou rouvrir une route menacée) se basent cependant sur un ensemble élargi de critères relatifs à des aspects économiques, environnementaux, sociaux, culturels et juridiques. Dans ce cadre, le recours à des méthodes d'aide à la décision, notamment celles dites multicritères, présentent un intérêt non seulement pour choisir, classer, trier différentes solutions mais aussi pour formaliser les contextes de décision, les critères utilisés, les préférences associées. La section suivante en décrit les principes essentiels.

2.2.2.2 Apport des méthodes d'aide multicritères à la décision à la traçabilité des processus de décision

Principes généraux et méthodes d'aide à la décision

Comme souligné par [Vanderpooten, 2008], les méthodes d'analyse pour l'aide à la décision peuvent être monocritères ou multicritères. Elles sont monocritères s'il y a un point de vue unique prédominant ou des points de vue multiples non conflictuels, concernant des problèmes opérationnels, répétitifs. On parle de multicritères lorsque plusieurs points de vue existent et que chaque catégorie homogène de points de vue constitue un critère. Les critères constituent une formulation plus intelligible de ces points de vue. L'intérêt et l'avantage de ces méthodes sont de pouvoir faire coexister et agréger des critères quantitatifs et qualitatifs. Les approches multicritères sont mieux adaptées dans des contextes multidécideurs et pour des problèmes stratégiques complexes.

Selon [Mena, 2000], avant l'apparition de l'analyse multicritère, les problèmes de décision se ramenaient le plus souvent à l'optimisation d'une fonction économique. Cette approche avait le mérite de déboucher sur des problèmes mathématiques bien posés mais qui n'étaient pas toujours représentatifs de la réalité car :

- la comparaison de plusieurs actions possibles se fait rarement suivant un seul critère;
- les préférences sur un critère sont, dans bien des cas, difficilement modélisables par une fonction;
- lorsqu'il y a plusieurs objectifs, il est impossible de les atteindre tous à la fois.

En pratique, trois phases principales sont identifiées pour structurer les contextes décisionnels en aide à la décision multicritère, [Merad, 2003] : une phase de formulation du problème d'aide à la décision, une phase d'exploitation, une phase de recommandation.

La *phase de formulation*, la phase la plus délicate, consiste à :

- Décrire le contexte et le processus décisionnel (une approche de type 5WH2 peut ici être utilisée);
- Construire les actions, éléments sur lesquels porte la décision;
- Identifier les situations de décision;
- Modéliser les conséquences des actions et élaborer des critères afin de comparer entre les différentes actions.

La *phase d'exploitation* est plus mathématique et consiste à trouver une "procédure d'agrégation de l'information sur chaque action dans le but de fournir une conclusion globale (recommandation)". [Roy, 1993] propose une méthodologie à quatre niveaux pour cerner au mieux un problème de décision :

- Niveau I : Objet de décision et esprit de recommandation;
- Niveau II : Analyse des conséquences et élaboration de critères;
- Niveau III : Modélisation des préférences globales et approches opérationnelles pour l'agrégation des préférences;
- Niveau IV : Procédures d'investigation et élaboration de la recommandation.

C'est ce dernier niveau, le niveau IV, qui fait l'objet de la *phase de recommandation*. C'est une phase qui comprend les analyses de sensibilité, les tests de robustesse et rend possible les allers-retours entre les deux premières phases de formulation du problème et d'exploitation.

Selon [Mena, 2000], les étapes essentielles d'une analyse sont les suivantes :

- 1. Dresser la liste des actions potentielles. D'après [Roy, 1985], une action est la représentation d'une éventuelle contribution à la décision globale, susceptible, eu égard à l'état d'avancement du processus de décision, d'être envisagée de façon autonome et de servir de point d'application à l'aide à la décision ;
- 2. Dresser la liste des critères à prendre en considération. D'après [Roy, 1985], ces critères découlent des conséquences des actions, c'est-à-dire de "tout effet ou attribut de l'action susceptible d'interférer avec les objectifs ou avec le système de valeurs d'un acteur du processus de décision, en tant qu'élément primaire à partir duquel il élabore, justifie ou transforme ses préférences". [Vanderpooten, 2008] souligne la différence entre attribut et critères. Un attribut est une caractéristique permettant de décrire chaque action. Un critère doit permettre de mesurer les préférences du décideur vis-à-vis de chaque action, relativement à un point de vue ;
- 3. Etablir le tableau des performances. C'est un tableau de type matrice qui croise les actions définies en 1 et les critères définis en 2 ;
- 4. Agréger les performances. On cherche à obtenir un modèle de préférences globales.

Les trois premières étapes sont communes à toutes les méthodes, mais des alternatives sont possibles pour la 4ème étape :

- Méthode d'agrégation complète. Somme ou moyenne pondérée notamment (avec les défauts connus relatifs aux problèmes de compensation, de renversement de rang pour l'AHP, de non transitivité des préférences ou de l'indifférence), goal-programming, déclassements comparés ;
- Méthode d'agrégation partielle. Notamment méthodes de surclassement (comparaison deux à deux pour voir si une surclasse l'autre ou non), [Siskos et al., 1993] ;
- Méthodes d'agrégation locales. On parlera de méthode d'agrégation locale itérative ([Schärlig, 1985]), approche du jugement local interactif itérations essais-erreur ([Roy, 1985], [Maystre et al., 1994]), méthodes itératives [Vincke et al., 1989]. Elles ont trois phases identifiées : phase de recherche, phase de réinitialisation, phase de réaction [Mena, 2000].

Le choix d'une méthode d'aide à la décision : un problème de décision

Le principe d'une analyse multicritère repose sur l'élaboration de modèles de préférence pour évaluer plusieurs alternatives en fonction d'une problématique choisie : choisir, trier ou ranger. Le choix d'une méthode d'analyse multicritère est déjà en soit un problème de décision. Des recommandations sont proposées pour pouvoir choisir entre ces méthodes. [Guitouni and Martel, 1998] proposent, par exemple, des lignes directrices pour décider en fonction du nombre de parties prenantes à la décision, de la problématique de décision, de la nécessité de traiter d'imperfections des informations ou encore de la compréhension de la méthode par les décideurs. [Merad, 2003] définit quatre types d'étude de risque et les préconisations d'utilisation des méthodes en fonction. Les études de risque sont classées, par exemple, en fonction du type de décision (opérationnel, tactique ou stratégique), du niveau d'incertitude global (pas d'incertitude, doute raisonnable, incertitude totale), le nombre d'acteurs impliqués.

L'AHP est une méthode d'analyse multicritère [Saaty, 1980]. C'est une méthode d'analyse hiérarchique multicritère dont le principe est de comparer deux à deux des critères pour établir leur importance relative les uns par rapport aux autres afin d'établir une hiérarchie entre eux. Sur la base des priorités établies sur les critères, elle permet d'agréger les évaluations de chaque solution pour les critères retenus puis d'obtenir une note entre 0 et 1 permettant de choisir, trier, ranger les alternatives entre elles de la plus à la moins intéressante (Fig. 2.21).

2.2. DÉCRIRE, TRACER LES PROCESSUS DE DÉCISION ET AIDER LA DÉCISION

Elle repose sur quatre étapes :

- L'identification des scénarios possibles et des critères d'évaluation;
- La comparaison des critères d'évaluation pour produire un arbre de décision;
- L'attribution de préférences à tous les critères de l'arbre;
- L'agrégation totale de chacun des poids des critères pour chaque branche de l'arbre pour mettre en évidence le scénario le plus pertinent.

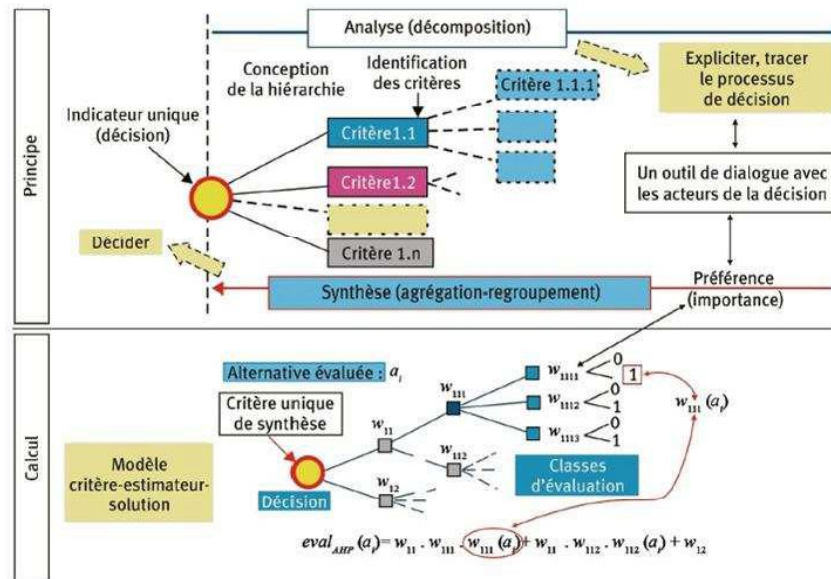


FIGURE 2.21 – Principes d'analyse, de synthèse et de calcul de l'analyse multicritères hiérarchique (AHP) [Tacnet et al., 2016].

L'importance des critères est déterminée en comparant les critères deux à deux de manière qualitative ou quantitative. Pour cela, [Saaty, 1980], propose une échelle verbale de comparaison (Fig. 2.22). Elle propose de comparer l'importance d'un critère par rapport à un autre. Le bas de l'échelle correspond à une égalité d'importance des critères (1). L'échelle progresse petit à petit en permettant de noter l'écart d'importance. La dernière valeur (9) signifie une importance incontestée d'un critère par rapport à l'autre.

Prise en compte l'imperfection de l'information avec l'aide multicritère à la décision

La question de l'imperfection de l'information est indissociable des processus de décision. Plusieurs adaptations des méthodes d'aide multicritère ont été proposées pour prendre en compte cette imperfection de l'information.

La méthodologie ER-MCDA (Evidential Reasoning - Multi Criteria Decision Analysis) a été conçue pour prendre en compte des données hétérogènes provenant de sources inégalement fiables [Tacnet, 2009], [Tacnet et al., 2010b]. Elle comprend deux principales étapes : l'évaluation des critères et la fusion d'information. Pour l'évaluation des critères, c'est une combinaison de l'AHP, [Saaty, 1980], avec la théorie des possibilités [Dubois and Prade, 1988] et les ensembles flous, [Zadeth, 1965]. Pour la fusion des informations, l'approche s'appuie sur les raisonnements crédibilistes (ER) au travers des théories de Dempster-Shafer (DST), [Dempster et al., 1968], et de Dezert-Smarandache (DSMT),

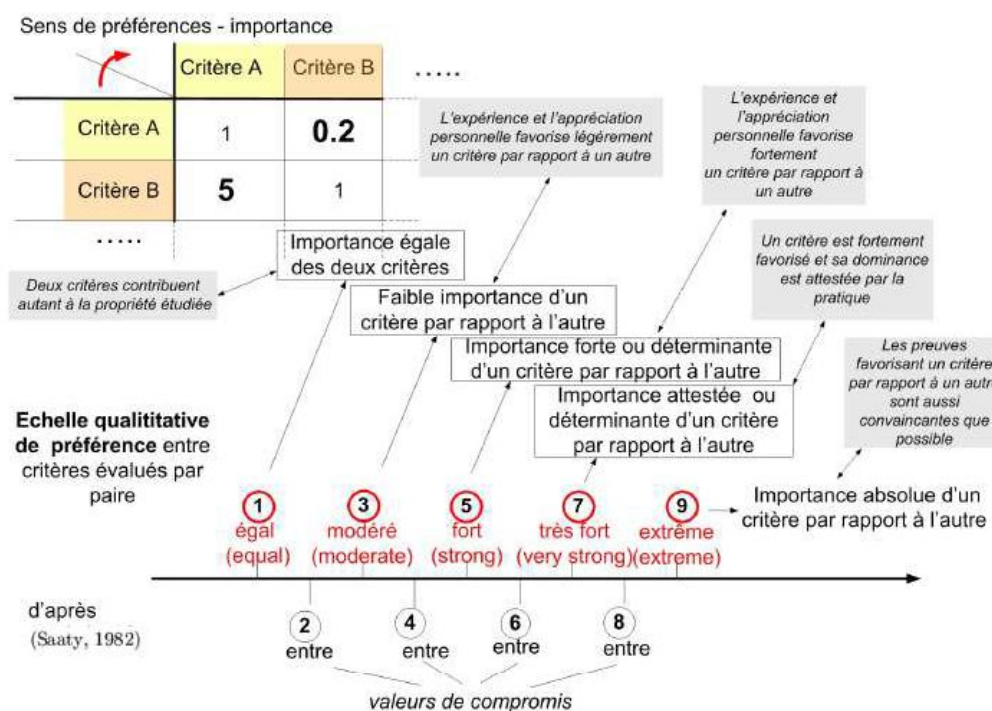


FIGURE 2.22 – Échelle des préférences de l’AHP adapté par [Tacnet, 2009].

[Smarandache and Dezert, 2006]. La figure (Fig. 2.23) présente les principales étapes de cette approche.

Elle utilise le principe de la méthode AHP uniquement pour décomposer le problème de manière hiérarchique et déterminer les préférences associées à chacun des critères (phase 1, Fig. 2.23). L’agrégation initiale basée sur le principe d’une simple somme pondérée est remplacée par un processus de fusion d’information utilisant les principes de la théorie des fonctions de croyance, [Shafer, 1976], [Dezert and Smarandache, 2009]. Cette théorie implique d’établir une correspondance entre les critères et des hypothèses de décision. Par exemple, pour déterminer un niveau de risque, on imaginera trois hypothèses : faible, moyen ou fort. Ou bien, pour le choix d’une solution de gestion d’une route, par exemple, on prendra deux choix : laisser la route ouverte; fermer la route. Le principe va être d’affecter des masses de croyance à chacune de ces hypothèses. Plusieurs sources peuvent produire des évaluations imprécises et incertaines pour chaque critère (Phases 2 et 3). Ces évaluations sont transposées pour donner des masses de croyance puis fusionnées. On fusionne ensuite les masses correspondant à chaque critère pour obtenir les masses de croyance affectées à chacune des hypothèses. Au final, on peut choisir l’hypothèse route ouverte; route fermée en connaissant le niveau de confiance associée à la qualité de l’information qui a été utilisée pour évaluer chacun des critères.

2.2.2.3 Imperfection de l’information et traçabilité dans les systèmes d’information

Avec l’exemple de la gestion des risques naturels, le processus de décision intervient dans un contexte d’information imparfaite [Tacnet, 2018], [Tacnet et al., 2010a], [Tacnet et al., 2016]. Même si la recherche améliore constamment la connaissance technique de ces phénomènes (avalanche, inondation, chute de blocs, crue torrentielle..) leur compréhension se heurte à une part d’incertitude dont il faut avoir conscience et qu’il faut prendre en compte. En plus de ces connaissances impar-

2.2. DÉCRIRE, TRACER LES PROCESSUS DE DÉCISION ET AIDER LA DÉCISION

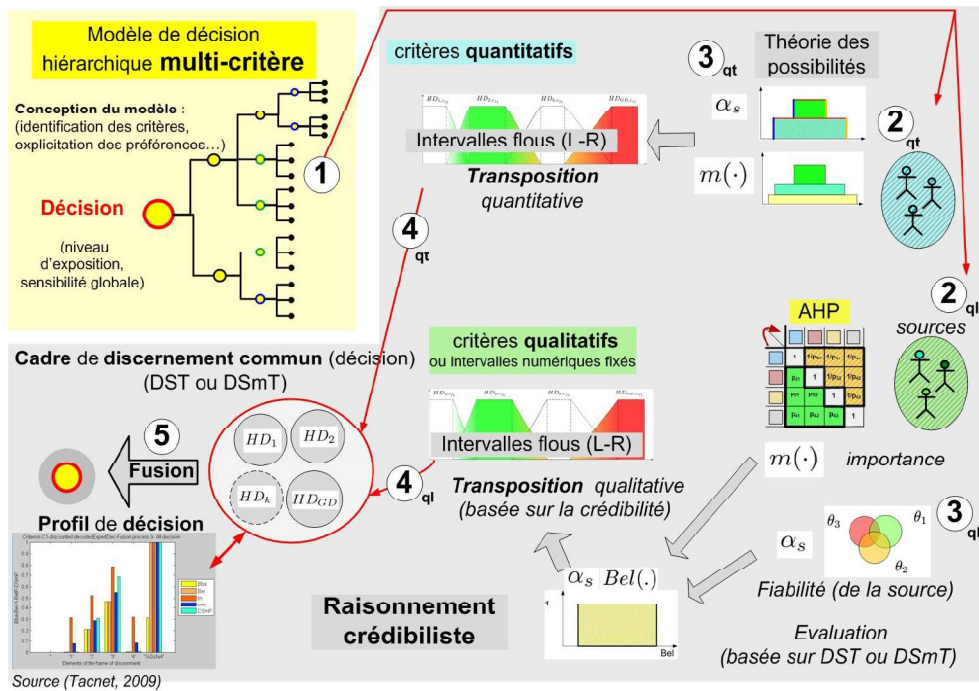


FIGURE 2.23 – Principe de mise en œuvre de la méthodologie ER-MCDA : Un principe de validation utilisant l'analyse de décision multicritère et l'évaluation des imperfections de l'information.

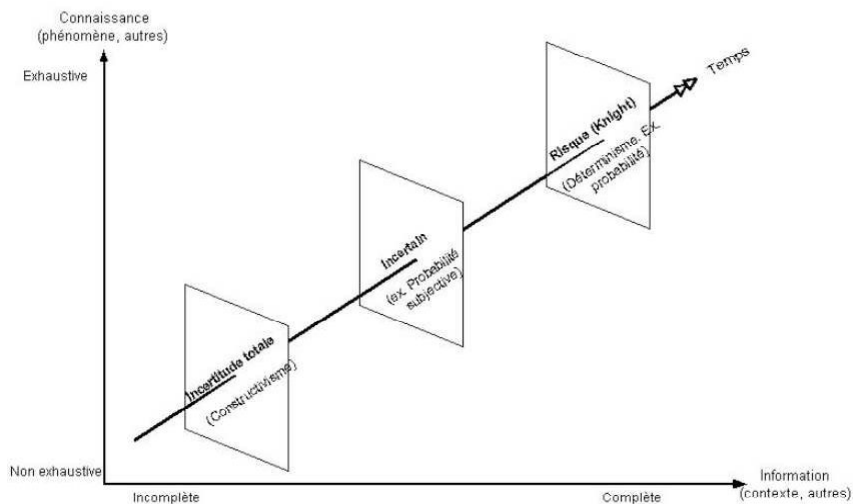


FIGURE 2.24 – Le niveau d'information disponible permet de définir les contextes de prise de décision en univers incertain ou risqué [Merad, 2003].

faites, les décideurs ont à compiler de nombreuses données, elles-mêmes porteuses d'imperfections, qui proviennent de sources, elles-mêmes plus ou moins fiables.

Plusieurs approches d'aide à la décision existent en fonction du niveau d'information disponible amenant à distinguer les décisions en situation d'incertitude totale (ou ignorance), en univers incer-

tain ou risqué (Fig. 2.24). En aide à la décision, on parle de l'univers risqué ou incertain que constitue ce contexte de décision. Selon [Abdellaoui and Gonzales, 2006], on distingue trois univers de décision :

- Décision en univers certain : dans cette situation quel que soit l'état de la nature, un acte donne toujours la même conséquence ;
- Décision en univers risqué : dans cette situation, une alternative peut avoir plusieurs conséquences en fonction de la réalisation d'un événement ou d'un autre ;
- Décision en univers incertain : dans cette situation, de la même façon qu'en univers risqué, une alternative peut avoir plusieurs conséquences mais ici, on ne suppose pas l'existence d'une distribution de probabilité sur les événements. En clair, on a encore moins d'informations sur les résultats possibles et on se base plutôt sur les estimations du décideur.

Dans le domaine de la conception informatique, [Raghunathan, 1999] aborde l'impact de la qualité des informations et du décideur, sur la qualité de la décision finale. Il démontre que la qualité du décideur croît avec la qualité des informations et que ces deux paramètres impactent favorablement la qualité de la décision finale. A contrario, malgré des informations de bonne qualité, la qualité de la décision finale peut pâtir de la « mauvaise qualité » du décideur (par exemple si les compétences du décideur ne sont pas adaptées à la situation). Dans cet exemple, la qualité du décideur est établie en fonction de sa connaissance et de son expérience sur la performance des solutions informatiques.

Traçabilité dans la gestion des risques naturels

En matière de valorisation des données publiques et de leur traçabilité, la directive européenne [INSPIRE](#) de 2007 a initié une initiative majeure pour la traçabilité des données publiques geo-référencées. Le [CNIG](#) a été chargé de la mettre en œuvre en France pour favoriser le partage des données produites ou utilisées par les autorités publiques. Les domaines suivants sont concernés : l'agriculture, la culture et le patrimoine, le développement durable, l'énergie, l'économie, l'éducation, la santé, le tourisme, les territoires et les transports. Ses objectifs concernaient les actions suivantes :

- L'identification précise des données concernées, la mise en œuvre de mesures pour le partage de données (et les outils associés) ;
- L'élaboration de règles de mise en œuvre de la directive au niveau français ;
- La diffusion des informations et de retours d'expérience ;
- L'établissement d'un rapport sur la mise en œuvre de la directive.

La directive [INSPIRE](#) s'appuie sur la mise en place de métadonnées de façon normalisée ([[ISO11915, 2014](#)] en particulier) qui permettent de mettre en place la traçabilité. Depuis janvier 2020, cette mission est toujours portée par le Ministère de la Transition Ecologique ([MTE](#)), mais le service est dorénavant porté le Service Recherche et Innovation ([SRI](#)) avec le soutien opérationnel de l'[IGN](#). Les outils accessibles au grand public sur lesquels ont abouti la directive sont le [Géocatalogue](#)¹¹ et le [Géoportail](#)¹². Puisque cette directive ne couvre pas l'ensemble des besoins de traçabilité des données, d'autres initiatives sont apparues. Par exemple :

- La traçabilité des jeux de données territoriales statistiques dans le cadre du projet européen EPSON [[Ysebaert et al., 2017](#)] ;
- La traçabilité du positionnement de l'évaluation experte dans le cycle de gestion des risques [[Merad, 2003](#)].

11. <http://www.geocatalogue.fr>

12. <https://www.geoportail.gouv.fr>

2.2. DÉCRIRE, TRACER LES PROCESSUS DE DÉCISION ET AIDER LA DÉCISION

Plus spécifiquement, [Arnaud and Davoine, 2009] traite de traçabilité des incertitudes pour des données géographiques. La carte, qui est un outil essentiel de la prise de décision en matière de risques naturels, fait apparaître différentes formes d'incertitude qui peuvent s'influencer les unes les autres au cours du procédé de tracé sur une carte (Fig. 2.25). Les travaux permettent d'identifier trois catégories de facteurs de ces incertitudes :

- Les facteurs liés à l'information elle-même (validité, incomplétude, exhaustivité..);
- Les facteurs liés aux humains (subjectivité, cohérence..);
- Les facteurs liés aux supports de l'information (traçabilité, fiabilité et interrelations des sources).

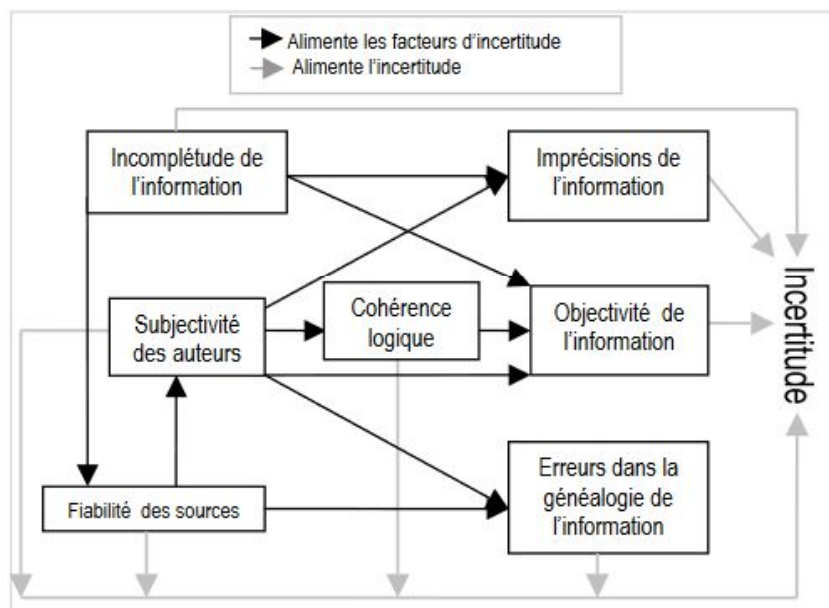


FIGURE 2.25 – Interrelations entre les facteurs d'incertitude dans l'information descriptive d'événements en risque naturel, selon [Arnaud and Davoine, 2009].

Traçabilité dans les systèmes d'information

La problématique de la traçabilité des informations et des processus dépasse le cadre spécifique de la gestion des risques naturels. Quel que soit le contexte, d'un point de vue informatique, elle a trois finalités :

- L'acquisition ou la génération des données de traçabilité;
- Le stockage des données de traçabilité;
- L'analyse, la consultation ou la valorisation de données de traçabilité.

Ces quarante dernières années ont vu le développement de nombreux outils avec des objectifs divers (stratégiques, opérationnels, etc.) dont l'essence même est de s'appuyer sur une mise en place de la traçabilité. La prise de décision en entreprise en est un exemple typique avec, la prolifération des *Enterprise Resource Planning (ERP)*, en français, *Progiciel de Gestion Intégrée (PGI)*. Leur utilité est d'embarquer en un même logiciel les fonctionnalités nécessaires à l'ensemble des activités d'une entreprise : gestion financière, gestion des stocks, gestion des ressources humaines, etc. L'enjeu est

de réduire les incertitudes des décisionnaires en proposant une vision précise de la situation à tout instant. Structurellement, les outils garantissent une traçabilité rigoureuse (collecte des informations nécessaires, stockage et propositions d'analyse) pour soutenir la gestion des risques (ou management des risques) en entreprise.

De nombreux domaines s'appuient sur des outils informatiques qui gèrent la traçabilité pour assurer leurs objectifs. Dans le secteur sanitaire, par exemple, des systèmes appelés dispositifs médicaux implantables (DMI) permettent de dresser une liste exhaustive des patients concernés par le retrait d'un lot [Chan Hew Wai et al., 2016]. Dans le secteur alimentaire, d'autres, permettent le rappel de produits défectueux avec le suivi de toutes les implications possibles dans la chaîne de production alimentaire [Dai et al., 2015], [Bendaoud, 2008].

Avec un point de vue plus informatique, la mise en place de la traçabilité a aussi de nombreuses utilités. Sur le web notamment, la traçabilité des informations personnelles et de navigation peut permettre de préserver l'identité, de rendre confidentiels des données ou des accès, de protéger des groupes et des données partagées d'actions malveillantes [Yang et al., 2016]. Elle peut aussi protéger les droits des propriétaires de propriété intellectuelle contre la redistribution illégale de copies pirates [Wu and Sattar, 2011]. La traçabilité peut aussi être le support principal d'une technologie, comme par exemple, l'utilisation de puces RFID pour le traçage dynamique dans une chaîne d'approvisionnement [Lee and Park, 2008].

Et enfin, dans le domaine de la conception d'outils informatiques, la traçabilité peut être utilisée sur des spécificités techniques mais dans un but plus global d'amélioration de la qualité de conception. On cite pour exemple :

- La traçabilité des exigences exprimées dans un modèle jusqu'à leurs implémentations [Dermeval et al., 2013] et spécifiquement dans des systèmes embarqués [Albinet et al., 2007];
- La traçabilité des artefacts de modélisation au long d'une chaîne de transformation de modèles [Amar et al., 2008], [Jouault, 2005];
- La traçabilité des fonctionnalités dans le cadres d'évolutions logicielles [Diaz et al., 2007].

Pour conclure, comme nous l'avons vu précédemment, les informations associées à leur niveau de qualité conditionnent le processus de décision. Pour améliorer la connaissance de ce processus, nous identifions deux niveaux de besoin : (1) la collecte de toutes les informations (imperfections associées comprises) impliquées dans un processus de décision et leur représentation pour approcher une modélisation du processus complet, et (2) la mise en place la traçabilité adéquate pour révéler les données et les flux.

2.2.3 Synthèse : apport des méthodes d'aide à la décision pour la traçabilité, support des systèmes d'information pour la qualité des informations.

Les méthodes d'aide à la décision ne sont pas directement et classiquement mises en œuvre dans le cadre de l'analyse et de la gestion des risques. Elles présentent cependant l'intérêt d'une part de permettre une formalisation des contextes de décision, des critères utilisés, et d'autre part, de fournir une évaluation comparative de différentes solutions entre elles. Certaines d'entre elles ont, de plus, introduit la prise en compte de l'imperfection de l'information dont l'importance a été soulignée plus haut. Les objectifs de traçabilité des méthodes et processus dépassent largement le cas des seuls modèles d'aide à la décision. Plusieurs catégories de modèles sont en effet mobilisées dans le cadre des expertises relatives à la gestion des risques naturels (Fig. 2.26). Cette combinaison de méthodes correspond à la nécessité d'intégrer des outils de nature différentes pour couvrir les volets relatifs aux phases d'identification des phénomènes, la quantification de leur intensité, extension et de leurs effets, la conception et le choix des ouvrages, l'estimation des dommages. La démarche proposée pourra à terme concerner ces processus spécifiques plus largement que les exemples choisis en première approche.

Domaine de modélisation	Type de modélisation	Objectif
Modélisation physique (fonctionnelle)	Sûreté de fonctionnement (SdF) : analyse fonctionnelle (AF), analyse des modes de défaillance et de leurs effets (AMDE), etc.	Analyser les fonctionnements/dysfonctionnements des ouvrages, (indicateurs de SdF : fiabilité, maintenabilité, disponibilité, sécurité) utilisés pour évaluer l'efficacité et la performance des ouvrages
Modélisation physique (déterministe)	Simulation numérique de mécanismes physiques : propagation des phénomènes, calcul de structures exposées à ces phénomènes, etc.	Évaluer les aléas (phénomène caractérisé en intensité et fréquence), la stabilité d'une structure, etc.
Modélisation et représentation de l'imperfection de l'information	Théorie des probabilités. Théorie des ensembles flous et des possibilités. Théorie des fonctions de croyance.	Représenter (selon les méthodes) les formes d'imperfection correspondant à l'inconsistance (conflit), l'imprécision, l'incomplétude et l'incertitude (aléatoire, épistémique).
Propagation de l'imperfection de l'information	Approche probabiliste type Monte Carlo, approches hybrides. Fusion d'information.	Propagation dans les modèles physiques et d'aide à la décision pour caractériser l'influence de la qualité des données sur les résultats. Combiner des sources d'information inégalement fiables, tracer le processus de combinaison d'information.
Modèle d'aide à la décision	Aide multicritère à la décision (méthodes classiques et avancées prenant en compte l'imperfection de l'information).	Évaluer les niveaux d'aléas, comparer des stratégies, évaluer les niveaux d'efficacité des ouvrages, trier les ouvrages par niveau d'efficacité, évaluer les sites les plus critiques, évaluer la qualité de l'information supportant les décisions.
Modèle d'aide à la décision	Approches à base de règles basées sur le raisonnement expert : règles d'agrégation logiques (SI-ALORS...), opérateurs mathématiques (Min, Max...), tables de vérité, matrices de criticité.	Évaluer la performance des ouvrages, évaluer les niveaux d'aléas, de risque
Modèle d'aide à la décision	Aide à la décision basée sur la théorie de l'utilité espérée et sur une approche économique (optimisation, analyse coût-bénéfices...).	Comparer différentes stratégies dans un cadre probabiliste selon leur efficacité économique (recherche d'un optimum qui est supposé exister)

FIGURE 2.26 – Exemples de méthodes mises en œuvre dans le cadre d'approches intégrées de la gestion des risques naturels, selon [Tacnet et al., 2016].

La qualité de la décision dépend de la disponibilité des informations et des préférences exprimées par les décideurs [Dubois, 2006]. La qualité des informations qui entrent en jeu dans un processus de décision et l'impact de la qualité sur celui-ci sont étudiés dans divers domaines. L'impact de qualité des données est par exemple étudié dans des travaux qui concernent la prise de décision dans la conception informatique [Chengalur-Smith et al., 1999] ou encore dans les investissements financiers dans une entreprise de IT [Raghunathan, 1999].

Pour les risques naturels, dès 2006, [Tacnet et al., 2006] aborde la question de la fiabilité des avis d'experts et des moyens de les améliorer, et met en évidence la réalité et l'importance des incertitudes

peu explicitées et objectivées dans les processus de gestion du risque. Les relations entre les processus d'expertise, de décision et la qualité de l'information sont ensuite développées [Tacnet, 2009]. L'expertise sur les risques naturels est considérée comme un processus décisionnel [Merad, 2003] basé sur des informations imparfaites [Tacnet et al., 2014]. L'imperfection de l'information peut prendre plusieurs formes : l'imprécision, l'incertitude, l'incomplétude ou l'inconsistance. Il existe un manque de formalisation de la qualité de l'information et de la fiabilité des sources dans l'ensemble de la chaîne d'analyse mise en œuvre par les experts dans un contexte de risques naturels [Tacnet, 2009].

Notre approche nous amène à penser que l'intégration d'un niveau de qualité des données directement associée à la donnée dans un système d'information est un enjeu pour l'amélioration de compréhension des processus de décision ([Vidaud-Barral et al., 2010]).

SYNTHÈSE DES BESOINS ET IDENTIFICATION DE LA PROBLÉMATIQUE DE RECHERCHE

Ce chapitre présente les verrous scientifiques identifiés. Ils sont détaillés et présentés au regard des pistes scientifiques envisagées.

Le constat et les besoins

Le constat

Les décisions techniques élémentaires constituent des jalons dans un processus plus large de gestion globale et intégrée des risques. Elles sont le résultat de processus complexes qui ont mis en jeu des acteurs d'origines disciplinaires différentes, avec leurs méthodes et expériences mais aussi de nombreuses données. Ces données présentent des niveaux de qualité divers et proviennent de sources aux niveaux de fiabilité tout aussi hétérogènes. Ces processus de décision s'appuient sur des analyses techniques ou scientifiques, elles-mêmes considérées comme une succession de processus de décision auxquels contribuent les expertises. Prendre du recul pour la compréhension du processus de décision global connaît plusieurs freins : la diversité des composants qui entrent en jeu (raisonnements humains, données), les incertitudes qui les entourent, la complexité de leurs interactions, la technicité de la connaissance et la difficulté de faire communiquer des acteurs d'origines disciplinaires différentes. Nous développons ci-dessous ce constat.

L'expertise est une composante d'un processus de décision plus large.

L'expertise est intrinsèquement ambiguë. En effet, elle est d'une part faite pour éclairer le décideur en lui proposant de croiser la situation sur laquelle il a à se positionner, avec l'état actuel de la connaissance sur le phénomène étudié. Elle est donc nécessaire du fait même du manque de connaissance et peut donc apparaître rapidement incontestable. Cependant, elle se fonde elle-même sur le constat que la connaissance des phénomènes ne sera jamais absolue et parfaite. Elle propose donc une prise de position, un avis sur une situation qui reste, de fait, subjectif et donc contestable. Cet avis n'est pas la décision finale. Il n'est que partie d'un processus plus global et doit être considéré comme tel.

Le manque de traçabilité dans les processus de décision est prégnant : les attentes s'expriment du citoyen aux élus, magistrats..

La société, de façon générale, est en attente d'une meilleure compréhension des processus de décision qui impactent son quotidien. Toutes les phases de la gestion des risques (les risques naturels ne sont pas l'exception) sont concernées. L'actualité mondiale nous donne des exemples dans lesquels chacun pourra s'identifier : par exemple, en matière de prévention, le port du masque contre la propagation du virus de la Covid-19 et les rebondissements sur son utilité. En matière de gestion de crise, on pourra évoquer les incompréhensions qui se succèdent : un confinement drastique et presque inattendu en première vague et une rentrée scolaire quelques mois plus tard, en septembre 2020, avec de nombreuses règles sanitaires allégées et des indicateurs de deuxième vague imminente. Enfin, en période de réparation, on se questionne sur les raisons des divers droits octroyés des uns et des autres : droit au chômage partiel, mesures exceptionnelles pour l'embauche des plus jeunes, fonds de solidarité pour les petites entreprises, masques gratuits pour les plus démunis mais aussi pour les députés de l'Assemblée nationale. Comprendre et tenter d'améliorer ces processus de décision passe par une meilleure traçabilité des connaissances, des acteurs, des données impliquées et des interactions entre dispositifs opérationnels, expertises scientifiques et décideurs. Aujourd'hui, cette traçabilité n'est pas encore native même si elle est encouragée. Il est complexe, parfois impossible, de la recréer a posteriori, uniquement à partir de documents.

Les différents types de sources et d'imperfection de l'information doivent être tracés dans les processus de décision.

La prise de conscience des multiples sources d'incertitudes qui s'intègrent au processus est acquise pour une majorité d'acteurs du processus de décision, mais peu mise en évidence de façon générale, et encore moins à l'attention du grand public. Elle est encore parfois vécue comme un aveu de faiblesse alors qu'au contraire elle donne légitimité au propos en le cadrant de façon plus claire. Une donnée n'est jamais parfaite, un raisonnement, humain a fortiori, non plus. Un modèle (dessin, informatique, statistique, etc.) n'est qu'un point de vue, donc imparfait - une machine aussi produit des imperfections (incertitudes de mesure notamment ou étalonnage).

Le processus de décision semble pouvoir être représenté de manière générique.

Expliciter le processus de décision n'est possible qu'en lui trouvant une représentation simplifiée et fonctionnelle. Le caractère générique des composants d'une expertise en analyse de risque naturel (caractéristiques physiques, conséquences, raisonnements) est évoqué par [Tacnet, 2009]. Mais ce n'est pas le seul domaine où ce postulat est utilisé. A titre d'exemple, des travaux sur la conception d'architecture informatique s'appuient également sur l'idée qu'un processus de décision est reproductible au moins sur sa forme [Sobernig et al., 2016].

Les processus de raisonnement et décision mis en oeuvre par un expert restent délicats à expliciter et formaliser.

Pour un expert, se conformer à un plan qualité d'expertise et respecter les nécessités de traçabilité est acquis et considéré comme utile. Évoquer la part de subjectivité de son raisonnement personnel est une autre façon de penser. Ses expériences personnelles l'aideront à pallier les parts d'incertitude qu'on ne peut jamais complètement lever sur la connaissance du phénomène.

Ces différents constats nous amènent à définir les besoins de nos travaux de façon détaillée.

Besoin n°1 : Améliorer la connaissance du processus de décision au travers de l'identification et de la traçabilité de ses composantes, de leurs interactions, des raisonnements utilisés et de la mise en évidence des imperfections observables.

En matière de gestion des risques naturels, les décisions à prendre sont diverses :

- Par leur nature et les acteurs impliqués : technique, juridique, administrative, financière ;
- Par le contexte auquel elles apportent une réponse : quelle phase du cycle de gestion des risques est concernée, est-ce que des pressions de nature politique, sociale, économique, environnementale viennent s'ajouter à la prise de décision. Ces pressions sont-elles favorisées, considérées avec le même impact ou mises de côté en regard des expertises ;
- Par les actions qu'elles déclenchent : quelle est leur portée dans le temps? politique annuelle, bulletin de risque d'avalanche valable 24h, à quelle date prennent elles effet? autorisation immédiate de déclenchement préventif, quelles zones et taille de zone concernent-elles? un pays, une route, un couloir d'avalanche, une vallée.

Il faut donc parvenir à décrire et représenter cette diversité et pouvoir intégrer les imperfections identifiées. L'imperfection fait partie du processus de décision.

Besoin n°2 : Imaginer une approche de validation d'une décision

Que signifie vraiment valider une décision? Peut-on vraiment considérer qu'on valide une décision? Est-ce que cela suffit de considérer que ceux qui l'ont prise sont satisfaits? Qui peut établir cet arbitrage? Répondre à cette question semble permettre de trouver des pistes au travers de la conception de modèles en aide à la décision et le fait de poser le problème de décision en termes multicritères notamment. Avec l'utilisation d'un tel modèle on peut obtenir un conseil cohérent dès lors qu'on définit des priorités entre les critères. Cette définition des priorités est subjective et dépend, en général, déjà d'une expertise. En s'interrogeant plutôt sur le processus de décision, les questions apparaissent avec un point de vue différent : est-ce qu'un processus de décision peut être validé? Est-ce qu'un processus de décision est mesurable? Est-ce reproductible? Sans prétendre que la décision prise in fine est bonne, on peut essayer de tendre vers un processus de décision dit référent, recueil de bonnes pratiques en la matière.

Besoin n°3 : Outiller la collecte de données sur le processus de décision et la capitalisation des connaissances

Outiller la collecte de données comporte pour nous deux volets. Sur le fond, il est nécessaire d'arriver à dépasser la frilosité des experts à expliciter leurs raisonnements en détail. Sur la forme, il est nécessaire de concevoir un outil de collecte spécifique. Actuellement, les systèmes d'information aident à la décision mais ne contiennent pas le processus de décision en détail (traçabilité des éléments impliqués, raisonnements d'experts..). Outiller la capitalisation de la connaissance autour des processus de décision signifie de mettre en place deux niveaux de traçabilité; une traçabilité interne au raisonnement expert et une traçabilité externe qui considère le raisonnement expert au sein du processus de décision global. Ajouté à cela, la diversité des processus de décision possible et la quantité des données que cela peut générer amènent intuitivement à se dire qu'une solution informatisée est nécessaire. Les difficultés du travail résident autant dans l'explicitation et la formalisation des besoins de l'outil visé que dans sa conception. La communication entre concepteurs et experts du domaine est primordiale mais complexe, car il s'agit *d'observer des décisions* avec leur part de technicité et d'implicite. Dans cet outillage pour la capitalisation, un outil générique et relativement évolutif serait

intéressant pour répondre à une dynamique où on traiterait de nouveaux processus de décision.

Pour conclure, nous avons positionné les besoins par rapport à la problématique plus globale d'analyse de la traçabilité (Fig. 2.27).

La problématique et les objectifs

La problématique

La question centrale de ce travail concerne l'amélioration de la traçabilité et de la capitalisation des processus et des données associés à une prise de décision dans le cadre de la gestion des risques naturels. Elle se positionne sur l'étude de deux composantes de la prise de décision : le processus (l'ensemble des actions qui amènent à la décision finale) et les données (les éléments essentiels sur lesquels va se construire le processus). L'objectif à terme est de capturer et d'analyser ces deux composantes pour essayer d'améliorer la prise de décision, ceci en prenant en compte différents niveaux d'imperfection des données. Pour cela, comme illustré sur la figure (Fig. 2.28), nous nous appuyons sur :

- L'ingénierie des connaissances (IC) pour le volet thématique sur la traçabilité du processus de décision, son amélioration et la capitalisation des connaissances attendue;
- L'ingénierie des modèles (IDM) pour le volet conception informatique d'outils destinés à gérer à la fois les données, les processus de décision et la traçabilité.

Notre démarche nous a ainsi amenés à identifier les trois objectifs de notre travail de thèse.

Objectif n°1 : Structurer et formaliser le processus de décision en observant, collectant et traçant les données sur lesquelles il s'est basé, les flux de données générés et leur ordonnancement, en prenant en compte l'imperfection des données.

La collecte des données sur le processus de décision peut s'imaginer en temps réel ou a posteriori. Des difficultés peuvent se présenter. En temps réel, les contraintes sont souvent trop nombreuses selon le type de décision à prendre et la phase de gestion des risques concernée. Par exemple, comment tracer en temps réel une prise de décision en pleine gestion de crise? Comment être conscient en temps réel de la qualité des informations mises à disposition? Après l'événement, que ce soit dans la presse, les archives ou les rapports d'expertise, le processus de décision lui-même est très peu décrit. Capitaliser sur les connaissances nécessite un niveau de détail sur les processus de décision (traçabilité du raisonnement individuel) et les données (qualité des données, sources et fiabilité des données) trop peu accessibles. Compiler ou collecter ces données descriptives sur le processus de décision est donc un premier challenge. C'est pourquoi nous formulons l'hypothèse qu'une observation de type laboratoire serait la plus adaptée et l'objectif opérationnel qui en découle concerne donc la conception d'un outil pour observer ou capturer le processus de décision.

Objectif n°2 : Proposer les grandes lignes d'une démarche de conception informatique modulaire et réutilisable afin de produire des systèmes d'information dédiés à la capitalisation et au stockage des données de traçabilité des processus de décision (en vue de leur analyse).

La quantité et la diversité des données à gérer dans l'étude du processus de décision nous amènent à concevoir un outil informatique spécifique capable de gérer la traçabilité des données et des processus. A un premier niveau, l'objectif est de stocker non seulement les données mais aussi l'intégralité du processus de décision jusqu'à son résultat final, cela pour se donner la possibilité de l'analyser et de le comparer avec d'autres processus de décision. A un second niveau, notre souhait est de concevoir une méthode pour le développement d'outils informatisés dédiés à la traçabilité de divers types de décision, ceci pour prendre du recul et monter en généralité sur la compréhension du processus de décision de façon globale. Ainsi nous pensons que l'**IDM** est une piste sérieuse pour nous aider à la fois dans la conception d'un outil informatisé qui supporterait toute notre démarche (structuration, stockage des données, analyse du processus de décision) mais également dans la perspective d'une production régulière d'outils avec des objectifs similaires (capitalisation de la connaissance de façon plus large, traçabilité, réutilisation, amélioration).

Objectif n°3 : Contribuer à un cadre méthodologique de validation de la traçabilité et aussi, de manière indirecte, d'un processus de décision par comparaison à une référence externe construite à partir d'un raisonnement expert.

En considérant qu'une décision, sans que cela soit exclusif à la gestion des risques naturels, n'est jamais parfaite, on cherche à s'approcher d'un idéal. Les processus de décision s'appuient sur une ou plusieurs analyses techniques, les expertises, qui apportent des éclairages techniques aux décideurs sur les phénomènes en cours mais qui sont des sources d'incertitudes, ne serait-ce que parce que la connaissance sur les phénomènes est encore partielle. A cela s'ajoute les imperfections portées par les données qui ont un rôle dans le processus de décision. S'ajoutent également les incertitudes autour du raisonnement personnel du (ou des) décideur(s). Dans ce contexte incertain, nous avons comme objectif d'utiliser un cadre de référence technique établi par des experts et de l'utiliser comme point de comparaison avec la partie technique du processus de décision d'un décideur.

Pour conclure, nous avons illustré le positionnement des trois objectifs sur la figure par rapport à deux grands cadres de développement (Fig. 2.28). Le premier concerne la description, la formalisation du processus de décision et correspond plus à une phase d'analyse d'un point de vue informatique. Le second concerne la capitalisation et le stockage des données et correspond plus à la conception de systèmes d'information. Au final, le travail de thèse se positionne de manière assumée à l'interface entre ces deux volets. Notre travail permettra de faciliter la communication entre plusieurs mondes. Le processus de décision global est façonné par de multiples acteurs dont il faut capturer les raisonnements complexes. Il est primordial d'arriver à communiquer et d'avoir la certitude que chaque concept est compris par toutes les parties. Pour cela, nous avons opté pour l'utilisation d'un langage de modélisation, à savoir **UML**.

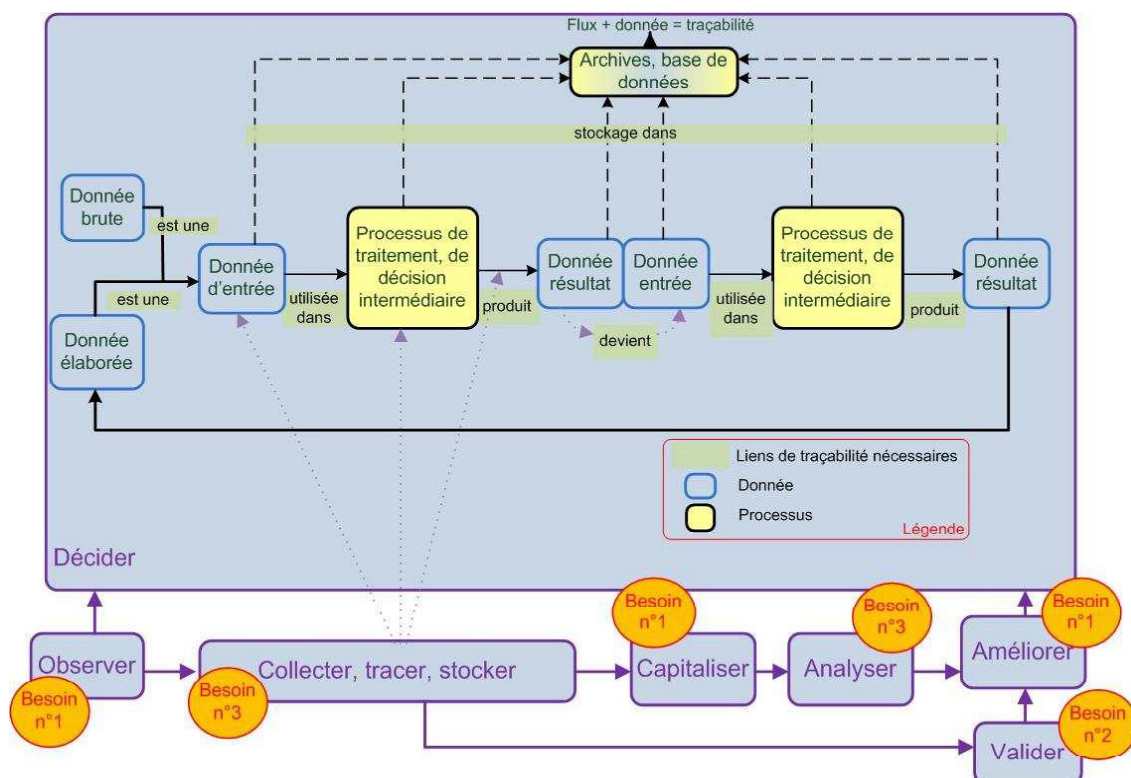


FIGURE 2.27 – Positionnement des besoins identifiés dans problématique étudiée dans notre travail : schématisation de la traçabilité nécessaire dans les processus de décision.

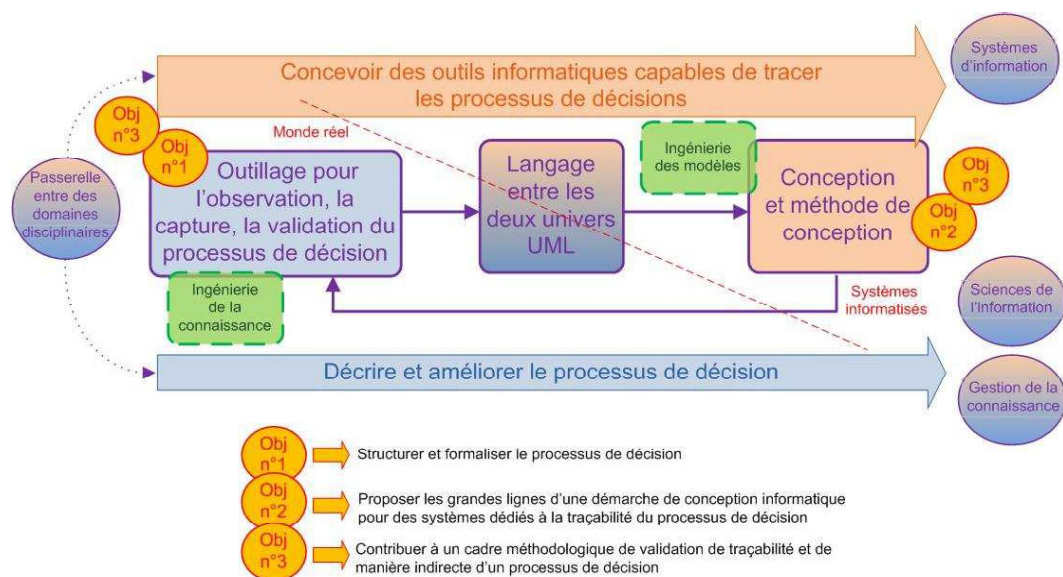


FIGURE 2.28 – Les trois objectifs de ce travail de thèse : à l'interface entre des systèmes d'information, des sciences de l'information et de la gestion de la connaissance.

PARTIE II

**État de l'art : Risques naturels,
processus de décision, traçabilité et
systèmes d'information**

CHAPITRE 3

CAPITALISATION DE LA CONNAISSANCE SUR LES PROCESSUS DE DÉCISION POUR LA GESTION DE RISQUES NATURELS AVEC DES SYSTÈMES D'INFORMATION

Sommaire

3.1 Gestion de la connaissance	66
3.2 Ingénierie des connaissances en matière de processus de décision	69
3.3 Transférer la connaissance avec des outils : le concept original de jeu	70

Ce chapitre explore, sur la base de la littérature existante, la façon dont les systèmes d'information peuvent apporter des solutions à la traçabilité et la capitalisation des connaissances, au travers des moyens pour formaliser et collecter cette connaissance.

Comme introduit dans le chapitre 2, notre problématique aborde le domaine de la gestion de la connaissance, pilier aujourd'hui indispensable dans la gestion de toute structure ou entreprise. Identifier, collecter, structurer, donner accès, valoriser, pérenniser sont des actions essentielles pour les entreprises, les organismes de recherche, les entités représentant de l'État. Souvent c'est une question de réactivité et de compétitivité. Mais aujourd'hui, le *knowledge management* est partout. Il s'agit souvent d'une question de réactivité et de compétitivité, ce qui explique aujourd'hui que la gestion de la connaissance (knowledge management) soit partout. Le domaine de la gestion des risques naturels ne déroge pas à cette situation. Dans le cadre de notre travail, la capitalisation des connaissances concerne les processus de décision associés à l'expertise. Avant de déterminer les liens entre les données utilisées, il s'agit ici d'être capable d'explicitier la nature des processus de raisonnement mobilisés et d'identifier les méthodes existantes pour y parvenir.

3.1 Gestion de la connaissance

Cette section aborde le concept de capitalisation des connaissances et les moyens techniques existants pour la mettre en place.

[Boubaker et al., 2006] définit une connaissance comme un lot d'informations qui sont interprétées, consciemment ou inconsciemment, par un individu au terme d'un processus d'apprentissage. Ses travaux proposent un modèle du triptyque *Données - Connaissances - Informations* (Fig. 3.1). Chaque lien entre les entités du modèle est orienté et nommé en conséquence (ex : L_{DC} pour lien entre Données et Connaissances). Il montre d'abord que la capitalisation de la connaissance se concrétise par la création de la connaissance et la façon dont les données et les informations deviennent cette connaissance. La connaissance est ensuite exploitée pour prendre un statut d'information ou de donnée opérationnelle. Les liens du modèle entre les trois entités *Données - Connaissances - Informations* sont présentés en fonction de leur utilisation (création ou exploitation de connaissance) et d'exemples concrets (Fig. 3.2).

Des classifications de contextes de développement de SI ont été proposées pour déterminer les contextes favorables au développement de SI pour le transfert de connaissances, [Arduin and Tounkara, 2014], et pour dépasser la vision du SI comme simple artefact technologique. Ces travaux s'appuient aussi sur le changement de statut évoqué ci-dessus entre les données, les informations et la connaissance pour le transfert de la connaissance tacite (Fig. 3.3).

L'intérêt des SI, dans la gestion des risques naturels est reconnu et dépasse largement le statut d'infrastructure technique (Fig. 3.4), [Vidaud-Barral et al., 2010]. Cette approche complète des travaux existants sur le développement d'outils d'aide à la décision sur le volet de la capitalisation, [Tacnet, 2009]. On entend par système d'information un ensemble de ressources (les technologies, les processus et les personnes) qui permet de collecter, stocker, traiter et distribuer de l'information ¹.

La création ou l'acquisition de connaissances dans le cadre des processus de décision constitue la première préoccupation de notre travail. Cette préoccupation est communément partagée dans la conception d'outils informatiques dédiés à la connaissance. [Diattara, 2017] parle d'obstacle majeur dans la conception de systèmes à base de connaissances. Pour pallier ce problème, deux issues

1. <https://www.universalis.fr/>

3.1. GESTION DE LA CONNAISSANCE

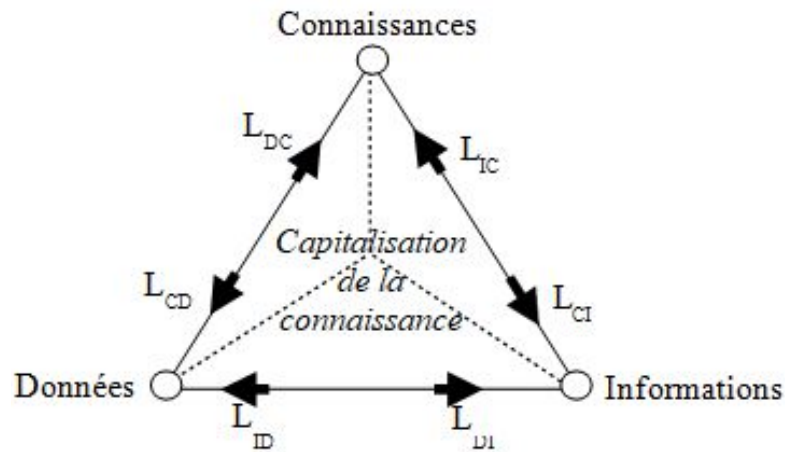


FIGURE 3.1 – Liens entre les données, les connaissances et les informations pour la capitalisation de la connaissance selon [Boubaker et al., 2006].

<i>N° d'interaction dans le modèle</i>	<i>Phase de la capitalisation de la connaissance</i>	<i>Point de vue correspondant</i>
L _{DC}	Création de la connaissance	Base de connaissances élaborée à partir des données objectives (issues de l'expérimentation et des mesures effectives sur le terrain) et/ou subjectives (issues du retour d'expérience et/ou détenues par les experts)
L _{DI}		Structuration des données sous forme informationnelle
L _{IC}		Base de connaissances formalisée à partir des informations
L _{CD}	Exploitation de la connaissance	Transmission de la connaissance sous forme d'une communication
L _{CI}		Mise en œuvre de la connaissance sous forme d'une action qui donne lieu à de nouvelles données
L _{DI}		Demande d'un complément d'informations
L _{ID}		Retour d'informations.

FIGURE 3.2 – Mise en lien du modèle proposé par [Boubaker et al., 2006] avec les actions de capitalisation de la connaissance environnementale.

sont connues et comprennent le transfert d'expertise et l'apprentissage automatique. La première sous-entend que la connaissance est acquise, déjà explicitée et prête à être injectée dans un système informatique qui ne fait que la stocker. La seconde suppose de pouvoir doter un système de capacités d'acquisition et de production de ces nouvelles connaissances. Plus globalement, la collecte de données s'opère avec différentes techniques en fonction de la nécessité d'une approche qualitative ou quantitative (Fig. 3.5). La première approche est plutôt dédiée à la compréhension des phénomènes dans leur contexte habituel au travers de l'observation directe. La seconde, plus expérimentale, est orientée vers la collecte massive de données et le souhait de réaliser des analyses statistiques.

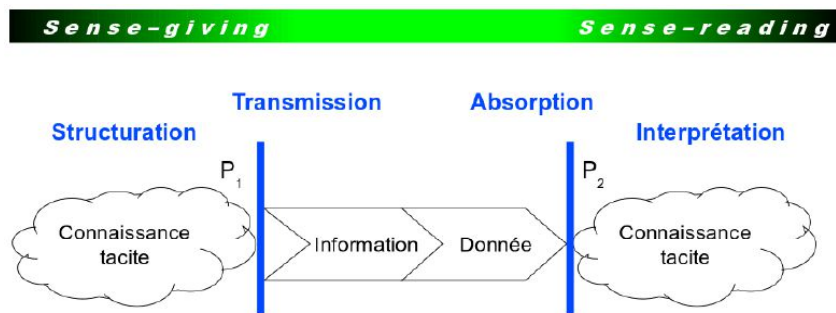


FIGURE 3.3 – Le transfert de connaissances tacites illustré par [Arduin and Tounkara, 2014].

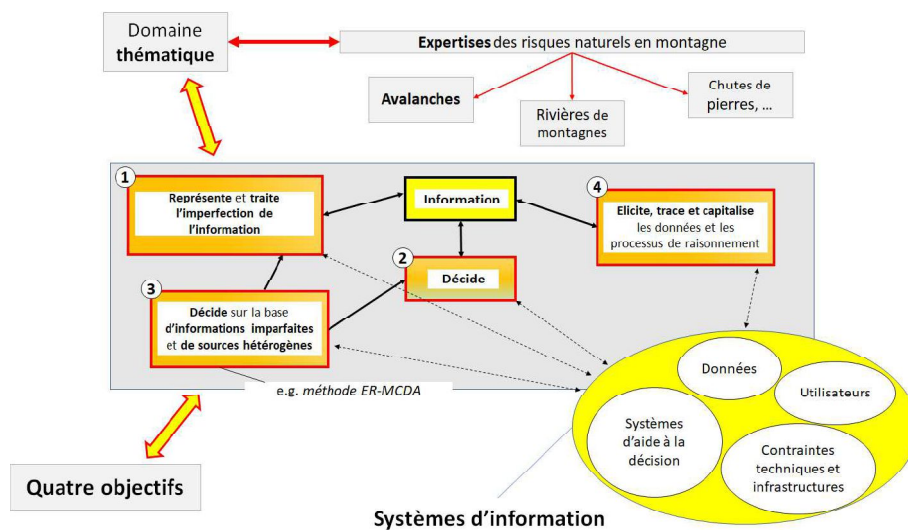


FIGURE 3.4 – Intérêts des systèmes d'information pour supporter les décideurs dans la gestion des risques naturels [Tacnet, 2009].

Chacune des solutions citées ci-dessus a constitué une piste de travail et nous a amené à déduire que nos besoins étaient diffus dans chacune de ces techniques. Ils sont listés ci-dessous :

- Le transfert d'expertise et l'approche qualitative de la collecte de données : dans le cadre de notre travail, il est nécessaire de s'appuyer sur une connaissance en matière d'expertise pour pouvoir apporter un nouveau point de vue. L'explicitation de notre domaine d'étude passe par l'observation et l'audit des *sachants*;
- L'apprentissage automatique et l'approche quantitative de la collecte de données : dans le cadre de notre travail, la collecte de données de façon automatique par un processus rigoureux, répétitif et cadré est garante de neutralité et permet des analyses que l'on peut conforter a posteriori. Cette approche permet également de ne pas imposer un point de vue plutôt qu'un autre.

Le tableau (Tab. 3.5) liste les principaux freins qui nous ont amenés à écarter une solution unique classique. Cet état des lieux nous a guidé vers la recherche d'outils qui utiliseraient en même temps tout ou partie des différentes techniques, le cas échéant envisager de concevoir notre propre solution. En première intention, nous avons donc étudié les possibilités offertes par l'Ingénierie des Connaissances (IC).

Type d'étude	Technique	Avantages dans la collecte de données (src : https://www.scribbr.fr/)	Inconvénients dans l'acquisition de connaissances sur les processus de décision en RN
Etude qualitative	Entretien	Collecte de données précises auprès d'un expert sur un sujet très technique.	Frilosité des experts pour décortiquer le raisonnement intrinsèque.
Etude qualitative	Observation	Analyse d'un phénomène réel comme des conditions de travail, un conflit social, une situation politique ou faire une étude sociologique.	Difficulté d'observation dans le pas de temps intéressant (juste en amont d'une prise de décision). Difficulté d'observer la diversité des types de décision sans multiplier le dépouillement de nombreuses études de cas.
Etude qualitative	Focus group	Collecte de données pour comprendre un phénomène touchant un groupe de personnes ou sur un sujet de société où chacun peut donner son avis.	Inconvénients liés à la dynamique de groupe (monopolisation de la parole, point de vue imposé).
Etude quantitative	Questionnaire	Interrogation d'un ensemble de citoyens, afin de collecter diverses informations exploitables statistiquement pour avoir des informations sur un sujet donné.	Peu manquer de franchise car anonyme. Peu de personnalisation.
Etude quantitative	Sondage	Audit d'une opinion générale sur un sujet donné.	Peu manquer de franchise car anonyme. Peu de personnalisation.

FIGURE 3.5 – Méthodes classiques de collecte de données et inconvénients relevés pour l'acquisition de connaissances sur le processus de décision en risques naturels.

3.2 Ingénierie des connaissances en matière de processus de décision

L'ingénierie des connaissances (IC) se concentre sur l'identification, la création, le stockage et la mise à disposition des connaissances. Elle distingue des centres d'intérêt concernant l'utilisation qui peut ensuite être faite de la connaissance, et de la façon dont elle sera partagée. [Charlet, 2005] la décrit comme une démarche d'analyse et de modélisation d'une résolution de problèmes. Elle semble idéale dans son approche car elle a pour but de définir le rôle des données et des informations dans une résolution de problème en s'appuyant sur des méthodes issues de multiples disciplines, de la psychologie cognitive jusqu'à l'intelligence artificielle en passant par la linguistique ou la sociologie. Elle repose sur un point de vue conceptuel et un point de vue opérationnel complémentaires et ne peut mobiliser l'un sans l'autre au risque de perdre sa spécificité, son efficacité et l'objet même de sa recherche. D'un point de vue conceptuel, l'IC trouve l'objet de sa recherche dans des systèmes dont le fonctionnement est interprétable par l'humain en termes de connaissances. D'un point de vue opérationnel, l'ingénierie des connaissances intègre ces réflexions dans des systèmes informatiques qu'il faut modéliser, concevoir, implémenter et faire évoluer.

Notre travail se positionne sur ce second point de vue et pose la question d'une technique de recueil de données. L'IC propose trois méthodes à cette fin (1) le questionnement direct d'expert, (2) l'extraction informatisée d'informations à partir de texte, le *TextMining* et (3) l'agrégation d'informations par méthodes informatisées via le *DataMining*.

Dans la section précédente, nous avons vu que le questionnement direct des experts n'était pas adapté à nos intentions. Les méthodes d'extraction ou d'agrégation, quant à elles, se basent sur des textes ou données qui existent peu dans notre cas de figure. En effet, comme évoqué dans le chapitre 2, l'étude des processus de décision à partir des cas du passé se heurtent à deux problèmes. D'une part, il y a peu de cas réellement décrits qui vont jusqu'à présenter le processus de décision. D'autre part quand ils existent ils ne sont pas décrits avec le niveau de détail qui nous serait nécessaire. Dans nos recherches pour répondre au besoin de collecte de données, nous avons alors envisagé la piste des outils de transfert de connaissances.

3.3 Transférer la connaissance avec des outils : le concept original de jeu

Penser *transfert de connaissances* amène à se poser la question des outils existants en matière de transfert de la connaissance dans la formation. Un tour d'horizon des supports pédagogiques proposés par les organismes spécialisés en formation (Digiforma par exemple), nous a amené à mettre de côté toutes les solutions où la relation entre le formateur et l'apprenant était trop descendante. Cette situation est peu adaptée à nos besoins en particulier car la connaissance n'est pas acquise en amont de la supposée formation. C'est le cas pour au moins les trois premiers supports pédagogiques listés ci-dessous :

- Les supports de présentation de type PowerPoint, Prezi;
- Les maquettes;
- Les vidéos;
- Les outils de e-learning qui présentent un niveau supérieur d'interaction de l'apprenant avec le contenu de la formation (en comparaison des précédents supports) mais qui n'ont pas non plus vocation à créer de la connaissance;
- Les jeux de formation qui comprennent les jeux de rôles ou mises en situation et qui présentent un niveau encore supérieur d'interaction de l'apprenant, en travaillant sur sa motivation et son engagement dans le propos.

Parmi ces supports, un d'entre eux a retenu particulièrement notre attention : le jeu. [Juul, 2003] le définit comme suit :

"A game is a rule-based formal system with a variable and quantifiable outcome where different outcomes are assigned different values, the player exerts effort in order to influence the outcome, the player feels attached the outcome and the consequences of the activity are optional and negotiable".

Dans le cadre de notre travail, le concept de jeu présente plusieurs avantages :

- Le jeu est donc un outil pédagogique de transfert de connaissances. En tant que tel on pourrait considérer qu'il ne prodigue qu'une formation descendante de l'outil vers l'apprenant. Or, le jeu, en permettant de s'immerger dans le propos à apprendre ou comprendre, provoque des interactions entre les deux parties. Nous voyons là la possibilité d'observer le joueur-apprenant. Cette possibilité, ramenée à notre besoin d'observation des processus de décision, nous amène à penser que le jeu peut servir de support à l'observation du fonctionnement du joueur et donc à la collecte de données sur le fonctionnement du processus de décision;
- Le jeu est aussi un système de règles dans lequel le joueur-apprenant évolue dans un monde de possibilités et de contraintes. Cela constitue un cadre que nous pouvons définir qui est reproductible et mesurable. En cela, nous imaginons aborder l'observation du processus de décision par un côté expérimental assimilable à une forme de décision de laboratoire. En considérant

3.3. TRANSFÉRER LA CONNAISSANCE AVEC DES OUTILS : LE CONCEPT ORIGINAL DE JEU

de façon basique le jeu comme un système, cela donne la possibilité de modifier les données d'entrée, d'influencer le fonctionnement du système, de tracer toutes les actions et tous les événements, de contrôler ou mesurer les données de sortie;

- Cette considération du jeu en tant que système rend tout le processus assez facilement informatisable. Le fonctionnement du jeu peut-être réduit à des processus et des données comme dans tout système à informatiser;
- Dernier atout que présente le jeu : il n'a aucune conséquence dans la réalité. En regard de nos besoins, prendre une mauvaise décision n'aura d'impact que sur l'apprentissage du joueur-apprenant.

Parmi les jeux utilisés comme support pédagogique, l'immersion dans une thématique réelle est de fait particulièrement attractif. La littérature nous amène alors à nous intéresser aux concepts de *jeux sérieux* et, parmi eux les *jeux utiles*.

Les premières définitions des jeux sérieux datent de plus de trente ans [Abt, 1987]. Le concept n'est pas récent et n'a cessé de se développer. Si bien qu'en 2015, le Ministère de l'Éducation Nationale, dans le cadre du développement de l'enseignement avec le numérique, a établi une liste officielle des jeux sérieux ayant été développés à l'initiative des différentes académies de France. A l'intention de tous, dans un cadre éducatif, universitaire ou en formation professionnelle tous les publics sont visés. La liste est très longue et touche à des sujets et objectifs divers. En voici quelques exemples (source EDUSCOL²) :

- Une mise en scène d'isoloir pour sensibiliser au devoir de citoyen, une immersion dans le patrimoine architectural français ou bien dans la Rome Antique;
- Une sensibilisation à la prévention contre l'obésité ou la solidarité dans le sport;
- Une sensibilisation au développement durable, les gestes écologiques du quotidien, l'impact environnemental d'un quartier, l'eau potable;
- Un apprentissage des notions d'économie, de mécanique ou encore de mathématiques en détruisant des zombies.

De nombreuses autres initiatives atypiques sont référencées par un site internet incontournable dans le domaine (serious-game.fr³). Par exemple des jeux sérieux pour apprendre à gérer son diabète, voyager dans le temps vers la Première Guerre mondiale ou encore lutter contre la radicalisation.

Aujourd'hui, une définition des jeux sérieux assez complète est donnée par [Alvarez, 2007] :

"Un jeu sérieux est une application informatique, dont l'intention initiale est de combiner, avec cohérence, à la fois des aspects sérieux (serious) tels, de manière non exhaustive et non exclusive, l'enseignement, l'apprentissage, la communication, ou encore l'information, avec des ressorts ludiques issus du jeu vidéo (game). Une telle association, qui s'opère par l'implémentation d'un scénario pédagogique [...], une histoire et des règles idoines, a donc pour but de s'écarter du simple divertissement."

Cette définition est cependant trop large pour nos préoccupations car, selon [Guardiola et al., 2012], toute application qui relève du numérique qui n'est pas destiné aux loisirs et qui utilise soit une technologie, soit des principes de conception développés à l'origine pour le jeu vidéo : typiquement l'utilisation d'un processeur graphique pour un usage médical ou un jeu de rôle en ligne pour fidéliser une clientèle. C'est pourquoi il s'attache à définir la notion de jeu utile comme suit :

"Un jeu utile comme un système dynamique formel dont le comportement, délimité par des règles, produit des conséquences variables et des effets quantifiables. Le joueur doit avoir la sensation que ses actions influencent de façon contrôlée le comportement du jeu pour pouvoir être émotionnellement attaché aux résultats observés. Le jeu utile est donc construit pour un objectif défini de la vie réelle."

2. <https://eduscol.education.fr/numerique/dossier/apprendre/jeuxserieux>

3. <https://www.serious-game.fr>

[Guardiola et al., 2012] propose de classer l'utilité des jeux utiles en six catégories. Nous les avons illustrées en prenant l'exemple de jeux utiles qui pourraient être destinés au même public mais dont l'utilité varie (Fig.3.6). On choisit ici de se placer dans le contexte du dispositif d'observation des données sur les avalanches dans lequel il est nécessaire de former des personnes pour recueillir des données d'évènements. La cible choisie pour le jeu est un *observateur d'évènements d'avalanche pour le programme de l'EPA*. C'est un métier qui consiste à relever des données descriptives des avalanches produites sur la zone dont l'observateur a la charge pour alimenter une base de données nationale gérée par INRAE, l'EPA.

Utilité visée par un jeu utile	Illustration avec le cas d'un jeu utile à destination d'un observateur d'évènements pour le programme de l'EPA (on l'appelle ensuite dans le tableau simplement <i>observateur</i>)
Analyser	Déterminer si le joueur est un bon observateur, s'il a les compétences techniques nécessaires.
Sensibiliser	Sensibiliser sur la nécessité et l'intérêt du métier d'observateur
Comprendre	Comprendre la technicité du métier et ce qui le rend plus complexe (ex : événements anciens, site d'observation peu accessible)
Apprendre	Apprendre la technique (ex : Placer des points de repères pour mesurer la hauteur des coulées d'avalanche)
Convaincre	Convaincre que le programme qui utilise les observateurs est indispensable pour l'avenir
Guérir	Comment gérer les situations conflictuelles (ex : sur le terrain problème d'accès)

FIGURE 3.6 – Illustration de l'utilité des jeux utiles, adapté de [Guardiola et al., 2012].

Comme vu précédemment, la capitalisation de la connaissance concerne tout autant la création de la connaissance que l'exploitation de cette connaissance. Sur le fond, un jeu utile a deux caractéristiques essentielles : une fonction de jeu et une utilité d'usage par rapport à un objectif défini. Il peut avoir différents objectifs : analyser, sensibiliser, comprendre, apprendre, convaincre ou guérir. Cet aspect des jeux peut donc apporter une contribution en matière de création de la connaissance. Et sur la forme, la famille des jeux sérieux au sens large, est une famille d'applications informatiques. Cette caractéristique ouvre des perspectives pour l'exploitation des données.

Les processus de décision se décomposent en plusieurs processus de décision plus petits. Ils utilisent des données brutes et des données transformées qui deviennent elles-mêmes des données d'entrée pour d'autres étapes du processus de décision global. Ces données doivent être sauvegardées et tracées dans le processus de décision global, tel que présenté (Fig.2.15). Comme vu en chapitre 2, la traçabilité dans le processus de décision est essentielle pour la caractérisation de la qualité globale du processus. Gérer cette traçabilité dans les systèmes d'information est donc une nécessité.

Conclusion sur la capitalisation de la connaissance sur les processus de décision en matière de gestion des risques naturels avec des systèmes d'information.

Ce chapitre permet d'envisager le développement d'un jeu sérieux pour plusieurs raisons :

- Le jeu sérieux se présente comme une alternative innovante à la formalisation classique des processus de décision ;
- Par le biais du jeu et des profils des joueurs, le jeu sérieux permet d'aborder l'interdisciplinarité dans la prise de décision ;
- Le jeu sérieux est également un outil pédagogique et de communication qui permet d'ouvrir le débat sur la composition intrinsèque du processus de décision et ses possibilités d'évaluation ;
- Le jeu sérieux permet de palier la difficulté de l'acquisition des connaissances sur le processus de décision. Il constitue une sorte de laboratoire où la décision peut être prise dans un cadre pré-défini et ainsi être observée.

Les méthodes de conception des systèmes d'information et notamment celles avec un volet de modélisation conceptuelle apparaissent comme des candidates naturelles porteuses de solutions. Le chapitre 4 aborde ces possibilités.

A noter, qu'une démarche directe d'observation de processus de décision basée sur des événements du passé aurait pu constituer un échantillon de données à exploiter. Cette piste de travail a néanmoins trouvé des limites dans le cadre de notre travail. En effet, peu de documents (ou systèmes informatisés) détaillent les processus de décision dans leur intégralité : tous les acteurs associés, les facteurs d'influence, les sources de toutes les données utilisées. On se confronte à une grande diversité de cas. Les décisions peuvent être dans des contextes très divers et peuvent correspondre à des niveaux de complexité différents. Ceci les rend difficilement comparables et exploitables sans un travail de modélisation puis de structuration conséquents.

CHAPITRE 4

REPRÉSENTATIONS UML ET FORMALISATION DES JEUX SÉRIEUX

Sommaire

4.1 Concepts généraux de métamodélisation	76
4.1.1 Modèle et ingénierie des modèles (IDM)	76
4.1.2 DSML et profils UML	79
4.2 Modélisation de jeux sérieux	81

Ce chapitre présente, en section (Sec 4.1), les concepts généraux de la métamosélation informatique, d'ingénierie des modèles (IDM) et, de profil UML en tant qu'outils de conception de systèmes informatisés. Ces concepts sont essentiels dans la formalisation et l'abstraction conceptuelles informatiques. Elle est considérée comme abstraite quand les préoccupations de développement dépassent la programmation classique. Comme vu précédemment, les jeux sérieux se présentent comme une piste de travail particulièrement adaptée pour capturer le processus de décision. Nous présentons donc, aussi, les représentations proposées dans la littérature, pour modéliser les jeux sérieux dans la section 4.2.

4.1 Concepts généraux de métamodélisation

Cette section présente l'utilité des modèles informatiques dans la conception informatique en se focalisant principalement sur les approches basées sur le langage de modélisation UML, considéré aujourd'hui comme un standard. La question du choix de l'approche de modélisation la plus adaptée à notre contexte se pose et nous décrivons et analysons ci-dessous les différentes options.

4.1.1 Modèle et ingénierie des modèles (IDM)

Un modèle est une représentation abstraite de la réalité qui est construite, vérifiée, analysée, et manipulée pour mieux comprendre cette réalité [Browning et al., 2006]. Même si cette définition est proposée dans un cadre initialement informatique, elle n'en reste pas moins générique et applicable, par exemple, aux modèles mathématiques, statistiques, biologiques, etc. A la base, [Browning et al., 2006] s'interroge même sur les modèles mentaux que nous pouvons, à notre insu, mettre en place. Il distingue, comme nous l'avons fait précédemment, l'information de la connaissance. La connaissance est requise pour les travaux non automatisés et les informations circulent entre les individus pour servir des activités. Un modèle mental nous aide donc dans les deux sens de transformation; pour transformer une information en connaissance et pour utiliser une connaissance en tant qu'information. Développer un modèle informatique revient donc à capter un point de vue d'un problème à résoudre pour proposer une version de la réalité simplifiée, mais qui répond à des objectifs clairement identifiés.

Les années 2000 ont vu le développement de l'IDM qui est une forme d'ingénierie pour la conception d'outils informatisés dans laquelle tout ou partie de la solution informatique est générée à partir de modèles informatiques [Combemale, 2008b]. Pour soutenir la conception de systèmes dont la complexité est toujours croissante et très dépendante de plateformes d'exécution, le principe de l'IDM est d'automatiser la production des briques physiques (exécutables) en s'appuyant sur des modèles informatiques et une succession de transformation de ces derniers jusqu'à l'objectif. Le bénéfice principal attendu est une flexibilité dans les développements, mais surtout dans les mises à jour de développement qui permettent, par exemple, de se s'adapter aux évolutions rapide des technologies.

Un modèle informatique peut prendre une forme graphique ou une forme textuelle. L'Object Management Group¹ (OMG), qui est un consortium international de normes technologiques à but non lucratif, met à disposition un langage de modélisation graphique normalisé : l'Unified Modeling Language² (UML). Il s'est imposé comme un standard. Ce langage propose une dizaine de diagrammes

1. <https://www.omg.org/>

2. <http://uml.org/>

4.1. CONCEPTS GÉNÉRAUX DE MÉTAMODÉLISATION

normalisés qui ont tous pour objectif de détailler un aspect de la conception (Fig. 4.1). Ils sont répartis en trois catégories selon leur utilité : explorer les besoins utilisateurs, décrire l'architecture (vision statique du système visé) ou décrire le comportement (vision dynamique du système visé).

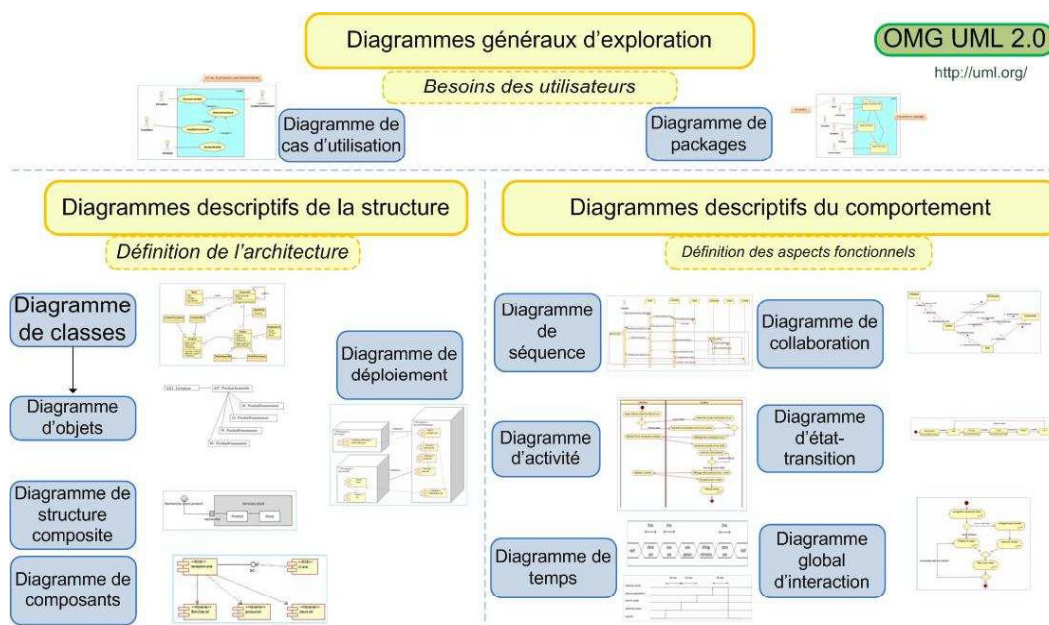


FIGURE 4.1 – Les diagrammes de description proposés par le langage UML 2.0.

UML est couramment utilisé pour la modélisation de systèmes informatiques avant leur implémentation informatique, mais il peut parfois être utilisé uniquement pour ses capacités analytiques de systèmes au sens large [Philippe et al., 2019], [Vidaud-Barral et al., 2016]. Le standard Meta-Object Facility (MOF) de l'OMG propose quatre niveaux d'abstraction pour modéliser des concepts jusqu'à une implémentation informatique qui englobe le langage UML.

Le standard propose ainsi une pile de (méta-)modélisation. Elle présente 4 niveaux (Fig. 4.2) :

- Le niveau M3, le niveau supérieur : C'est le méta-méta-modèle proposé par le standard. C'est un langage qui offre les bases pour décrire tous les méta modèles du niveau inférieur. Il permet de définir, entre autres, le concept de *métaclass* qui détermine comment les *classes* qui en sont issues seront utilisées dans un niveau inférieur ;
- Le niveau M2 : Ce niveau est le méta-modèle. C'est un langage qui définit les possibilités du langage qui va servir à décrire le modèle inférieur et garantir sa cohérence. Il permet de définir par exemple le concept de classe (en cohérence avec le niveau supérieur) qui détermine comment les objets qui en sont issus seront utilisés dans un niveau inférieur. Par exemple, le méta-modèle d'UML définit l'étendue des possibilités d'UML pour le système étudié ;
- Le niveau M1 : A ce niveau, il est possible de décrire le modèle d'un système que l'on souhaite. L'intégralité du système et de ses fonctionnalités sont décrites en cohérence avec le langage qui est défini au niveau supérieur ;
- Le niveau M0, le niveau inférieur : Ce dernier niveau correspond aux instances d'un système représenté en M1.

Chaque niveau supérieur est garant de la cohérence du niveau inférieur. La figure (Fig. 4.2) donne un exemple de représentation pour chaque niveau.

La modélisation est un support majeur de capitalisation des connaissances. La modélisation, avant même d'être un atout de conception informatique, peut se révéler être un outil efficace de production, de formalisation et d'amélioration de la connaissance. C'est par exemple le cas quand la conception de modèles est réalisée avec plusieurs acteurs et qu'elle permet ainsi d'explicitier et de formaliser leurs connaissances.

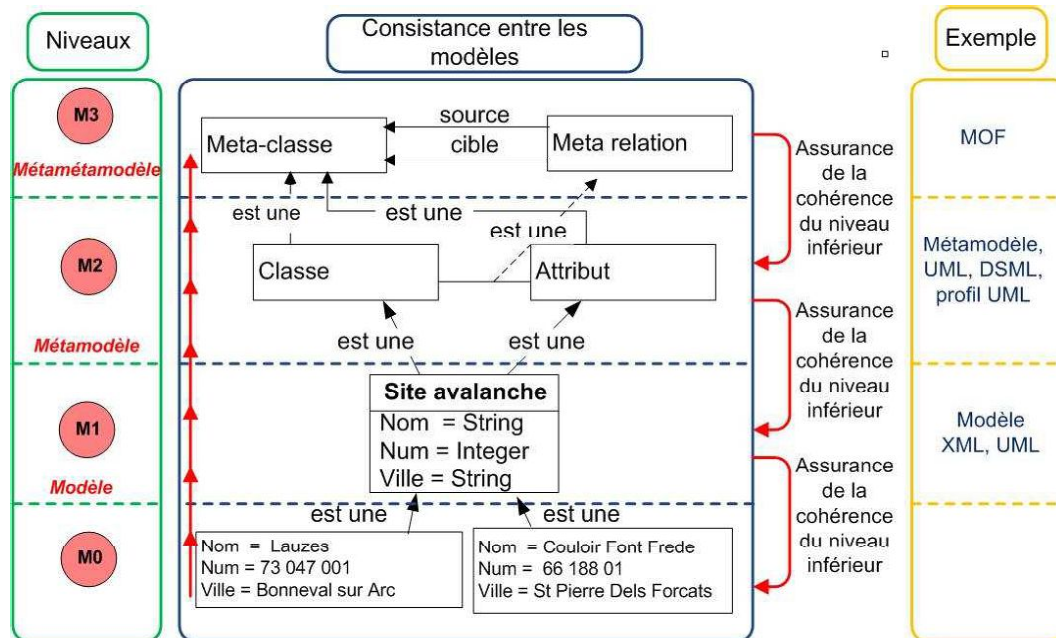


FIGURE 4.2 – Interprétation de la pile de modélisation de la norme Meta-Object Facility (MOF) proposée par l'Object Management Group (OMG).

[Jézéquel et al., 2012], souligne la nécessité de s'appuyer sur la métamodélisation lors du développement de systèmes qualifiés de « complexes ». C'est à dire pour les systèmes dont les qualités suivantes sont attendues :

- Une réutilisabilité logicielle qui est l'aptitude du logiciel à proposer des composants réutilisables [Nguyen et al., 1997];
- Une durabilité qui est la capacité à revenir à l'état fonctionnel nécessaire;
- Une variabilité logicielle qui est l'aptitude d'un système à pouvoir évoluer, être adapté ou configuré en fonction d'un contexte particulier (Définition de WISE Research Group, université de Bruxelles).

La démarche que nous choisirons dans cette thèse s'appuiera sur la métamodélisation. D'une part la métamodélisation peut contribuer à l'explicitation et la formalisation du processus de décision et, d'autre part elle peut assurer une modélisation de systèmes qui seront informatisés. Ceci nous a amené à nous interroger sur la nécessité de développer un langage qui serait dédié à nos préoccupations de capture et de formalisation du processus de décision. Comme nous allons le voir dans la sous-section suivante, les Domain Specific Modeling Language (DSML) sont destinés à cela.

4.1.2 DSML et profils UML

Un DSML est un langage de modélisation informatique, généralement graphique, d'une expressivité limitée centrée sur un domaine particulier. Selon [Selic, 2007], de façon plus globale, les DSML présentent des avantages :

- Ils supportent différents niveaux de précision ;
- Ils permettent de représenter les éléments avec différents points de vue ;
- Ils proposent une représentation graphique avec une compréhension implicite qui fait défaut à une représentation textuelle.

Trois approches sont possibles pour développer des DSML :

- Raffiner un langage de modélisation déjà existant en spécialisant certains concepts à notre domaine (option la moins coûteuse) ;
- Étendre un langage de modélisation déjà existant en développant des constructions spécifiques à notre domaine (utilisation de **stéréotypes** pour étendre le vocabulaire d'**UML**) ;
- Définir un langage de modélisation depuis la base.

Pour [Selic, 2007], une bonne solution pour produire un langage de modélisation dédié à un domaine est d'envisager la création de profils **UML**. Ils peuvent être vus comme des Domain Specific Modeling Language (**DSML**) conformes à **UML** (pas de conflits avec la syntaxe **UML**). Un profil **UML** est un complément de métamodèle qui permet de mieux adapter une modélisation à une application particulière.

L'utilisation de profils **UML** présente deux avantages immédiats :

- Les profils sont créés avec le langage **UML**. Leur manipulation est possible directement car de nombreux outils supportant **UML** ont déjà été développés. Leur fonctionnement a déjà été éprouvé dans des communautés d'utilisateurs et/ou de développeurs dans plusieurs domaines. Les profils **UML** offrent un cadre pour concevoir des **DSML**. De nombreux outils existent pour faciliter la production de code à partir de modélisation en **UML** ? ce qui s'inscrit bien dans le cadre de l'**IDM** ;
- De nombreux profils **UML** existent et constituent une base qui peut être mobilisée pour modéliser ou inspirer de nouveaux profils.

Un profil **UML** peut être vu comme une spécialisation du méta-modèle **UML**. Il est qualifié de mécanisme d'extension d'**UML** car ce qui est ainsi créé permet d'adapter **UML**, très généraliste, à un contexte métier ou technique précis. Un profil **UML** peut être composé de **stéréotypes**, contraintes et **valeurs étiquetées**. Un stéréotype est une extension d'une métaclasse du standard **MOF**. Si un stéréotype étend la métaclasse *Class*, il pourra s'appliquer à toute instance de cette métaclasse, c'est à dire à toute classe. Un stéréotype donne la possibilité aux concepteurs de modèles, d'identifier dans son modèle toutes les classes qui ont une caractéristique commune. Les stéréotypes peuvent contenir des attributs par exemple. Ces attributs qui s'appellent des étiquettes (ou tag). Lorsqu'une valeur est affectée à l'étiquette on l'appelle valeur étiquetée (ou tagged value) (Fig. 4.3).

La figure (Fig. 4.4) donne l'exemple d'un modèle utilisant un profil **UML** existant, dédié à la représentation des données géographiques. Un ensemble de "stéréotypes" a été ajouté à **UML** afin de modéliser plus directement les données géographiques. Sur le diagramme **UML**, les stéréotypes sont représentés par des pictogrammes graphiques et décrivent les types d'objets spatiaux qui correspondent aux classes (point, ligne, polygone). Ces stéréotypes sont donc associés à la métaclasse « classe » présente dans le métamodèle d'**UML**. D'autres stéréotypes pourraient aussi être définis sur d'autres éléments, tels que les associations entre les classes, par exemple.

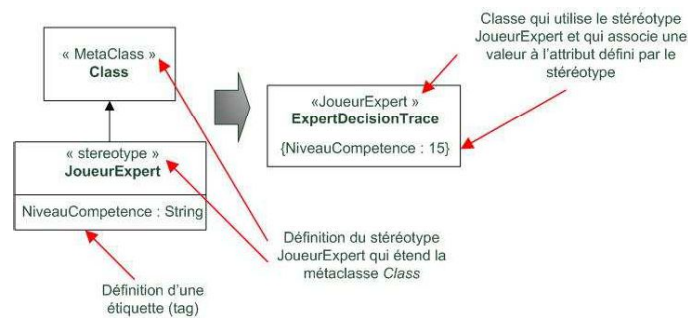


FIGURE 4.3 – Un exemple de valeur étiquetée sur un stéréotype de profil UML

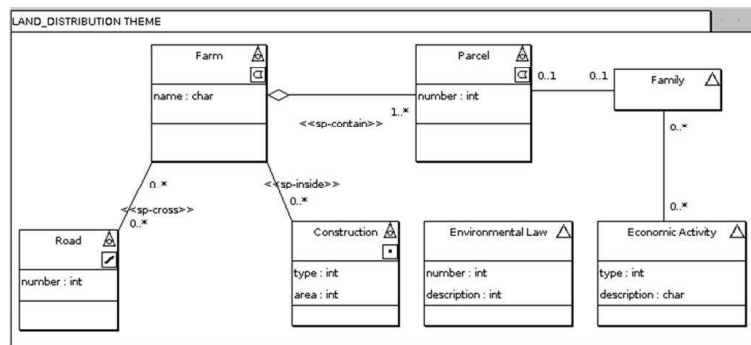


FIGURE 4.4 – Un exemple de profil UML (profil UML-GeoFrame) selon [Lisboa et al., 1998] et [Pinet, 2012].

Quelques avantages de l'utilisation des profils UML :

Ainsi, les profils UML vont permettre de spécialiser pour mieux manipuler les concepts spécifiques à un domaine d'application particulier. Un profil UML permet de spécialiser les concepts en fonction des besoins.

[Fuentes-Fernández and Vallecillo-Moreno, 2004] souligne les caractéristiques suivantes des profils UML :

- Les profils permettent le développement de concepts adaptés à un domaine d'application spécifique et la définition de contraintes spécifiques sur les objets;
- Les profils fournissent une représentation commune pour un ensemble de modèles;
- Les profils facilitent la réutilisation des modèles.

Si on devait illustrer d'une façon imagée le concept de profil UML, on pourrait s'inspirer de la pâtisserie en revenant sur les niveaux d'abstraction de la pile de métamodélisation présentée précédemment. L'objectif serait de confectionner un gâteau et de pouvoir le reproduire.

En prenant les étapes de conception dans l'ordre inverse, on s'interroge sur ce qu'il est nécessaire de prévoir dans l'étape précédente pour arriver au résultat :

- Au niveau le plus concret, M0, il faut confectionner un gâteau et pouvoir le reproduire. L'étape précédente doit donc fournir un moule à gâteaux. C'est le niveau M1;
- Au niveau M1, on a besoin de savoir usiner un moule à gâteaux. L'étape précédente doit donc fournir une chaîne de montage de moules à gâteaux. C'est le niveau M2;

- Au niveau M2, on a besoin de savoir paramétrer cette chaîne de montage en lui indiquant quels matériaux, quelles formes sont attendus. On part ici d'un catalogue de proposition très large pour l'usinage normalisé de pièces, c'est le niveau M3.

Si on reprend les étapes de conception dans l'ordre logique de réalisation (Fig. 4.5), on distingue les différents enchainements. On choisit dans le niveau M3, le catalogue, les outils pertinents pour concevoir la chaîne d'usinage de moules à gâteaux. Le niveau M2 permet de fixer des choix ou des contraintes qui seront valables pour tous les moules à gâteaux produits sur la base du stéréotype défini (*MouleACake*). Sur l'exemple, on peut décider de produire des moules à cake avec une longueur spécifique. Le niveau M1 utilise ensuite le type de moules à gâteaux proposé, en spécifie une longueur (la *tagged value* prend comme valeur 23cm), pour proposer un type de moule en silicone. Enfin au niveau M0, sur la base de ces moules, on peut produire autant de moules en silicone que souhaité.

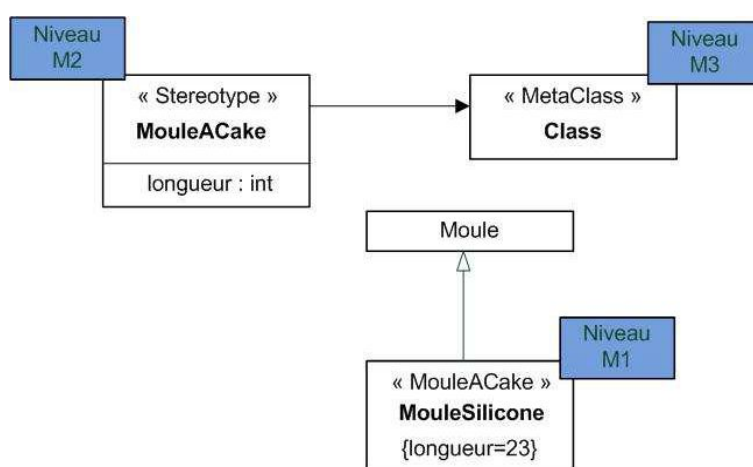


FIGURE 4.5 – Principe d'utilisation d'un stéréotype de profil UML

4.2 Modélisation de jeux sérieux

Les jeux sérieux ont suscité un grand intérêt ces dernières années. Leur conception fait l'objet de recherches depuis une quinzaine d'années comme en témoigne le nombre de publications qui aborde le sujet. En voici quelques exemples avec leur principale thématique : [Thompson et al., 2007] sur les pratiques de conception, [Michael and Chen, 2005] sur les jeux sérieux dans l'éducation, [Juul, 2010] sur la nouvelle approche des jeux vidéos, [Alvarez et al., 2012] sur la transition entre jeux vidéos et jeux sérieux, [Nystrom, 2014] sur les patrons de programmation pour les jeux.

Plusieurs travaux cherchent à formaliser les grands principes structurants des jeux. Les formalismes utilisés pour modéliser ces grands principes sont assez hétérogènes : métamodèles, ontologies, profils UML (Unified Modeling Language), MDA (Model Driven Architecture), DSML (Domain Specific Modeling Language), etc. Nous présentons ci-dessous une vue d'ensemble de ces travaux afin de synthétiser les principaux concepts que l'on trouve dans les jeux sérieux, et les façons dont ils peuvent être formalisés. Un tableau résume les différents concepts formalisés et les différentes approches proposées (Tab. 4.12). Le tableau détaille les principaux composants des jeux.

Pour organiser les relations entre les composants d'un jeu, [Holopainen, 2011] propose quatre catégories descriptives qui seront réutilisées dans la description de notre contribution (chapitre 6) :

- *Composants holistiques du jeu* : ce sont les grands composants caractéristiques du jeu qui sont décrits pour les différencier nettement de toute autre activité. Ces composants permettent de décrire le jeu d'un point de vue extérieur;
- *Composants de cadrage du jeu* : ce sont les composants qui vont poser le cadre de jeu. Ces composants permettent de décrire le jeu d'un point de vue interne : ses limites, ses objectifs, ses règles;
- *Composants temporels* : ce sont les composants qui aident au rythme du jeu, tels que des événements ou des actions;
- *Composants structurels* : ce sont les composants qui aident à décrire les artefacts physiques du jeu qui ont un rôle défini (dés, cartes et animateurs).

[Hunicke et al., 2004] propose un framework généraliste pour aider à la compréhension entre la conception et le développement de jeux, la critique de jeux et la recherche technique sur les jeux. [Hunicke et al., 2004] considère le jeu comme un produit, à la base créé pour le divertissement, qui doit être construit en prenant en compte le point de vue du concepteur (*producteur*) et le point de vue du joueur (*consommateur*). Il propose ainsi trois catégories de composants qui forment le framework appelé *MDA* : **M**echanics (composants principaux), **D**ynamics (comportement du système attendu) et **A**esthetics (réponse émotionnelle suscitée par le jeu). Chacune des catégories est construite en fonction d'un juste milieu entre les deux points de vue (Fig. 4.6). A la différence d'autres modes de divertissements (livres, films, etc.), il souligne le caractère aléatoire du déroulement de jeu. En effet, la chaîne d'événements qui se produit pendant le jeu et son résultat sont inconnus au moment où le produit est fini.

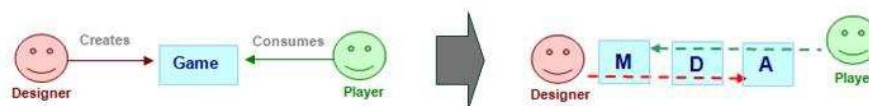


FIGURE 4.6 – Framework généraliste de conception de jeu de [Hunicke et al., 2004].

Pour [Altunbay et al., 2009], l'approche est centrée sur les jeux qui nécessitent un support régi par des règles (plateau des jeux d'échecs par exemple). Il considère que le jeu est une compétition physique ou mentale menée selon des règles avec des participants en opposition directe les uns avec les autres. Sur la base de concepts simplifiés, il propose un profil UML pour manipuler : des joueurs, ses actions au fil des tours de jeu, ses règles, des états du jeu entre deux tours et des aspects événementiels (Fig. 4.7).

[Yusoff, 2010] modélise un cadre général de conception de jeux dont le contenu pédagogique peut être validé. Le contenu pédagogique est donc très développé. Il propose un diagramme de classes avec la représentation d'activités à apprendre au travers du jeu, d'aptitudes associées (cognitives, psychomotrices ou affectives), et le contenu pédagogique (Fig. 4.9). [Aouadi et al., 2016] présente une métamodèle dans le cadre d'une approche Model Driven Architecture (MDA). La MDA peut être vue comme une variante spécifique de l'ingénierie dirigée par les modèles, proposée par l'OMG (Object Management Group). Ce métamodèle est dédié aux composants élémentaires de scénarios de jeu complexes (complémentarité nécessaire des scénarios ludiques et pédagogiques) (Fig. 4.10). Il spécialise le concept de *Ressource* pour traiter des singularités des objets graphiques, des objets pédagogiques et de leurs interactions.

[Holopainen, 2011] souligne le double intérêt de la définition de patrons de conception pour la réalisation des jeux : (1) leur utilité première de brique réutilisable et, (2) leur intérêt en tant qu'outil

4.2. MODÉLISATION DE JEUX SÉRIEUX

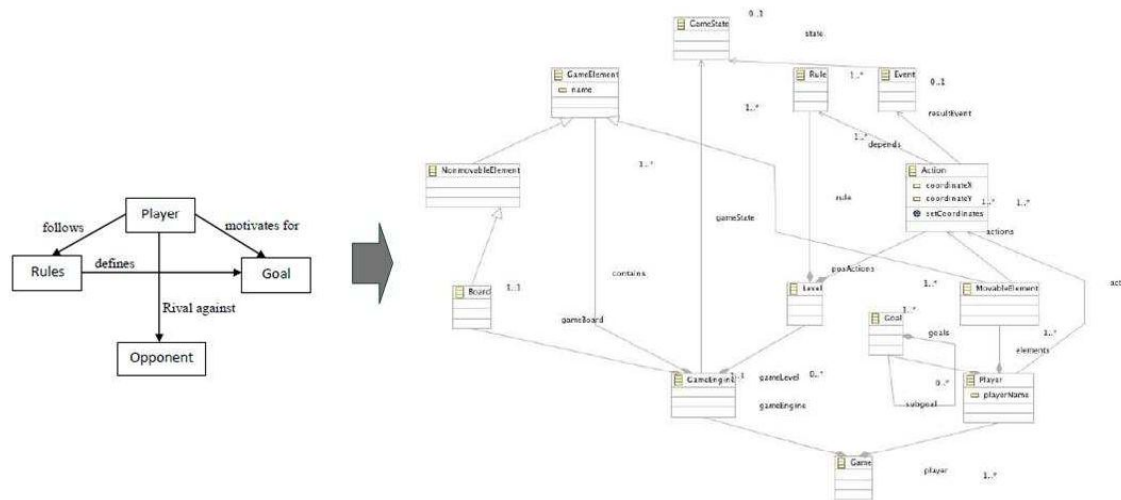


FIGURE 4.7 – Framework généraliste de conception et proposition de profil UML possible, dédié aux jeux d'échecs, selon [Altunbay et al., 2009].

analytique de compréhension des jeux. [Montero Reyno and Cubel Carsì, 2009] proposent une modélisation pragmatique du système de règles qui peut régir un jeu, au travers d'un modèle qui se veut indépendant de toutes plateformes de développement, mais initialement dédié aux jeux vidéos. La figure (Fig 4.11) décrit les concepts pour mettre en place les règles du jeu. Trois types de règles essentiellement sont définis : (1) les actions que peuvent réaliser les personnages, (2) les événements qui peuvent intervenir dans le jeu, et (3) les conditions de victoire.

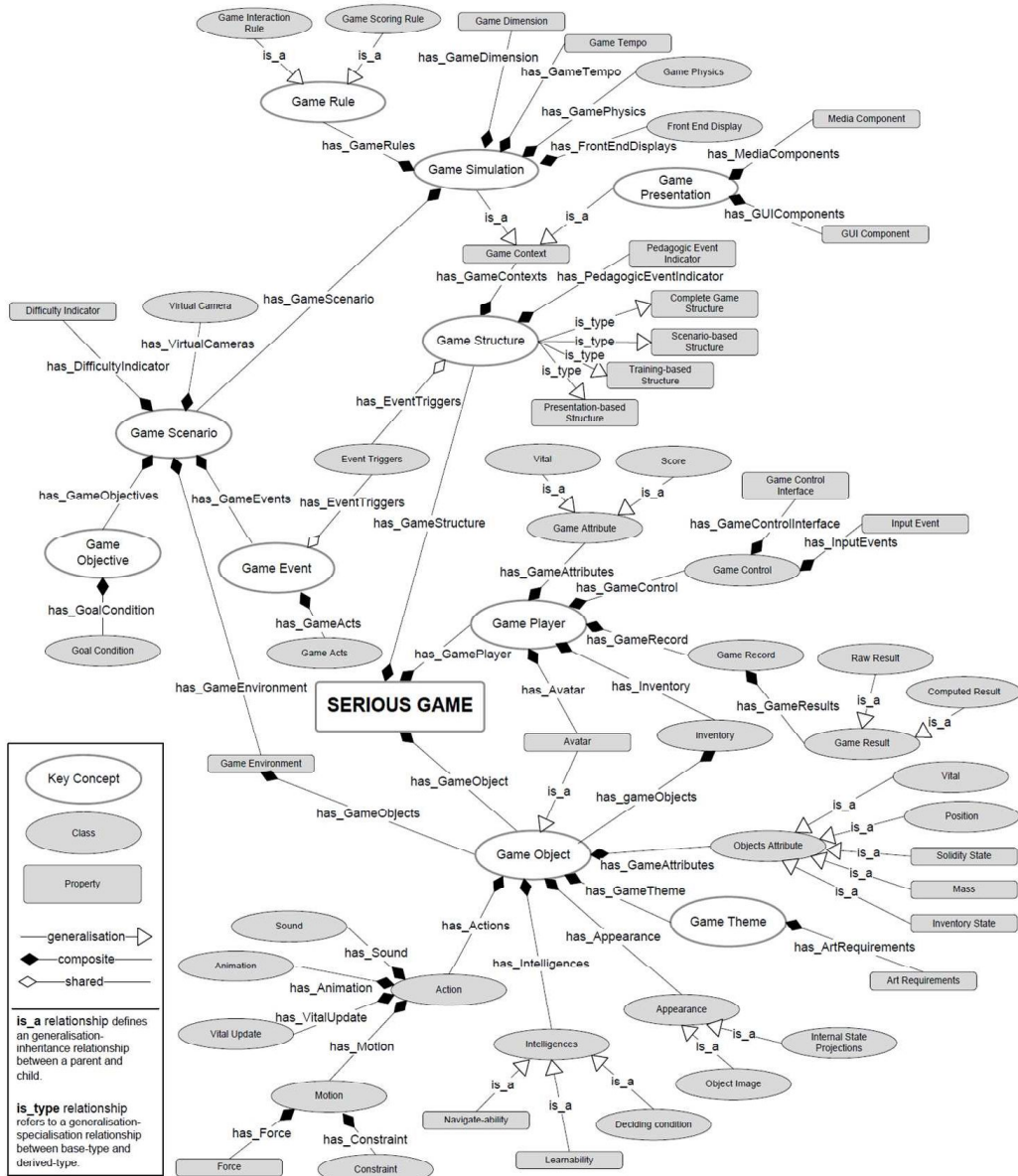


Figure 1: Ontology Diagram for Serious Game

FIGURE 4.8 – Ontologie de jeux sérieux selon [Tang and Hanneghan, 2011].

4.2. MODÉLISATION DE JEUX SÉRIEUX

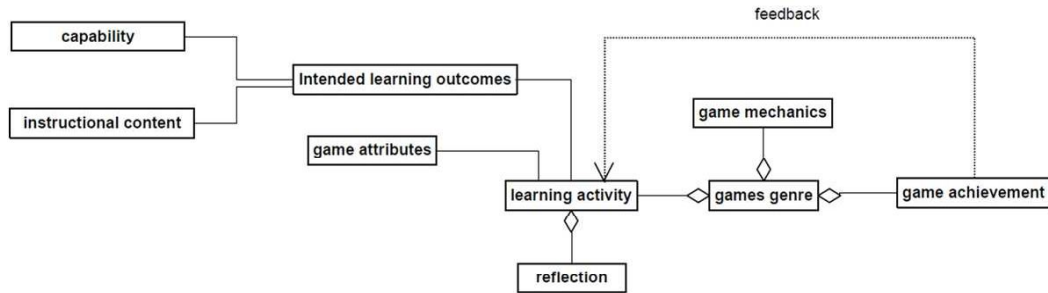


FIGURE 4.9 – Framework conceptuel des jeux sérieux présenté sous forme de diagramme de classe [Yusoff, 2010].

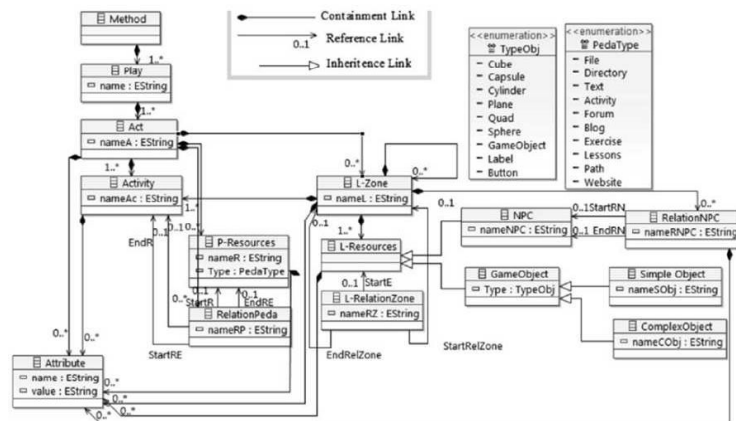


FIGURE 4.10 – Métamodèle pour la réutilisation du concept de composants de scénarios de jeux sérieux selon [Aouadi et al., 2016].

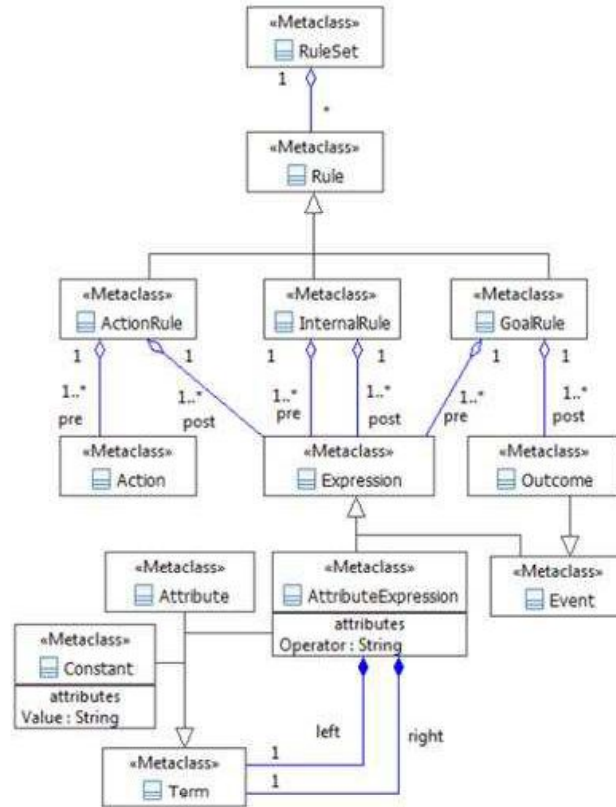


FIGURE 4.11 – Modèle de règles de jeu pour les jeux vidéo selon [Montero Reyno and Cubel Carsi, 2009].

	Proposition	Concept générique de ressources (Objets)		Activité	Thème	Événement	Simulation	Règles	Structure	Etat de jeu	Validation du contenu pédagogique	Objectifs de jeu	Temps
		Typologie des objets graphiques	Typologie des objets pédagogiques										
Altunbay et al., 2009	Profils UML	x		x		x	x	x		x			
Tang et Hanneghan, 2011	Ontologie	x			x	x	x	x	x			x	
Yusoff, 2010	Métamodèle	x	x					x			x		
Aouadi et al., 2016	Approche MDA métamodèle	x	x	x									
Holopainen, 2011	Patrons de conception			x				x	x			x	x
Montero Reyno and Cubel Carsi, 2009	Métamodèle	x		x				x	x				

FIGURE 4.12 – Principaux concepts de modélisation des jeux formalisés dans les travaux.

Conclusion concernant la conception de systèmes d'information dédiés à la traçabilité du processus de décision

A notre connaissance, aucune méthode intégrée n'a été proposée à ce jour pour faciliter la conception de systèmes d'information pour la traçabilité des jeux sérieux.

Néanmoins, différents éléments des travaux sur la formalisation des systèmes et des jeux sérieux, décrits dans ce chapitre, peuvent être exploités pour proposer cette méthode. Les concepts modélisés par les travaux décrits dans la section 4.2 peuvent donner des indications sur le type de données à stocker dans le système d'information que nous ciblons. Plusieurs de ces travaux se positionnent à un niveau de méta- modélisation. Les composants modélisés sont décrits de façon les plus génériques possibles. Pour notre part, nous souhaitons développer des jeux sérieux dédiés à l'observation du processus de décision associée à une traçabilité rigoureuse. L'objectif d'un jeu est souvent qu'il serve justement à apprendre sur ce processus. D'un point de vue technique, nous souhaitons donc que la conception des jeux reste flexible afin de pouvoir modifier ou rajouter des méthodes de description du processus de décision. Ainsi, nous recherchons une formalisation générique qui permettrait de concevoir plusieurs jeux sérieux. Nous pensons donc que l'utilisation de profils [UML](#) est adaptée.

A noter que, nous ne travaillons pas à l'amélioration des techniques ou des mécaniques présentes dans les jeux sérieux. Nous combinons des concepts déjà existants et modélisés.

SYNTHÈSE : VERS UNE NOUVELLE MÉTHODOLOGIE POUR CAPTURER, TRACER ET VALIDER LES PROCESSUS DE DÉCISION

Les méthodes de capitalisation de la connaissance et de conception informatique d'outils de traçabilité, étudiées dans les précédents chapitres, apportent isolément, mais aussi de façon encore partielle, des réponses à notre objectif global visant à capturer, tracer et valider un processus de décision. Nous proposons ici un bilan qui va permettre de définir et orienter nos développements présentés dans les chapitres 5 et 6.

Capturer et identifier le processus de décision

Concernant la *capture du processus* de décision en situation réelle, les méthodes classiques de capitalisation de la connaissance trouvent des limites essentiellement dans les moyens de collecter de la donnée et d'explicitier le raisonnement. En effet, les entretiens, sondages, questionnaires ont une part de subjectivité qui fait oublier l'intuition des "audités". Lorsqu'elles ne sont pas anonymes, elles peuvent bloquer l'expression de détails de raisonnement qui ne seraient pas étayés par des fondements scientifiques mais relèveraient plutôt d'intuitions, d'expériences ou de prises en compte de critères annexes. Il s'agit pourtant d'informations que nous considérons comme essentielles dans le processus. L'observation directe au cours de la gestion de crise réelle trouve quant à elle des limites dans le détail des informations qui pourraient être tracées. Typiquement, en gestion de crise, lorsqu'il s'agit de gestion de risques naturels, il est complexe de prendre le temps de détailler les actions et les raisonnements des acteurs.

Tracer le processus de décision

Les outils ou méthodes de conception informatique étudiés sont spécifiques et apportent des pistes de travail. Néanmoins, aucun ne couvre l'intégralité de nos besoins. Notre attente est de pouvoir capitaliser, de façon flexible et adaptable en fonction des situations, des données sur un processus de décision dont on veut apprendre, et qui ne peut donc être caractérisé de façon définitive au début de la démarche. Il est également important que l'imperfection des données qui sont impliquées dans le processus puisse être prise en compte et tracée. Certains travaux, comme ceux décrits dans la section 4.2 apportent des éléments de réponse mais aucun ne couvre à lui seul notre besoin de modélisation.

Valider le processus de décision

S'agissant de la *validation du processus* de décision, les méthodes d'aide à la décision sont envisagées, notamment les méthodes multicritères avec l'AHP en particulier ([Saaty, 1980]). Elles visent à

permettre de choisir, trier et ranger des solutions. Elles permettent de décrire le processus de décision au travers des préférences du décideur et de l'importance relative qu'il donne à des critères par rapport à d'autres. Leurs capacités à intégrer des informations imparfaites est cependant limitée. Néanmoins, elles contribuent à une sorte de formalisation et d'explicitation du processus de décision. La conception d'un modèle d'aide à la décision reste subjective et pose la question de sa validation. La question de la validation de la décision (c'est-à-dire pouvoir établir qu'on a pris la meilleure décision ou ne serait-ce qu'une bonne décision) n'a pas de réponse absolue et reste délicate.

Sur la base des constats précédents, notre proposition est d'utiliser le jeu sérieux comme un outil méthodologique de capture des connaissances et des processus. Il est associé à une démarche de conception informatique permettant de le concevoir de manière générique et de stocker ses composants et ses données. Nous avons choisi d'utiliser le concept de jeu sérieux d'une part pour capturer la connaissance sur les décisions du passé et les analyses expertes impliquées. D'autre part, il sert à capturer une décision de *laboratoire* établie dans des contextes maîtrisés par le jeu pour permettre de valider la caractérisation de la traçabilité. Notre démarche se caractérise par une approche pluridisciplinaire dans laquelle le jeu sérieux prend un rôle central d'objet de communication entre l'aide à la décision, la gestion de la connaissance et la conception informatique, comme illustré en figure (Fig 4.13). Du point de vue de l'aide à la décision, en le considérant comme un outil de simulation, il propose une autre façon de collecter et de présenter les données en devenant, au gré de multiples utilisations du jeu, une bibliothèque de processus de décision. Du point de vue des systèmes d'information, en le considérant comme un outil informatique, les principes de conception des jeux sérieux couplés à des méthodes de modélisation informatique permettent de concevoir des outils dédiés à la traçabilité du processus. Le jeu aide à rassembler dans des modélisations informatiques les connaissances sur les différents processus de décision qu'il traite. Ces modélisations constituent alors une première étape vers la construction de base de données dédiées à l'étude de ces processus de décision.

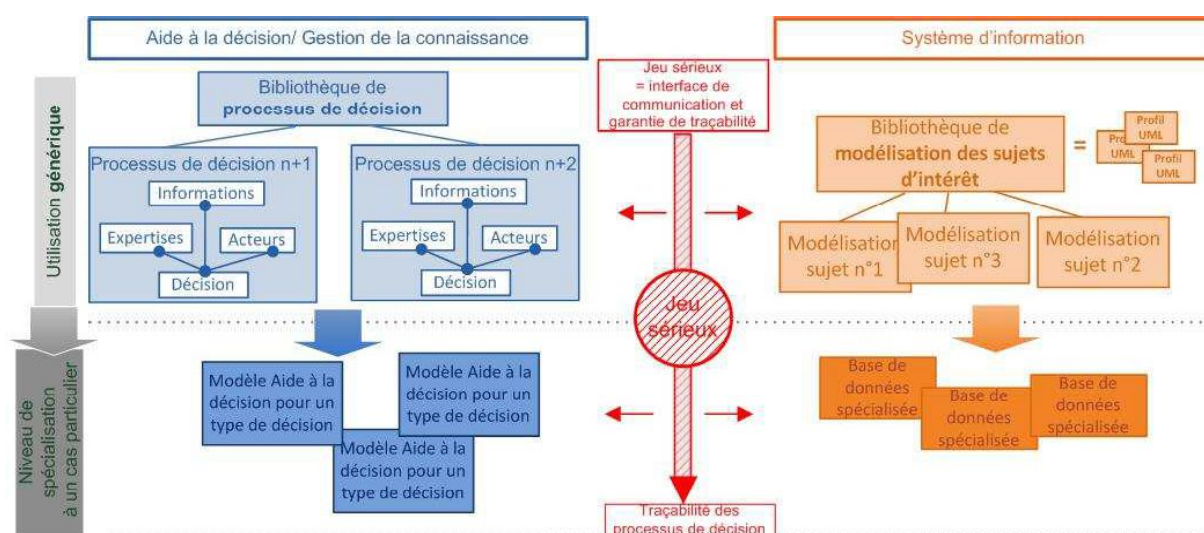


FIGURE 4.13 – Le jeu sérieux est un objet intermédiaire pour aider à la compréhension et la communication pluridisciplinaire et pour expliciter, transférer et tester les processus de décision.

Les développements réalisés s'inscrivent dans une démarche globale qui s'appuie sur le jeu sérieux et son exploitation pour répondre aux objectifs identifiés dans la section 2.2.3 avec des approches génériques. Cette démarche est d'abord présentée avec un point de vue sur les sciences de l'information (aide à la décision) et la gestion de la connaissance. Elle est ensuite présentée avec un

point de vue de conception de systèmes d'information. Les deux approches sont respectivement présentées dans les chapitres 5 et 6. La figure (Fig.4.14) présente comment ces chapitres répondent aux objectifs (n° 1, n° 2, n° 3) de la thèse, en distinguant les sections générales et les sections propres à nos domaines d'applications. Nous proposons d'utiliser des profils UML pour modéliser des jeux sérieux pour la traçabilité. Nous avons appliqué cette approche à deux jeux initialement en version plateau (DecisionTrace et RiskGame). Nous proposons des profils UML dédiés à la traçabilité des jeux sérieux, en réutilisant les concepts définis et formalisés dans la littérature (Fig. 4.12).

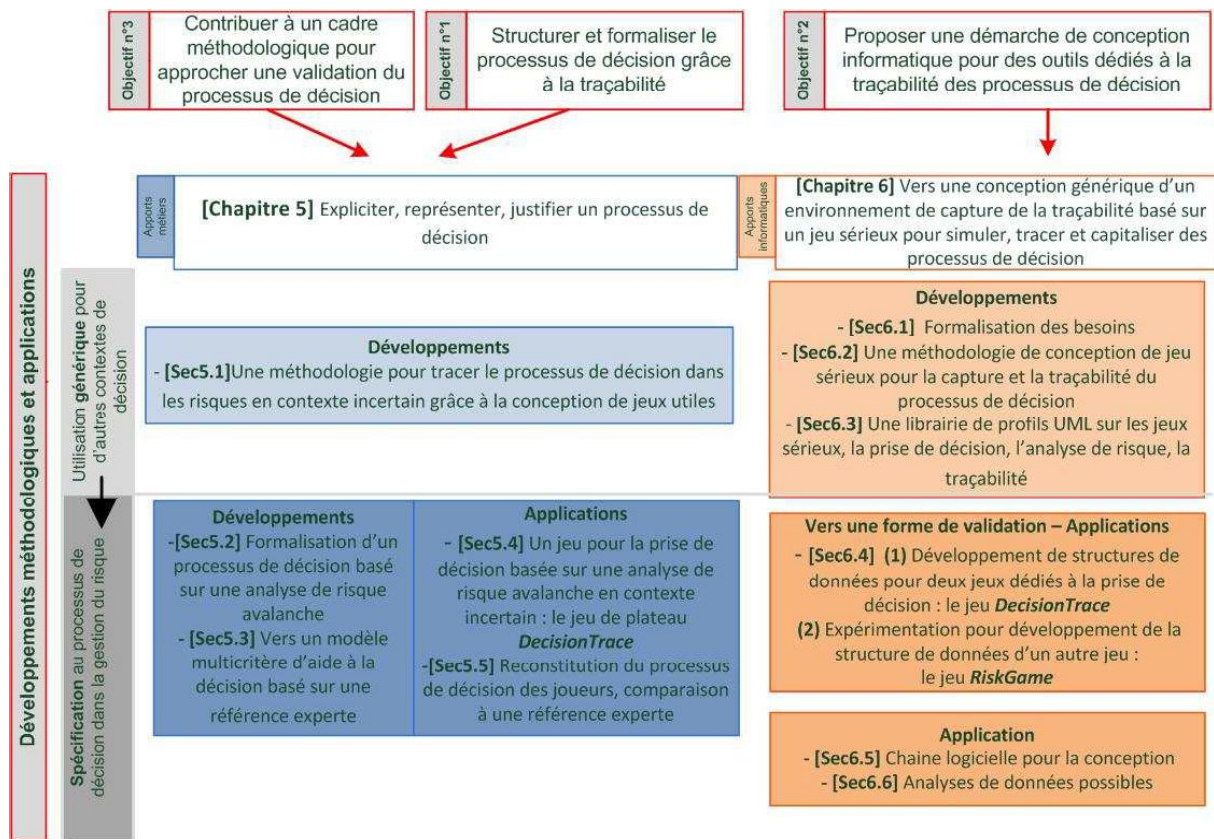


FIGURE 4.14 – Synthèse des développements et objectifs présentés dans les chapitres 5 et 6.

Le chapitre 5 présente la construction d'un cadre méthodologique pour approcher une validation du processus de décision en s'appuyant sur les jeux utiles et la structuration et la formalisation du processus de décision grâce à l'aide à la décision.

Le chapitre 6 présente une méthodologie de conception d'environnements de capture de la traçabilité des processus de décision qui s'appuie sur les jeux sérieux. Les jeux sérieux que nous considérons, sont des outils de simulation, de traçabilité et de capitalisation des processus de décision.

PARTIE III

Développements méthodologiques : Aide multicritère à la décision et conception informatique d'outils de traçabilité des processus de décision

Caractériser la traçabilité des processus d'expertise, des décisions qui leur sont associées, et capitaliser les informations utilisées impliquent de pouvoir décrire lesdits raisonnements, de proposer une méthodologie d'intégration dans un système d'information mais aussi, comme toute démarche de recherche, de pouvoir en valider les approches. Cette validation constitue un problème difficile car elle concerne ici autant le raisonnement et la décision en eux-mêmes que le mode de conception et de traitement informatique des données.

La contribution méthodologique de la thèse se fait sur ces deux volets pris isolément et décrits ci-dessous mais aussi dans la connexion et l'intégration des deux domaines. Les volets d'aide à la décision associés au processus d'expertise auraient pu, en eux-mêmes faire l'objet de développement dans le cadre d'un travail de recherche spécifique, rattaché strictement et exclusivement aux sciences de la décision. De même, les développements informatiques auraient pu considérer les données du processus de décision comme des données quelconques sans se poser la question de leur signification et leur pertinence dans leur domaine thématique initial, celui de la gestion des risques naturels.

Cette thèse a adopté un positionnement à l'interface des deux mondes en prenant le parti de combiner et mener de front leurs développements sur ces deux volets. Derrière ces deux angles d'analyse, on retrouve une problématique commune de validation. Dans le domaine de l'aide à la décision, cette validation portera sur la comparaison entre une décision prise et une décision supposée être idéale (ou la plus pertinente) pour un contexte donné. Dans le domaine de l'informatique, la validation du processus de conception et de développement consiste à vérifier que l'on parvient effectivement à proposer un cadre générique de conception et que l'on arrive à l'instancier sur des cas réels.

Le chapitre 5 propose tout d'abord un mode de formalisation et de capture du processus d'expertise, basé sur la conception et la mise en œuvre d'un jeu sérieux, simulant un contexte de prise de décision. La proposition est de considérer le jeu sérieux comme un outil qui permet d'étudier la prise de décision en laboratoire, car réalisée dans des conditions maîtrisées (informations, qualité des informations, etc.). Avec ce postulat, nous présentons les différents éléments qui peuvent contribuer à la construction d'une référence de validation du processus de décision. Le premier est la nécessité d'une référence experte, au travers de l'exemple du risque d'avalanche, qui permet d'envisager une comparaison avec le processus de décision du joueur. Le second est la possibilité de valider les étapes du processus avec des modèles d'aide multicritère à la décision construit avec les experts du domaine. Pour compléter, une présentation détaillée du jeu de plateau DecisionTrace est proposée ainsi que le principe de comparaison des processus de décision capturés par le jeu avec la référence experte.

Le chapitre 6 aborde quant à lui la thématique de conception d'un système d'information associé au concept de jeu sérieux, destiné à la capture et la traçabilité du processus de décision dans un environnement incertain. Ceci comprend la présentation d'une proposition de méthodologie de conception de ces jeux basée sur des profils [UML](#). Le déroulement de cette méthode est ensuite illustré au travers de deux cas (1) la conception du jeu sérieux inspiré par le jeu de plateau DecisionTrace dédié à la prise de décision dans un contexte de risque d'avalanche et (2) la conception d'une structure de données adaptée au jeu de plateau RiskGame qui se consacre à la prise de décision dans un contexte de surveillance maritime.

CHAPITRE 5

EXPLICITER, REPRÉSENTER ET JUSTIFIER UN PROCESSUS DE DÉCISION

Sommaire

5.1 Une méthodologie pour tracer le processus de décision dans les risques en contexte incertain grâce à la conception de jeux utiles	99
5.2 Formaliser la connaissance experte associée au processus de décision : exemple en gestion de risque d'avalanche	101
5.2.1 Identifier des critères : analyse de l'aléa avalanche	101
5.2.2 Décrire le contexte de décision : de l'analyse de l'aléa avalanche à la fermeture d'une route exposée	103
5.3 Vers un modèle d'aide multicritère à la décision basé sur une référence experte	105
5.4 Développement du jeu de plateau DecisionTrace pour gérer le risque d'avalanche en contexte incertain	110
5.5 Reconstruction du processus de décision du joueur, comparaison à une référence experte : La face cachée du jeu DecisionTrace	115
5.5.1 Première étape : Reconstruction du processus de décision du joueur ou de l'équipe	115
5.5.2 Seconde étape : Comparaison du processus de décision du joueur à une référence experte	116
5.5.3 Animation de sessions de jeu pour tester le jeu DecisionTrace	117

Le chapitre 5 présente les premiers développements qui permettent la formalisation et l'observation du processus de décision et qui contribuent à l'explicitation, la représentation et la justification de ce processus (Fig. 5.1). Dans ce chapitre, nous illustrons les différentes étapes du processus d'identification et d'observation d'un processus de décision avec un cas de gestion du risque avalanche. Cette méthodologie a reposé sur la conception d'un jeu sérieux : DecisionTrace.

Le jeu DecisionTrace met en situation des joueurs pour décider de l'opportunité de fermeture (ou non) d'une route exposée à un phénomène d'avalanche, dans un contexte de probabilité d'occurrence élevé (fortes chutes de neiges, conditions météorologiques aggravantes). L'enjeu d'une telle décision est avant tout d'éviter d'entrée dans une phase de gestion de crise si, par exemple, la situation s'aggrave et des personnes sont blessées. Le contexte de la décision est complexe car la coupure d'accès a forcément des conséquences pour les activités économiques et les territoires. Interdire un accès en pleine période d'affluence peut, par exemple, poser des questions de logistique d'hébergement temporaire. La prise de décision dépasse donc l'unique cadre de l'analyse technique du phénomène potentiellement dangereux. Elle doit être réfléchie plus largement, tout en s'exposant à des avis divergents qui peuvent être défendus selon les intérêts des parties prenantes et les conséquences les affectant (État, collectivités, gestionnaire de route, chefs d'entreprise, etc.).

Ce chapitre présente une méthodologie singulière basée sur la conception et l'utilisation d'un jeu sérieux pour observer, capturer et tracer le processus de décision en matière de risques naturels et dans un contexte incertain (Sec. 5.1). Au travers d'un jeu sérieux (Sec. 5.4), elle propose de replacer les participants dans un contexte de prise de décision sur la base d'informations plus ou moins précises et incertaines qui arrivent de manière séquentielle. A chaque étape, ils devront dire s'ils prennent une décision ou pas, et si oui indiquer laquelle. Le jeu nécessite par contre d'avoir un but, un objectif et de savoir si on l'a atteint, en quelque sorte de savoir si on a gagné. Dans notre cas, il s'agit d'être capable de dire si la décision qui aura été prise (en l'occurrence fermer la route exposée à un phénomène d'avalanche ou la laisser ouverte) était la bonne. Valider un processus de décision suppose d'abord d'être capable de le décrire étape par étape, puis de vérifier si le choix proposé est pertinent sur la base des informations disponibles et de leur qualité. Dans l'idéal, cela consisterait par exemple à comparer une décision prise par des apprentis experts avec une référence absolue, incontestable, qui aurait été proposée par des experts du domaine. Ceci impliquerait d'une part de considérer que la décision prise dans la réalité était la bonne et l'unique solution et d'autre part de connaître et de disposer de toutes les données, et de leur ordre d'obtention dans le cas réel. En théorie, cet objectif est parfait. Dans la pratique, savoir comment et sur quelles bases une décision a été prise s'avèrera toujours beaucoup plus complexe. Avoir recours à ce contexte de jeu sérieux présente l'avantage de rendre l'approche d'expertise plus accessible et plus pédagogique, en explicitant ses étapes et les informations susceptibles d'être utilisées. C'est cependant l'objectif de construction d'une référence de validation qui nous a conduit à y avoir recours.

En pratique, décrire une décision réelle ou affirmer sans aucun doute qu'elle est la meilleure sont deux objectifs difficiles à atteindre. Le jeu sérieux a donc été avant tout un moyen de reconstituer une sorte de décision de laboratoire dont chacun des éléments seraient connus. En ayant recours à des modèles d'aide multicritère à la décision, on peut imaginer aider à choisir quelle serait, à chaque étape du jeu, la meilleure décision à prendre (Sec. 5.2, Sec. 5.3). Dans la réalité, les données disponibles peuvent s'avérer être très hétérogènes en termes de disponibilité et de qualité (imprécision, incertitude). Dans ce cas précis, il faut être aussi capable de caractériser, représenter l'imperfection de l'information et la coupler avec des modèles d'aide à la décision (Sec. 5.5)

5.1. UNE MÉTHODOLOGIE POUR TRACER LE PROCESSUS DE DÉCISION DANS LES RISQUES EN CONTEXTE INCERTAIN GRÂCE À LA CONCEPTION DE JEUX UTILES

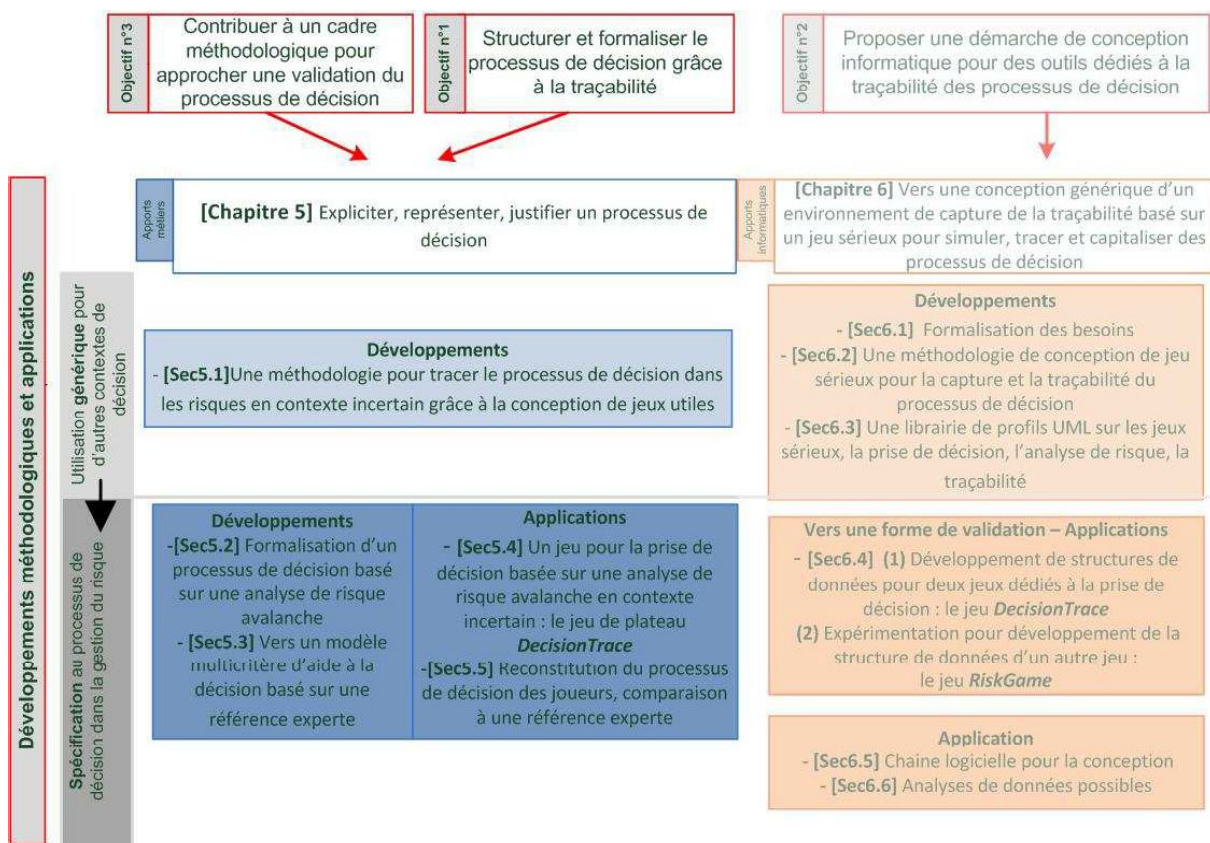


FIGURE 5.1 – Synthèse des développements et objectifs du chapitre 5.

5.1 Une méthodologie pour tracer le processus de décision dans les risques en contexte incertain grâce à la conception de jeux utiles

L'amélioration de la traçabilité concerne d'une part le contenu et le déroulement du processus d'expertise tel qu'il est conçu et mis en œuvre par les spécialistes du domaine et, d'autre part, la façon dont des non-spécialistes (dénommés les joueurs dans la suite) sont susceptibles de mobiliser les éléments de connaissance qui leur sont proposés. Au delà et en préalable au développement du concept de jeu sérieux, cette section et la suivante (Sec. 5.2) abordent l'étape de formalisation de la connaissance experte, en l'identifiant comme un processus de décision manipulant des informations imparfaites. Comme décrit plus haut, la démarche globale qui est proposée consiste à capturer l'expertise technique pour en proposer une reformulation sous la forme d'un jeu sérieux en ayant toujours à l'esprit l'objectif d'établir un lien entre le processus de décision et le traitement informatique des données associées. Au-delà du cas d'application qui sera décrit dans la suite, la démarche globale permettant de passer de la description d'un cadre de décision associé à un domaine thématique à un jeu sérieux nous semble être générique. Avant de décrire le détail du jeu développé, nous proposons ici quelques principes méthodologiques pour concevoir des jeux à partir de la connaissance associée à un domaine d'expertise quelconque pour in fine caractériser et améliorer la traçabilité des processus de décision associés. L'objectif est de concevoir un jeu sérieux capable de tracer les raisonnements de joueurs qui les amènent à la décision, d'injecter un niveau d'imperfection sur les données et de fiabilité des sources de données et enfin de permettre une comparaison entre le raisonnement conduit

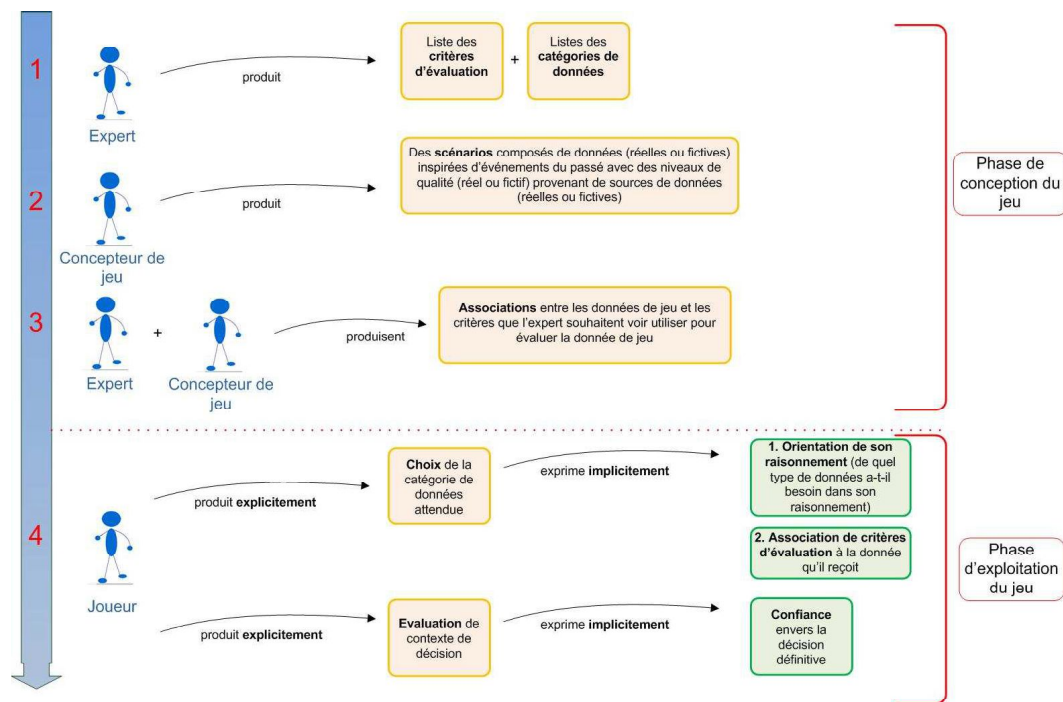


FIGURE 5.2 – Principe de conception des jeux pour la traçabilité du processus de décision.

et une référence qui aurait été choisie de manière experte. Le jeu doit ainsi faire le lien entre (1) les données qu'il propose et que le joueur choisit d'utiliser et, (2) les critères utilisés dans la référence experte.

Plusieurs types d'acteurs sont impliqués dans les phases de conception des jeux sérieux (Fig. 5.2). Les étapes de la méthodologie sont détaillées ci-dessous :

- Élaborer des scénarios de jeux en considérant le jeu utile comme un outil pour produire une décision de laboratoire qui pourra être observée, suivie, détaillée. Les concepteurs définissent et décrivent un cadre de travail avec des scénarios inspirés du réel tout en décrivant aussi le niveau d'imperfection des informations et la fiabilité des sources;
- Formaliser la connaissance experte et développer une référence associée à la décision considérée (Sec. 5.2);
- Utiliser la connaissance et la transcrire pour développer un modèle d'aide multicritère à la décision permettant de proposer une forme de validation du processus de décision mis en œuvre par les joueurs par comparaison avec la vision qu'auraient des experts du domaine (Sec. 5.3). Ceci comprend notamment :
 - l'établissement des classes d'évaluation des critères;
 - la prise en compte et la proposition de méthodes pour croiser des critères au travers de tables de vérité inspirées d'approches à base de règles.

Cette méthodologie est mise en œuvre sur le jeu DecisionTrace que nous avons conçu et développé en partenariat avec des experts externes. Ce jeu constitue un outil de collecte et de traitement de données associées à l'observation des processus de décision. Le jeu DecisionTrace est décrit plus en détail au fil des prochaines sections. Il correspond à un concept innovant pour aider, améliorer et tracer les processus de décision en tenant compte de l'influence de la qualité de l'information sur les décisions.

Un guide décrivant les étapes d'élaboration de scénarios de jeu a ainsi été réalisé à destination des concepteurs de scénarios. Il comprend notamment la description des phases correspondant à :

- L'initialisation pour la réalisation d'un scénario de jeu (liste du matériel, informations à recueillir ou produire, conseils pour le stockage des données) ;
- L'utilisation du scénario général, valable pour tous les scénarios de jeu à partir du moment où l'objectif de décision du jeu est le même : acter la fermeture d'une route dans un contexte de risque d'avalanche ;
- La réalisation d'un scénario spécifique à la situation réelle analysée ;
- La conception et la production des données de jeu et des cartes de jeu ;
- L'identification du niveau d'imperfection des données et l'attribution du niveau de qualité aux données de jeu ;
- La constitution d'un dossier de contexte de jeu avec lequel les joueurs débute une partie ;
- La constitution d'un dossier d'expertise dans lequel le joueur va sélectionner lui-même les informations diffusées au cours des sessions de jeu ;
- Le recueil de faits historiques sur les issues possibles et réelles du scénario de jeu, ceci pour ouvrir le débat en fin de session de jeu.

Un exemple d'élaboration de scénario de jeu est donné en annexe (Cf. Annexe A., p221)

5.2 Formaliser la connaissance experte associée au processus de décision : exemple en gestion de risque d'avalanche

L'étude détaillée d'un processus de décision est une étape introductive. Notre choix s'est porté sur le processus de décision qui peut amener à la fermeture d'une route menacée par un risque d'avalanche. L'évaluation du risque comporte classiquement l'étude de l'aléa et celui de la vulnérabilité des enjeux (Cf. Chap. 2). Il faut donc analyser le processus physique de l'aléa avalanche et ensuite évaluer la vulnérabilité des enjeux : quelles sont les personnes, les biens ou les activités humaines potentiellement affectés.

5.2.1 Identifier des critères : analyse de l'aléa avalanche

Une première étape du travail a consisté à extraire les critères pertinents pour identifier l'aléa avalanche, puis à établir une grille d'analyse de l'aléa avalanche d'un point de vue physique. Nous avons choisi d'utiliser la grille d'analyse réalisée par l'ANENA à partir de la base de travail établie par Rapin [2009]. Quatre catégories ont été retenues (Fig.5.3) :

- Une catégorie concerne l'étude du site sur lequel pourrait se produire l'avalanche au travers de sa morphologie et de la connaissance historique disponible sur ce site. Des avalanches se sont-elles déjà produites ? Dans quelles conditions ? De quelle taille ? Avec quels dégâts ?
- Une catégorie concerne les conditions nivo-météorologiques locales connues au moment de la prise de décision et durant les derniers jours. Elle aborde aussi les instabilités du manteau neigeux observées dans le site ou dans les sites comparables proches ;
- Une catégorie concerne les ouvrages et les protections potentiellement présents sur le site observé, leur état, leur capacité ;
- Une catégorie concerne les données météorologiques de prévision ainsi que les bulletins de risque d'avalanche.

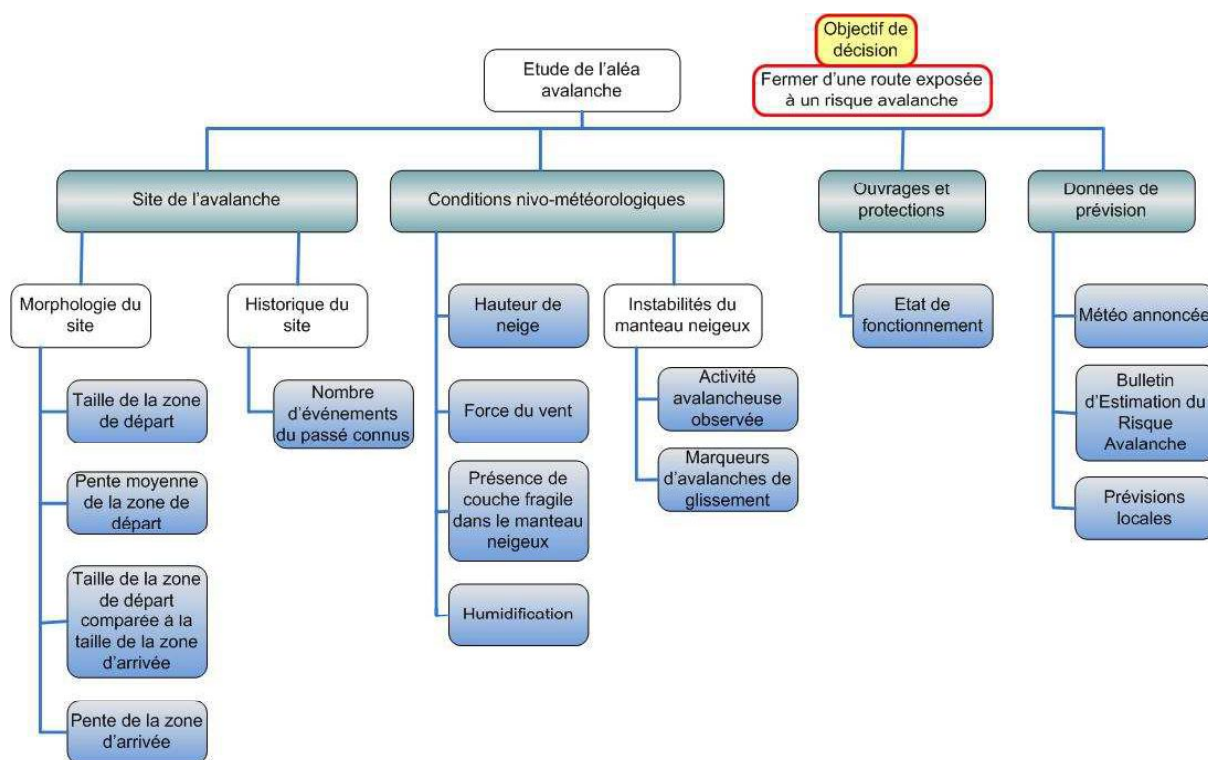


FIGURE 5.3 – Présentation des catégories et des points d'observation pour analyser l'aléa avalanche, proposition ANENA, base de travail établie par Rapin [2009].

Pour compléter ce travail, une analyse plus fine permet de proposer des critères d'appréciation des paramètres que l'on souhaite observer (Fig.5.4). Les critères permettent de déterminer à quel niveau le paramètre observé peut contribuer à la possibilité que l'avalanche se propage. Ainsi, selon les valeurs prises par le paramètre, on peut le prendre en compte de trois manières :

- L'évaluation qu'on peut faire du paramètre se situe dans des bornes dites de condition *Favorable*. Le paramètre contribue peu à la probabilité de déclenchement puis de propagation de l'avalanche;
- L'évaluation qu'on peut faire du paramètre se situe dans des bornes dites de condition *Défavorable*. Le paramètre contribue significativement à la probabilité de déclenchement puis de propagation de l'avalanche;
- L'évaluation qu'on peut faire du paramètre se situe dans des bornes dites de condition *Très défavorable*. Le paramètre contribue très significativement à la probabilité de déclenchement puis de propagation de l'avalanche.

Une décision en matière de gestion du risque d'avalanche est fondée sur analyse technique experte du contexte. Pour identifier les situations réelles, une collaboration étroite avec des experts impliqués dans l'enseignement des sciences de la neige et les infrastructures hivernales, a permis l'identification des situations réelles, de décrire les scénarios puis de concevoir un cadre d'évaluation simplifié. La science ou la connaissance de la neige et des avalanches connues permet de choisir les principaux critères, leur importance relative, les indicateurs pour les mesurer et, enfin, la fourchette de valeurs pour trier les différentes situations en décisions possibles. La figure (Fig. 5.4) illustre comment l'information experte peut être décrite par grandes catégories de critères et d'indicateurs auxquels on associe des classes d'évaluation qualitative.

5.2. FORMALISER LA CONNAISSANCE EXPERTE ASSOCIÉE AU PROCESSUS DE DÉCISION : EXEMPLE EN GESTION DE RISQUE D'AVALANCHE

Critères	Appréciation du critère vis à vis de la gestion du risque		
	Favorable	Défavorable	Très Défavorable (+risqué)
Le site			
1. Morphologie			
Surface zone de départ (s), longueur par largeur en m	Petite (ex : $\leq 100 \times 200\text{m} = 2\text{ha}$)	Moyenne (ex : $\leq 200 \times 500\text{m} = 10\text{ha}$)	Grande (au delà de 10ha ex : cassure de l'ordre du kilomètre)
Pente (P) moyenne générale de la zone de départ	Marquée ($25^\circ < P \leq 30^\circ$)	Forte ($30^\circ < P \leq 35^\circ$)	Très forte $>35^\circ$
Surface de la zone d'arrivée/ zone de départ (selon SSA)	Surface zone départ inférieure à 1,5 X surface zone d'arrivée	Surface zone de départ entre 1,5 et 3 X surface zone arrivée	Surface départ $>$ à 3 X surface zone arrivée
Pente moyenne Zone d'arrivée (où l'enjeu est présent)	Inf 15°	Entre 15 et 20°	Sup 20°
2. Historique			
Sites occurrence d'événements dans le site (toutes sources confondues)	Fréquence annuelle	Fréquence décennale	Rare (tous les 10 à 100 ans)
2. Conditions nivo-météo			
Neige : quantité = hauteur (h tombée en 2 ou 3* jours = 72 heures)	Importante (jusqu'à 50cm)	Très importante (50 < h < 100 cm)	>100 cm
Vent (V) dans la zone de départ sous le vent	sans vent (ou très faible : pas de transport)	Vent très fort (neige balayé, tassée ou sublimée)	Vent modéré à fort et/ ou durée >4h : beaucoup de transport
Couche fragile à l'intérieur du manteau neigeux	non	Possible localisée (secteurs froids)	oui, avérée et continue
Humidification (redoux/pluie)	limitée (iso 0° remonte de +500m max)	Marqué iso 0° remonte de + 500m à 900m	Iso 0° remonte de + de 900m
	ou pluie faible (1 à 3 mm par heure)	ou pluie modérée (4 à 7 mm par heure)	ou pluie intense et durable (8 mm par heure et plus)
Instabilités			
Activité avalancheuse observée (y compris sur site comparables)	Limitée aux zones supérieures et/ou peu d'avalanches	Développement et arrêt dans le chenal et/ou plusieurs départs	Atteint les zones de dépôts et/ou nombreuses avalanches
Cas des avalanches de glissement	début de reptation (fissures ouverte)	Fissures et reptation bien marquée	départ partielle en avalanche de glissement
4.Ouvrages et protections (actives et passives)			
Etat de fonctionnement	Fonctionne	Fonctionnement limité (rempli)	ne fonctionne pas (dépassé ou absent)
5. Données de prévision			
Météo annoncée	Favorable pour la stabilisation et la visibilité	Peu favorable à la stabilisation et la visibilité	Défavorable : les conditions s'empirent
Bulletin d'Estimation des Risques d'Avalanche	Risque 4 et mention de phénomènes naturels probables	Risque 4 ou 5 et mention de gros phénomènes naturels	Risque 5 et crue avalancheuse annoncée jusqu'aux routes
Prévisions locales	Veille permanente (équipe dédiée)	Veille de crise (météo France)	non (secteur hors massifs PRA météo France)

FIGURE 5.4 – Grille des critères d'évaluation du risque d'avalanche, proposition de l'ANENA.

Une fois cette grille d'appréciation des paramètres établie, il reste deux questions :

- Comment prendre en compte ces paramètres les uns par rapport aux autres ?
- Comment intégrer cette analyse de l'aléa à un processus de décision plus large qui prend en compte aussi la vulnérabilité des enjeux et la dimension sociétale de la décision ?

5.2.2 Décrire le contexte de décision : de l'analyse de l'aléa avalanche à la fermeture d'une route exposée

La gestion des routes de montagne exposées aux avalanches de neige implique plusieurs acteurs locaux tels que des représentants des acteurs socio-économiques, des collectivités locales, des techniciens, des gestionnaires d'infrastructures, des opérateurs de sécurité et de sûreté, des experts du phénomène qui doivent souvent prendre des décisions difficiles et rapides sous des pressions sociales, politiques, économiques et contexte d'informations imparfaites (manquantes, incomplètes, contradictoires, incertaines). Fermer une route n'est jamais une décision facile en raison des conséquences possibles. Si vous étiez dans cette situation, quelle décision prendriez-vous ? Comment décririez-vous votre processus de raisonnement menant à cette décision ? Comment pourriez-vous transmettre, partager vos connaissances à d'autres collègues moins expérimentés ou non spécialistes impliqués dans la prise de décision ? Comment évalueriez-vous et considèreriez-vous la qualité de l'information et son influence sur votre décision ? Toutes ces questions concernent l'évaluation de la traçabilité de l'information au sein de l'expertise et des processus de décision qui présentent un intérêt plus pertinent pour les experts et les décideurs (Fig. 5.5).

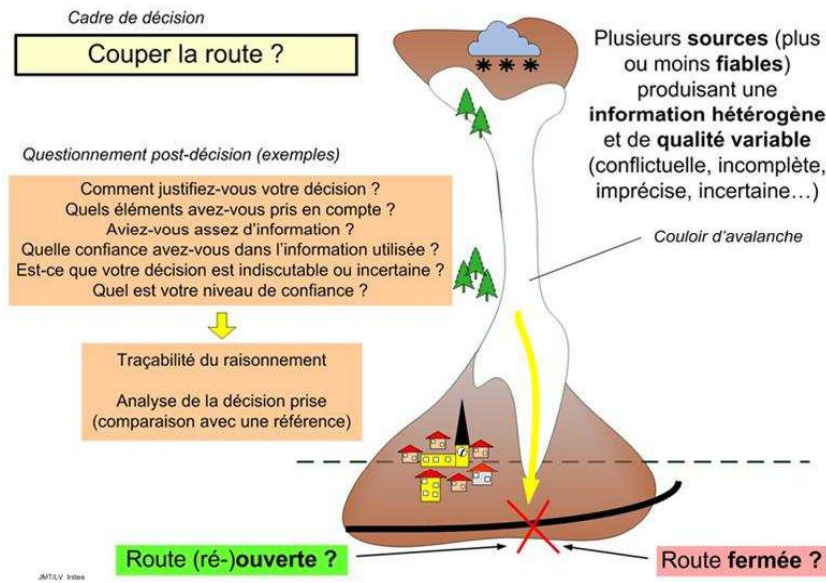


FIGURE 5.5 – Problématiques associées à la prise de décision dans un contexte d'informations imparfaites.

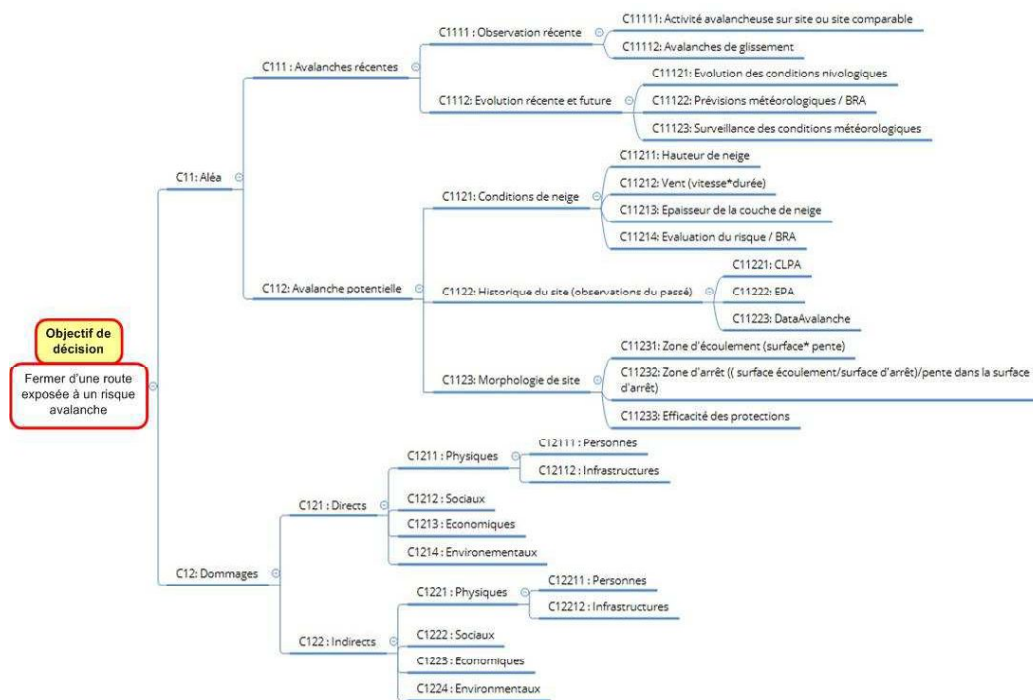


FIGURE 5.6 – Exemple de modèle hiérarchique incluant des critères d'analyse du risque d'avalanche exprimés par des experts.

5.3 Vers un modèle d'aide multicritère à la décision basé sur une référence experte

Le problème de décision qui consiste à choisir de fermer (ou non) une route exposée à un phénomène d'avalanche repose sur un certain nombre de critères qu'un expert va évaluer en fonction de l'information dont il dispose. La figure (Fig. 5.4) montre que l'évaluation des critères se fait souvent de manière imprécise et floue (utilisation de variables linguistiques du type favorable, défavorable, très défavorable). Les participants au jeu sérieux vont se retrouver dans la même situation. Ils vont devoir décider en fonction des informations dont ils disposent. Une fois qu'ils auront pris leur décision, comment sera-t-il possible de savoir si leur décision avait un sens ou pas? Quelle décision raisonnable un expert du domaine aurait-il pris dans la même situation sur la base de la même information disponible?

L'objectif est donc d'imaginer comment on pourrait construire un système qui utiliserait les critères mobilisés par les experts et qui permettrait d'évaluer les deux solutions : fermer une route ou la laisser ouverte. Les connaissances des experts sont en fait dérivées en critères et indicateurs ou déterminer à partir des classes d'évaluation de la situation (Fig. 5.7). Au final, un tel modèle d'aide à la décision permet d'argumenter le choix qu'aurait pu faire un spécialiste et le cas échéant, aider le participant au jeu sérieux à se positionner. La figure (Fig. 5.6) décrit un exemple de modèle multicritère hiérarchique basé sur les connaissances expertes disponibles.

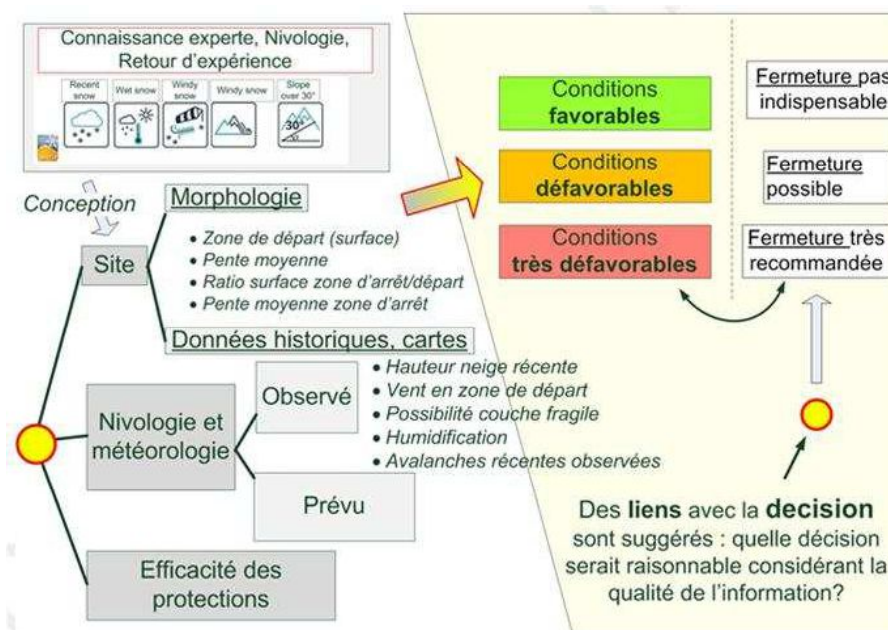


FIGURE 5.7 – Les connaissances d'experts sont dérivées en critères, les indicateurs dont la plage de valeurs correspond aux classes de décision / évaluation [Vidaud-Barral et al., 2018].

L'objectif de la méthode **AHP** est d'évaluer des alternatives dans un contexte de décision. C'est une méthode d'aide multicritère à la décision. Elle comprend quatre étapes : (1) l'identification des scénarios et des critères d'évaluation, (2) la hiérarchisation des critères, (3) l'attribution de préférences sur les critères et (4) l'agrégation des poids pour déterminer l'alternative préférée. La figure

(Fig. 2.22, p. 50) montre que l'information exprimée, mobilisée par les experts n'est pas forcément utilisable pour caractériser une situation de manière non ambiguë.

Caractérisation des critères et représentation floue

La figure (Fig. 5.8) montre le passage d'une formulation linguistique (surface de départ d'avalanche petite, moyenne, grande) à une grandeur quantitative exprimée en ha. Les nombres flous permettent par essence d'établir cette correspondance entre grandeurs quantitatives et qualitatives. L'utilisation de ces nombres flous est une étape primordiale pour formaliser la connaissance experte. Une difficulté particulière apparaît dès lors qu'il s'agit de combiner plusieurs critères. Dans le cas du critère relatif à la prise en compte du vent dans la zone de départ par exemple, il faut être capable de combiner la vitesse du vent et sa durée. La figure (Fig. 5.9) illustre comment il est possible de représenter et d'expliciter cette combinaison sous la forme d'une table de vérité. Deux hypothèses sont envisagées ici (optimiste et pessimiste). Sans aucun contrôle, chaque joueur pourrait décider de n'importe quelle option (fermer, ne pas fermer), à tout moment du jeu, en étant éventuellement incohérent selon les informations disponibles. L'idée introduite ici vise à pouvoir comparer les décisions qui ont été prises avec un genre de décision qui paraîtrait la plus raisonnable en fonction de la qualité des informations disponibles et de la fiabilité des sources. Une partie cachée du jeu consiste donc à concevoir et utiliser un cadre décisionnel multicritère pour identifier ce qui aurait pu sembler être le plus raisonnable de faire sur la base des informations disponibles.

Des méthodes de prise de décision multicritères récentes capables de prendre en compte l'imperfection de l'information et la fiabilité des sources peuvent être mises en œuvre en utilisant des théories d'incertitude telles que les ensembles flous, la possibilité, les théories des fonctions de croyance ([Tacnet et al., 2017] , [Smarandache and Dezert, 2015]). Dans les applications réelles, la quantité d'informations peut être assez importante, rendant l'utilisation de systèmes d'information obligatoire pour gérer la quantité de données, représenter et stocker les fonctionnalités de traçabilité. La conception informatique prend en compte ce type de données.

Sur la base d'évaluations imprécises et incertaines de chacun des critères, il est possible d'envisager l'application d'un modèle d'aide à la décision de type ER-MCDA. Dans le jeu sérieux, la séquence serait la suivante. Chaque carte sélectionnée est caractérisée en amont par une distribution de possibilités pré-établie. Ceci permet de générer un jeu de masse de croyance attachée à chacune des hypothèses de décision du cadre de discernement retenu : fermeture inutile, fermeture possible, fermeture préconisée. L'idée est d'évaluer dynamiquement l'information mise à disposition du joueur au cours du processus de jeu. A chaque étape, il est alors possible d'indiquer au joueur quelle solution serait préconisée en lui associant un niveau de confiance correspondant à la qualité de l'information qu'il avait à disposition. Ce processus est caché pour le joueur (partie immergée de *l'iceberg méthodologique* Fig. 5.16). À chaque étape du jeu, le joueur a accès à différents types d'informations liées aux principaux critères utilisés pour évaluer les conditions de déclenchement des avalanches. Il choisit le type d'information qu'il souhaite obtenir (morphologie, archives historiques, conditions de neige, etc.) et pioche une information dans la catégorie correspondante qui lui est présentée par l'animateur. Par catégorie, les informations sont déclinées avec divers niveaux d'imperfection. Il obtient alors une information dont il ignore le niveau de ces imperfections. Une fois que le joueur a obtenu cette information, il lui est demandé de donner un niveau de confiance à l'hypothèse des trois décisions (HD1, HD2, HD3) correspondant respectivement à la fermeture non indispensable, possible ou fortement conseillée de la route. Les figures (Fig. 5.10), (Fig. 2.23, p. 51) illustrent cette approche.

Cette section a présenté une proposition de méthode pour envisager une forme de validation du

5.3. VERS UN MODÈLE D'AIDE MULTICRITÈRE À LA DÉCISION BASÉ SUR UNE RÉFÉRENCE EXPERTE

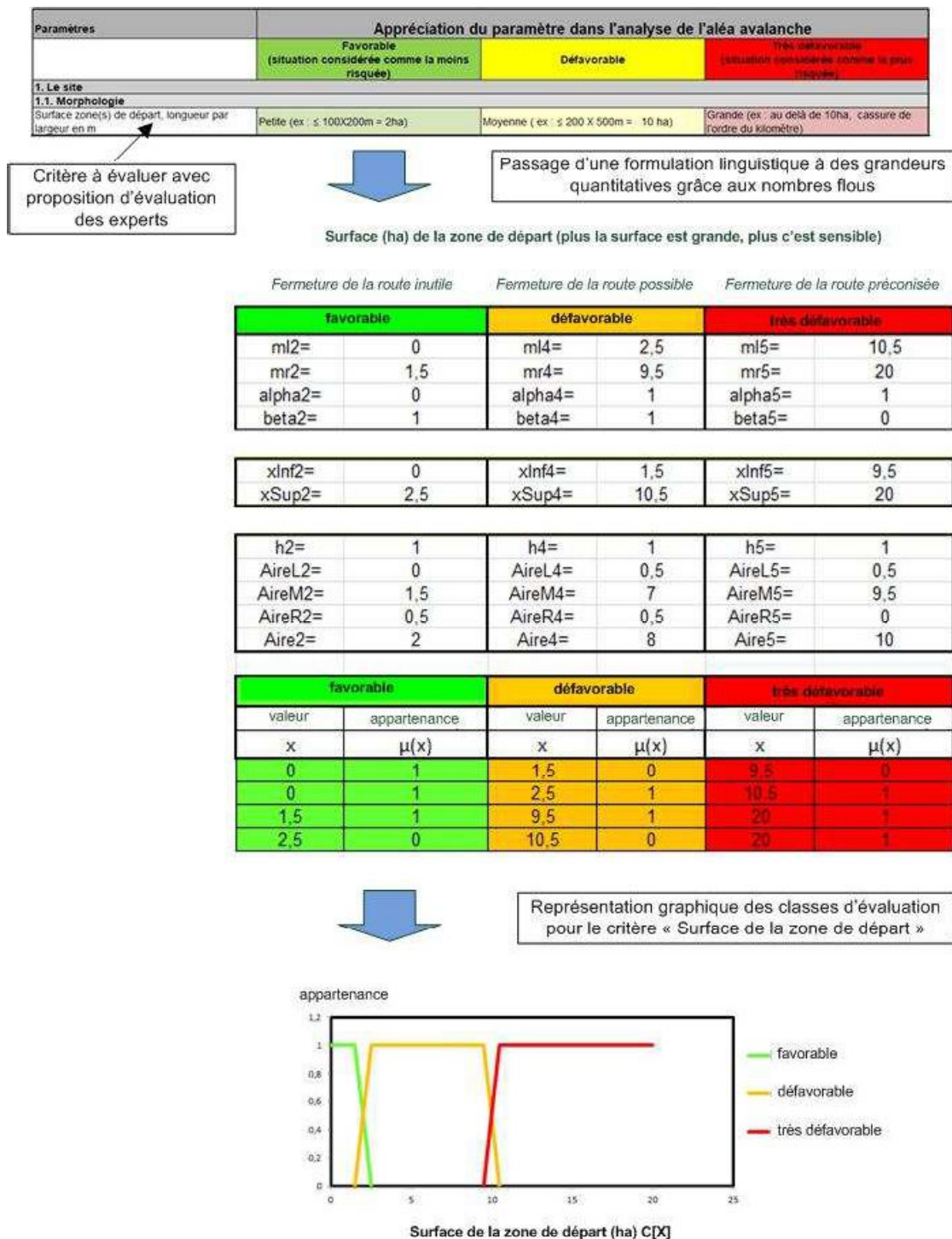


FIGURE 5.8 – Passage d'une formulation linguistique de l'évaluation d'un critère à des grandeurs quantitatives d'évaluation et une représentation graphique.

processus de décision d'un joueur qui manipule des informations de qualité variable. Après avoir identifié les critères, leur combinaison à l'aide de modèles d'aide multicritère, tels que présentés sur la (Fig. 2.23, p. 51), gérant ou pas l'imperfection de l'information, est une piste intéressante.

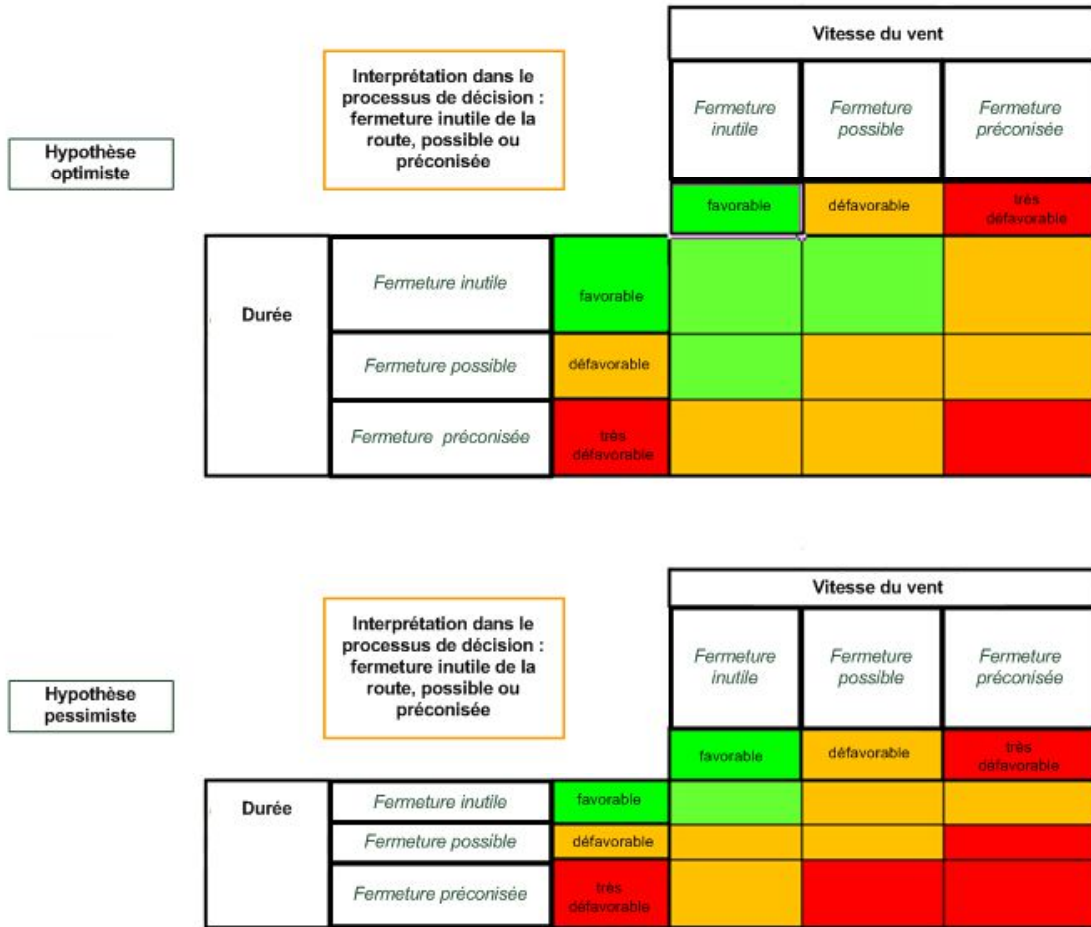


FIGURE 5.9 – Table de vérité pour caractériser des critères croisés, exemple de la durée du vent et de la force du vent.

5.3. VERS UN MODÈLE D'AIDE MULTICRITÈRE À LA DÉCISION BASÉ SUR UNE RÉFÉRENCE EXPERTE

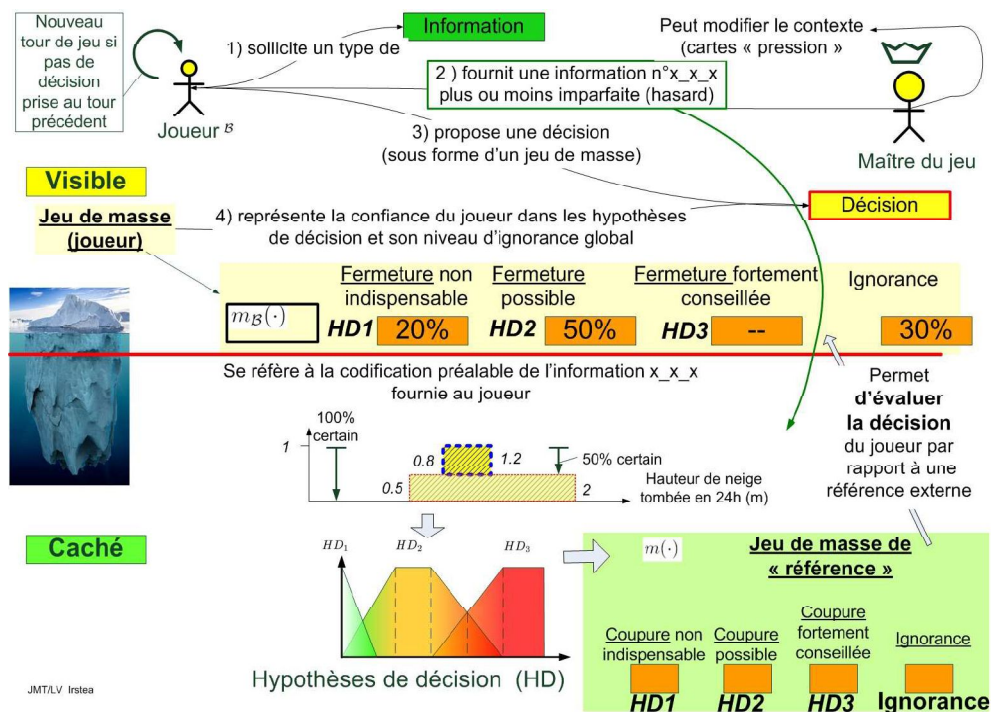


FIGURE 5.10 – Principe de mise en œuvre possible de la méthodologie ER-MCDA sur la base du jeu sérieux.

5.4 Développement du jeu de plateau DecisionTrace pour gérer le risque d'avalanche en contexte incertain

Comme vu dans la section (Sec.3), un jeu utile a deux caractéristiques essentielles, une fonction de jeu et une utilité d'usage par rapport à un objectif défini. Il peut avoir différents objectifs : analyser, sensibiliser, comprendre, apprendre, convaincre ou guérir. Cette section présente donc le jeu développé qui a avant tout constitué pour nous un observatoire du processus de décision. DecisionTrace est un jeu de plateau multijoueur destiné à simuler un contexte de décision dans lequel un joueur doit choisir de fermer (ou non) une route menacée par une avalanche.

Ce jeu a été développé conjointement dans le cadre d'un projet de recherche, *TraceExpert*, financé par la DGPR du MTE. Il a été conçu en partenariat avec l'ANENA¹ [Vidaud-Barral et al., 2019b] et l'association *Data Avalanche Org*² qui a contribué à l'élaboration de scénarios complémentaires. Ce projet visait à améliorer la traçabilité des informations et du raisonnement dans un processus d'expertise. Le jeu de plateau DecisionTrace, dont le plateau est présenté sur la figure (Fig.5.11), est dirigé par un animateur qui présente les règles, veille à leur respect et contrôle le rythme de jeu. Le plateau permet d'organiser les informations que les joueurs manipulent au cours du jeu. Le jeu DecisionTrace se base sur une hypothèse : le raisonnement mobilisé pour évaluer le risque d'avalanche peut être assimilé à une séquence ordonnée de **micro-décisions** intermédiaires [Tacnet, 2009]. Ces étapes, internes à la décision finale, sont prises en fonction d'un niveau d'information de quantité et qualité variables. Le but est de représenter et de tracer l'enchaînement des décisions intermédiaires prises en réponse au niveau d'information obtenu par les joueurs, et cela tout au long du jeu jusqu'à la décision finale. In fine, on cherche à capturer un processus de décision de laboratoire via le jeu qui s'apparente alors à un observatoire des processus de décision.

Le jeu offre deux possibilités : partie en équipe ou partie individuelle. La configuration idéale est une équipe de trois joueurs. Si une équipe est constituée pour une partie, les joueurs s'entendent pour déterminer quel rôle est attribué à chaque joueur. Trois rôles sont possibles :

- Le rôle d'**élu** : Ce rôle représente la personne qui a la responsabilité/propriété de la route concernée par le scénario de jeu. La route peut être communale, départementale ou nationale et les responsabilités engagées dépendront de la commune, du département ou de l'État ;
- Le rôle de **gestionnaire de route** : Ce rôle représente la personne qui est en charge de l'entretien du réseau routier et de sa surveillance. Ses missions sont la gestion du trafic, l'information aux usagers, la réalisation de travaux de maintenance, la surveillance de l'état des routes, etc. ;
- Le rôle d'**expert avalanche** : Ce rôle générique représente une personne capable de mener l'expertise sur l'estimation de l'aléa avalanche. Cela peut être le représentant d'un bureau d'étude, un scientifique, etc.

En plus des rôles, un joueur doit être désigné comme le décideur. Il est responsable de formuler les décisions d'équipe. Ces décisions peuvent résulter d'un consensus entre les joueurs ou non. La mécanique du jeu DecisionTrace est simple (Fig.5.12).

Une partie débute par la présentation du cas de décision étudié par le jeu (*story-board*) et du scénario spécifique (*story-board* spécifique) qui va être développé pendant la session (Cf. n°1 Fig.5.12). Le scénario spécifique apporte des informations, dont certaines techniques, qui entre en compte dans le processus de décision du joueur. L'intégralité de ces informations constitue le contexte initial

1. <https://www.anena.org/>

2. <http://www.data-avalanche.org/>

5.4. DÉVELOPPEMENT DU JEU DE PLATEAU DECISIONTRACE POUR GÉRER LE RISQUE D'AVALANCHE EN CONTEXTE INCERTAIN



FIGURE 5.11 – Plateau de jeu du jeu DecisionTrace.

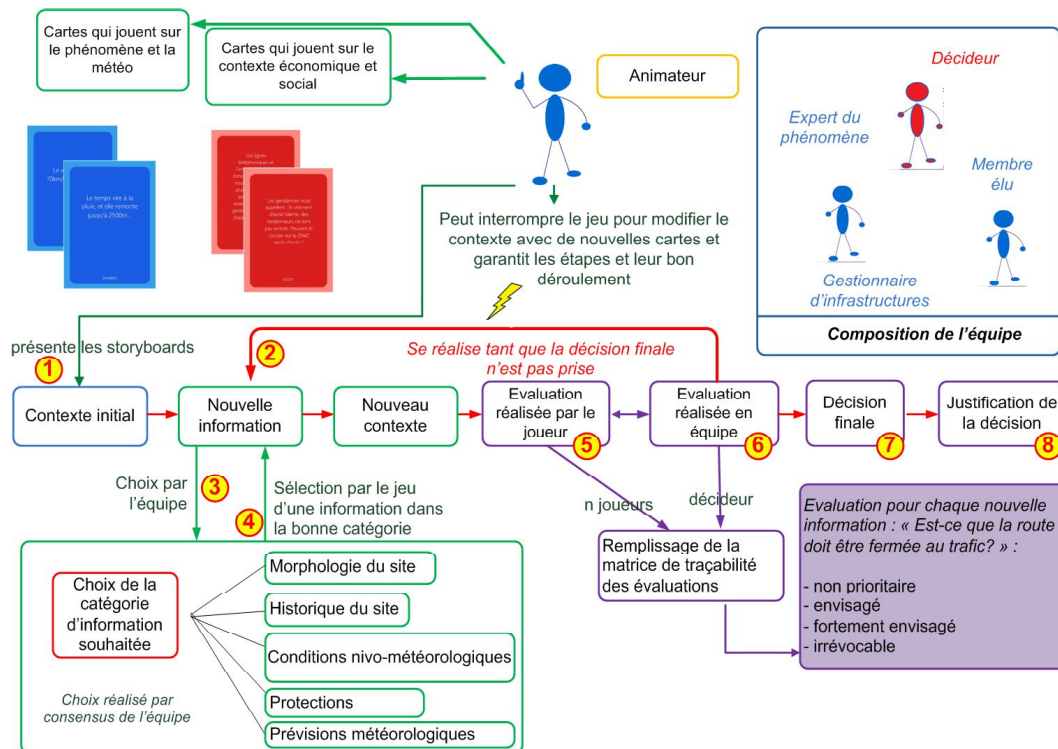


FIGURE 5.12 – Illustration de la mécanique du jeu DecisionTrace.

de jeu. Jusqu'à la décision finale, le jeu est ensuite une succession de tours, tous organisés de la même façon, (Cf. n°2 Fig.5.12). L'équipe indique quelle catégorie d'information, (Cf. n°3 Fig.5.12), lui serait

utile pour avancer dans son évaluation de la situation. Cinq catégories d'informations sont disponibles : morphologie de site, historique de site, protections sur le site, conditions nivo-météorologiques, prévisions météorologiques, comme illustré sur la figure (Fig.5.13). L'équipe obtient alors une information relative à la catégorie demandée (Cf. n°4 Fig.5.12). Chaque joueur évalue d'abord individuellement l'impact de cette nouvelle information sur son positionnement vis-à-vis d'une potentielle décision de fermeture de route, (Cf. n°5 Fig.5.12). Ensuite il confronte son opinion avec les autres joueurs pour produire une décision d'équipe, (Cf. n°6 Fig.5.12). Les résultats de ces évaluations sont consignés dans un document support appelé « matrice de traçabilité » (Fig.5.14).

À tout moment, le jeu peut être interrompu dans son fonctionnement de routine par des cartes de jeu spéciales (Fig.5.12) qui modifient le contexte des enjeux (économiques ou sociaux) ou le phénomène en cours (aléa et météo). Par exemple : "Un bus de vacanciers n'a pas encore pu rejoindre la station", "La situation météo s'aggrave", etc. Là encore, l'évaluation de l'impact de cette nouvelle information sur la position des joueurs et celle de l'équipe est tracée. Le jeu ne se termine que lorsque l'équipe a pris sa décision finale, (Cf. n°7 Fig.5.12), ou lorsque le temps de jeu est écoulé ou si l'avalanche traverse la route (l'équipe a tiré la carte de jeu qui implique cette issue). En guise de conclusion, il est demandé à l'équipe de justifier sa prise de décision (décision de fermer la route ou décision de laisser la situation évoluer) en indiquant les informations qui ont eu, selon elle, le plus d'influence sur sa décision, (Cf. n°8 Fig.5.12).

Dans le jeu, pour rendre réaliste la simulation de contexte de décision, les scénarios sont basés sur des données réelles du passé, descriptives d'événements connus (Fig.5.13). Les supports réels pour la gestion du risque d'avalanche sont ainsi retrouvés dans le jeu. On peut citer en exemple le bulletin d'estimation du risque d'avalanche BRA, les cartes IGN descriptives de la morphologie de terrain, les cartes CLPA, les fiches événements de la base du RTM. Ces données peuvent être modifiées avant d'être intégrées au jeu notamment pour modifier leur niveau de qualité (cf. paragraphe ci-dessous) ou simplement pour apporter des compléments d'information. Des témoignages fictifs peuvent ainsi être amenés dans le jeu.

Par exemple : "Un habitant de la vallée indique que la protection paravalanche est cassée depuis l'hiver dernier". Des cartes de jeu, sur la base d'informations fictives, peuvent ainsi apporter une information qui contribue à l'analyse technique de la situation, modifie le contexte économique et social de la situation, ou modifie les prévisions météorologiques météo. Toutes ces données sont proposées aux joueurs classées en cinq catégories.

- Une catégorie qui regroupe toutes les informations sur la morphologie de terrain de l'avalanche concernée, mais aussi autour de celle-ci ou concernant plus largement le versant sur lequel elle se trouve ;
- Une catégorie qui regroupe toutes les informations historiques connues sur l'avalanche étudiée ;
- Une catégorie qui regroupe les informations sur les protections installées (ou non) sur le couloir d'avalanche concerné ;
- Une catégorie qui regroupe les données de prévision météorologiques ;
- Une catégorie qui regroupe les données sur les conditions nivo-météorologiques.

Pour les besoins du jeu, les données du jeu sont reliées à leur source et associées à un niveau de qualité. Ce niveau de qualité (Tab.5.1), proposé par [Jousselme et al., 2018], est une information cachée aux joueurs. L'intérêt est de pouvoir observer en fin de partie si le niveau de qualité de la donnée traitée par les joueurs a joué un rôle dans leur décision. Trois caractéristiques de qualité de la donnée

5.4. DÉVELOPPEMENT DU JEU DE PLATEAU DECISIONTRACE POUR GÉRER LE RISQUE D'AVALANCHE EN CONTEXTE INCERTAIN

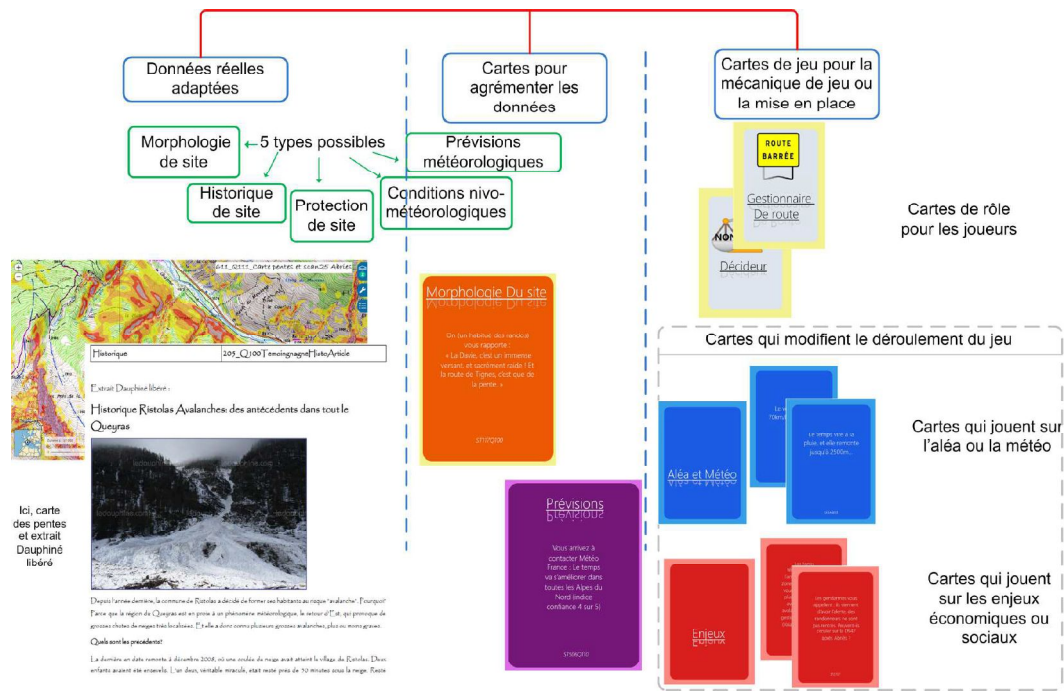


FIGURE 5.13 – Types de données de jeu et de cartes de jeu dans DecisionTrace.

sont prises en compte et associées entre elles : l'exactitude, la certitude et la précision. Cette information, sera capturée dans le système d'information associé.

Ces trois composantes de la qualité sont définies comme suit :

- **Exactitude** : cette notion fait référence au décalage possible et acceptable d'une valeur par rapport à la valeur considérée comme vraie. 1 pour exacte, 0 pour les autres considérations ;
- **Certitude** : cette notion fait référence à la confiance que l'on accorde à une valeur alors qu'une seule est connue pour être vraie. 1 pour certaine, 0 pour les autres considérations ;
- **Précision** : Niveau de précision de la donnée rapporté au problème étudié, zone géographique détaillée, précision d'une valeur. 1 pour niveau suffisant et 0 pour les autres considérations.

Code qualité	Décomposition du code qualité			
	Exactitude	Précision	Certitude	Qualité associée à l'information
000	0	0	0	Inexacte, imprécise, incertaine
001	0	0	1	Inexacte, imprécise, certaine
010	0	1	0	Inexacte, précise, incertaine
011	0	1	1	Inexacte, précise, certaine
100	1	0	0	Exacte, imprécise, incertaine
101	1	0	1	Exacte, imprécise, certaine
110	1	1	0	Exacte, précise, incertaine
111	1	1	1	Exacte, précise, certaine

TABEAU 5.1 – Principe d'introduction de niveaux de qualité sur les données de jeu, fonctionnement du code qualité associé à chaque donnée de jeu

Chaque tour de jeu donne lieu à l'introduction d'une ou plusieurs nouvelles informations. Deux actions vont révéler les intentions du joueur (ou de l'équipe) dans son processus de décision :

- En début de tour de jeu, l'équipe doit trouver un consensus et demander quel type d'information est nécessaire pour faire avancer son raisonnement (parmi les catégories d'information disponibles : morphologie de site, prévision météorologique, etc.) ;
- En fin de tour de jeu, le joueur (et aussi l'équipe) doit prendre en compte la nouvelle information qui lui a été fournie et l'évaluer.

DecisionTrace : Fiche de saisie de l'évolution de la confiance du joueur ou de l'équipe						
Nom équipe : Nom joueur : Profil du joueur :		Date : Version de jeu : Scénario de jeu :				
<input type="checkbox"/> Fiche joueur individuel <input type="checkbox"/> Fiche équipe						
Objectif de décision à évaluer :						
« Fermer la route exposée à un risque avalanche »						
Catégorie information	N° identification de l'information	Non prioritaire	Envisageable	Fortement envisagée	Catégorique	Ne sait pas
Morphologie	212Q110	0.2				0.8

Aide à la saisie :

Catégories d'information possible :

- H : Historique du site
- M : Morphologie du site
- P : Protections du site
- C : Conditions
- NivoMétéorologiques
- PV : Prévisions

N° identification de l'information : Code trouvé sur les données ou les cartes de données de type ST305Q110 ou SFAM112

Echelle d'évaluation :

Il est demandé à l'équipe d'évaluer sa confiance envers une des 4 propositions (Coupure de route jugée non prioritaire, coupure jugée envisageable, coupure jugée fortement conseillée, « ne sait pas » signifie pas assez d'éléments pour se positionner). Les joueurs indiquent via une échelle de 0 à 1 (0.1, 0.2...0.9) leur confiance. 0 pour une faible confiance, 1 pour une très forte. Plusieurs colonnes peuvent être renseignées pour la même donnée, la somme par ligne ne peut dépasser 1.

FIGURE 5.14 – Traçabilité des étapes du processus de décision des joueurs ou de l'équipe : une fiche de saisie en support au jeu.

Sur le principe, chaque nouvelle information qui arrive dans le jeu modifie de fait le contexte de décision du jeu et nécessite une nouvelle évaluation du contexte de décision par les joueurs (et l'équipe). Cette évaluation se fait dans la fiche de saisie présentée sur la figure (Fig.5.14). Les joueurs ont chacun deux minutes pour remplir la fiche et deux minutes de plus pour remplir une fiche en équipe. Chaque information est reportée sur la matrice avec son identifiant unique. Les joueurs indiquent en regard, via une échelle allant de 0 à 1 par pas de 0.1, leur confiance envers les assertions "Ils envisagent de fermer la route", "Ils envisagent fortement de fermer la route", "Ils ont décidé de façon irrévocable de fermer la route", "Ils ne savent pas". Avec l'exemple donné sur la figure (Fig.5.14), le joueur envisage de fermer la route à 0.2 mais estime surtout qu'il n'a pas une connaissance suffisante de la situation pour savoir exactement ce qu'il doit faire (0.8 dans "Ne sait pas").

Pour conclure cette section, les principales caractéristiques du jeu de plateau DecisionTrace sont décrites :

- DecisionTrace traite d'un seul type décision : acter (ou non) la fermeture d'une route dans un contexte de risque d'avalanche fort. Son objectif est de permettre la reconstruction du processus de décision de chaque joueur et de celui de l'équipe ;
- La mécanique de jeu de DecisionTrace est basée sur des tours de jeu afin qu'elle soit cohérente avec une décomposition du processus de décision en micro-décisions. Un tour de jeu débute avec une prise d'information qui modifie le contexte de jeu. Les joueurs obtiennent une information de la catégorie qu'ils ont demandée. Chaque tour de jeu se termine avec une *micro-décision* équivalente à une évaluation du contexte de jeu ;
- DecisionTrace peut se jouer seul ou en équipe avec une configuration idéale de trois joueurs. Trois rôles sont proposés aux joueurs : élu, gestionnaire de routes, expert avalanche. Un joueur

est désigné pour représenter la décision de l'équipe (en plus de la sienne);

- Les données de jeu sont des données réelles d'événements du passé regroupées en scénarios et manipulées pour obtenir différentes versions de la donnée avec différents niveaux de qualité. Les sources réelles de données sont conservées et associées à un niveau de fiabilité dans le jeu;
- DecisionTrace repose sur un raisonnement expert de référence pour l'analyse du risque d'avalanche qui a contribué à le concevoir (catégorie des données, types de données utilisés, etc.) et qui propose une appréciation des critères les plus importants.

5.5 Reconstruction du processus de décision du joueur, comparaison à une référence experte : La face cachée du jeu DecisionTrace

Le concept du jeu est de pouvoir observer le processus de décision des joueurs, ce qui prend du sens si on parvient à le comparer à un cadre de référence, et à en mesurer les écarts avec. Cela offre deux possibilités :

- La comparaison du processus de décision du joueur à une référence permet de lui donner des éléments supplémentaires d'aide à la décision pour des prochaines décisions;
- L'enregistrement de processus de décision de joueurs d'horizons divers (novices, experts, etc.) sur les mêmes contextes de décision, qui peut être aussi une source de comparaisons et d'apprentissage.

5.5.1 Première étape : Reconstruction du processus de décision du joueur ou de l'équipe

Comme illustré précédemment, le déroulement du jeu permet de collecter les étapes du processus de décision du joueur. En début de tour de jeu, l'équipe traduit son intention de jeu en révélant vers quelle catégorie de données elle souhaite dorénavant s'orienter. A chaque nouvelle information, chaque joueur saisit lui-même son évaluation du contexte de jeu (et idem pour l'équipe). Ce qui révèle son état d'esprit dans le processus de décision. Une fois la session de jeu terminée, il est ainsi possible de recréer son processus de décision en observant le cheminement par lequel il est passé. Ce résultat peut être illustré comme un chemin tracé entre les prises en compte des nouvelles informations. Le processus de décision passe de la prise en compte d'une information à une autre et cela jusqu'à la prise de décision (Fig.5.15).

Les principales observations des processus de décision sont les suivantes :

- Sur deux sessions de jeu différentes avec deux équipes qui jouent sur le même scénario :
 - Les deux équipes n'ont pas accès aux mêmes informations. L'intégralité des données disponibles n'est jamais totalement mobilisée dans une session. Le jeu s'arrête en général avant, soit parce que l'équipe a pris sa décision finale, soit parce que l'avalanche est tombée prématurément pendant le processus de décision. Le niveau de qualité de la donnée obtenue joue un rôle important. Il est lui-même dépendant de la fiabilité de la source de données. Si l'information est de mauvaise qualité, l'équipe peut choisir de demander une nouvelle information de la même catégorie;

- Les deux équipes n'ont pas accès aux informations dans le même ordre. Les choix que réalise l'équipe sur les catégories d'information contrôle l'ordre des informations qu'elle obtient.
- Lors d'une même session de jeu :
 - Les joueurs vont être différemment influencés par les données obtenues : la qualité des données joue aussi un rôle;
 - Les joueurs ne sont pas forcément tous unanimes avec les micro-décisions qui doivent être prises en consensus : le choix de la catégorie de la prochaine information souhaitée et l'évaluation de l'information faite en équipe.

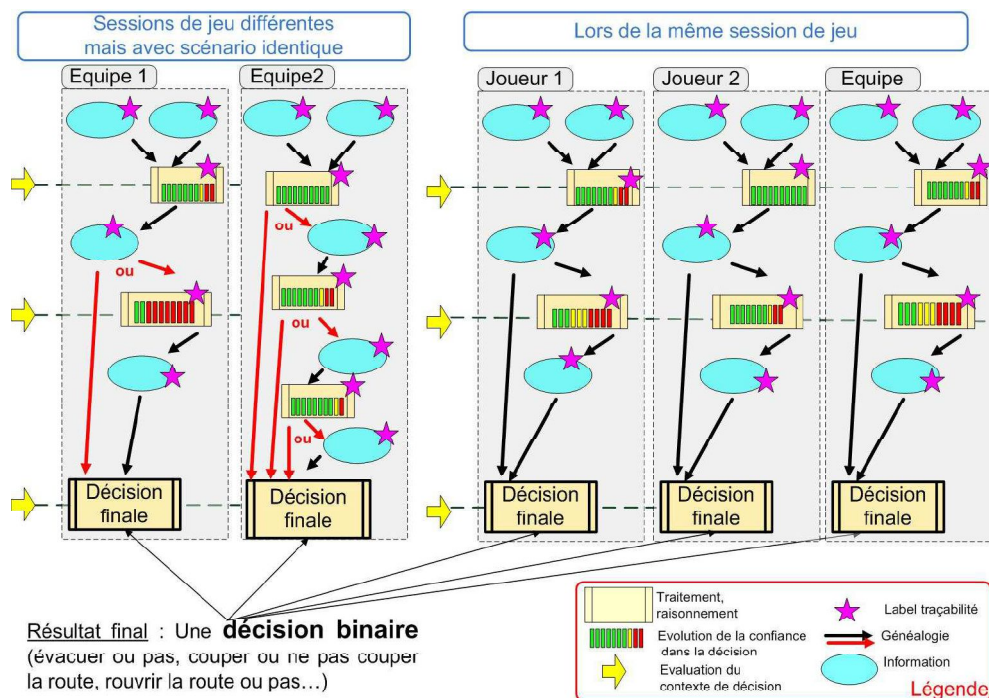


FIGURE 5.15 – Illustration des processus de décision des joueurs en fonction des données obtenues et de leurs sources.

5.5.2 Seconde étape : Comparaison du processus de décision du joueur à une référence experte

D'un point de vue éthique, il a été nécessaire d'écarter le concept de "Gagner" dans le jeu DecisionTrace. Gagner aurait rapidement signifié que la meilleure décision possible a été prise. Cela ouvrirait des champs de réflexion de fond sur : qu'est ce que la meilleure décision? Qu'est ce qu'une mauvaise décision? Par exemple, pour continuer avec l'exemple que nous avons développé, la décision de fermeture de la route peut sembler inutile si l'avalanche ne se déclenche jamais. Cette décision a peut être eu de lourdes conséquences économiques en bloquant l'accès à un village, à une station de ski ou aura fait annuler un événement culturel. Alors comment considérer cette décision? Peut-elle être bonne ou mauvaise? Peut-elle être la meilleure?

L'option qui a été préférée est d'annoncer aux joueurs la décision qui a été prise dans le scénario réel qui a inspiré le scénario de jeu. Les deux scénarios (réel et de jeu) ne sont pas rigoureusement

comparables car le jeu modifie le contexte de décision, il modifie l'ordre des données et leur qualité notamment. Cela permet de sensibiliser à la diversité des données techniques qu'il faut savoir trouver et interpréter, et sur la prise en compte de l'imperfection des informations. D'autres éléments formateurs en aide à la décision sont donnés aux joueurs, il s'agit d'un retour sur la comparaison de leurs processus de décision comparé au processus de décision supposé comme expert. C'est précisément pour cette raison que le principe d'une référence experte sur laquelle le jeu peut se baser est adopté (Fig.5.4).

Pour expérimenter le concept de jeu dans le cadre de la thèse, la version plateau du jeu sérieux DecisionTrace a fait l'objet de sessions de tests, co-animées avec l'ANENA, qui ont généré les premiers jeux de données. Un retour d'expérience synthétique est présenté ci-après.

5.5.3 Animation de sessions de jeu pour tester le jeu DecisionTrace

Un panel d'une trentaine de joueurs s'est prêté à l'expérience, représentatifs de divers niveaux de compétences dans le domaine de l'analyse du risque d'avalanche ou de la prise de décision pour la gestion d'infrastructures exposées aux risques naturels. Les profils des joueurs étaient divers : gestionnaire de route, expert en analyse de risque d'avalanche, chercheur en aide à la décision, guide de haute montagne, chercheur non spécialiste du phénomène avalanche, thésards et stagiaires intégrés à l'unité de recherche ETNA (Erosion Torrentielle Neige et Avalanches). Deux journées ont été organisées et chacune des équipes a eu l'occasion de tester les deux scénarios disponibles : le scénario du Queyras et celui de la Tarentaise.

Lors de ces sessions, nous avons pu remarquer que les joueurs décident très rapidement. Le temps d'analyse d'une nouvelle donnée est assez court, chaque joueur produit son évaluation de contexte de façon individuelle d'abord. Une concertation en équipe ensuite permet de produire l'évaluation d'équipe. Mais finalement, les parties de jeu étaient très rapides (une vingtaine de minutes). La majorité des équipes a pris une décision une fois qu'elle a eu environ une dizaine de nouvelles données. Certaines parties ont été écourtées car l'avalanche a traversé la route.

Actuellement, l'analyse des processus de décision des joueurs considère les données intégrées au processus mais ignore les critères que le joueur a effectivement pu y associer. C'est un point important qui diffère avec le schéma de pensée idéal que l'expert suivrait sans qu'on puisse, pour le moment, en mesurer les écarts effectifs.

Des observations de la dynamique de groupe ont révélé que, malgré les évaluations individuelles prioritaires, les échanges avec le groupe, tour après tour, influençaient les joueurs. Aussi, la prise de décision en équipe relève la plupart du temps d'un consensus de l'équipe. Pourtant, certaines sessions, où la pression était forte, ont vu le décideur imposer un point de vue, avec beaucoup de réalisme! Cette pression pouvait être amenée par différentes sources : des données techniques de dégradation de la situation (météo par exemple), des pressions sociales (des habitants isolés ou qui ne peuvent plus donner de nouvelles, par exemple), des pressions économiques (fermer la route d'accès à une station de ski la veille des vacances scolaires, par exemple) ou même une pression temporelle (faut-il décider vite?). Ces types de pression sont introduits avec des cartes de jeu spécifiques.

Ces tests ont aussi permis de soulever la question des données composites et de leur évaluation. Une donnée composite peut être présentée aux joueurs, mais pour autant, il ne fait qu'une seule évaluation de situation. Alors comment interpréter cette étape du processus de décision, comment savoir quelle élémentaire de la donnée composite a eu plus d'influence qu'une autre. Concernant la prise en compte de la qualité des informations, nous avons essentiellement pu faire deux constations.

La première est qu'un faible niveau de qualité d'une donnée, pour un joueur qui sait ce qu'il cherche, génère un agacement et un entêtement, jusqu'à l'obtention du type d'information attendu avec un niveau de qualité suffisant. La seconde est qu'un niveau faible de précision dérouté les joueurs sans expérience, a priori, avec certaines données nécessitant un minimum d'expérience (le Bulletin d'Estimation du Risque Avalanche, par exemple).

Synthèse

Dans ce chapitre, nous avons présenté le jeu sérieux que nous avons développé. D'un point de vue méthodologique, il peut être considéré comme un outil de capture du processus de décision. Il a été pensé de manière suffisamment générique pour réutilisable et adaptable à des domaines d'application différents.

Ainsi, dans ce travail, nous avons conçu une méthodologie et un outil originaux combinant un cadre de jeu sérieux, un processus formel de traçabilité à mettre en œuvre dans les systèmes d'information et également une proposition de cadre de validation. Un tel jeu sérieux est un moyen à la fois innovant et efficace d'éduquer mais aussi d'analyser et éventuellement d'améliorer l'expertise et les processus de décision. C'est également un support pour la recherche sur la traçabilité de l'information dans les processus d'expertise et de décision. On peut l'imaginer comme la partie visible d'un iceberg méthodologique (Fig. 5.16).

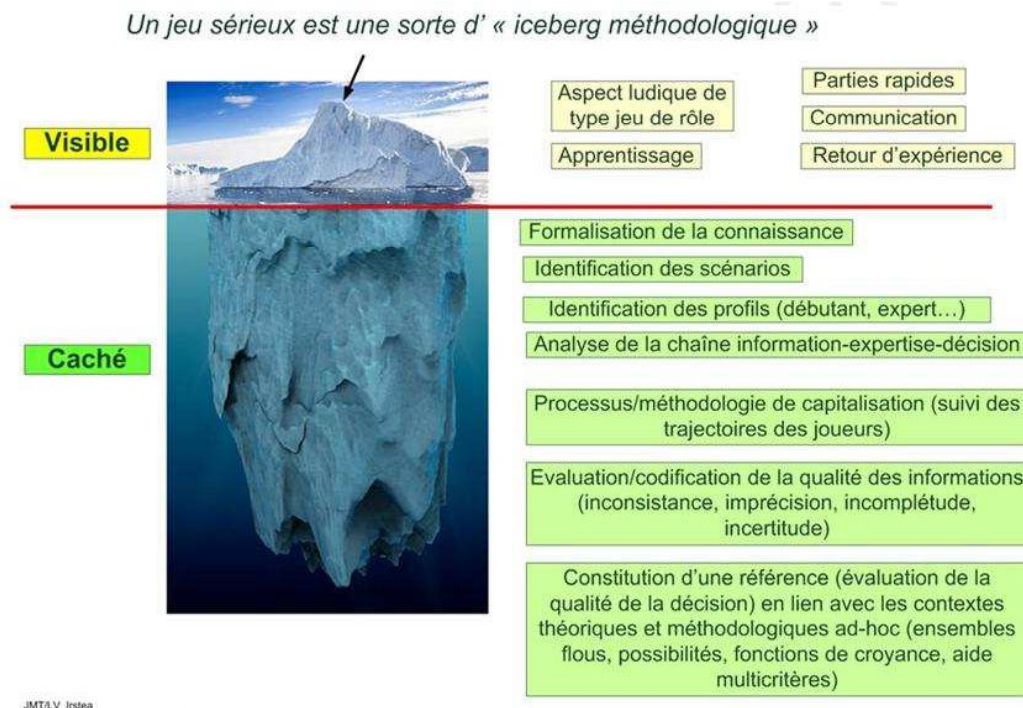


FIGURE 5.16 – Les processus de conception et les méthodologies d'évaluation du jeu sérieux ne sont pas tous visibles [Vidaud-Barral et al., 2018].

Ce jeu sérieux est un cadre innovant d'étude d'un processus de décision spécifique en raison des critères suivants :

- Il propose un nouvel environnement alternatif aux méthodes classiques pour décrire et formaliser la connaissance;

5.5. RECONSTRUCTION DU PROCESSUS DE DÉCISION DU JOUEUR, COMPARAISON À UNE RÉFÉRENCE EXPERTE : LA FACE CACHÉE DU JEU DECISIONTRACE

- Il offre un moyen original et unique d'échanges croisés entre les acteurs, les méthodes et les disciplines. Cette pluridisciplinarité est une valeur ajoutée pour les acteurs des décisions;
- Il peut être utilisé pour illustrer des concepts, pour éduquer, améliorer les processus de décision grâce à une communication améliorée;
- Il peut être considéré comme un laboratoire de décision où toutes les informations sont strictement contrôlées, surveillées et tracées en relation avec les décisions prises.

Il offre donc un cadre unique pour analyser l'influence de la qualité de l'information sur la décision et pour valider les développements de la recherche dans le domaine de la gestion des imperfections de l'information.

Le Chap 6 s'attache ensuite à la problématique informatique impulsée par le développement de ce jeu, à savoir la modélisation et le stockage au sein d'un système d'information du fonctionnement du jeu sérieux ainsi que des processus de décision *de laboratoire* capturés par des jeux sérieux. Nous présenterons notamment l'application, sur ce jeu, de nos propositions génériques de représentation et de stockage de ce type de processus.

La démarche globale d'analyse et les liens entre les approches relatives à l'aide à la décision et les développements informatiques sont présentés sur la figure (Fig. 5.17).

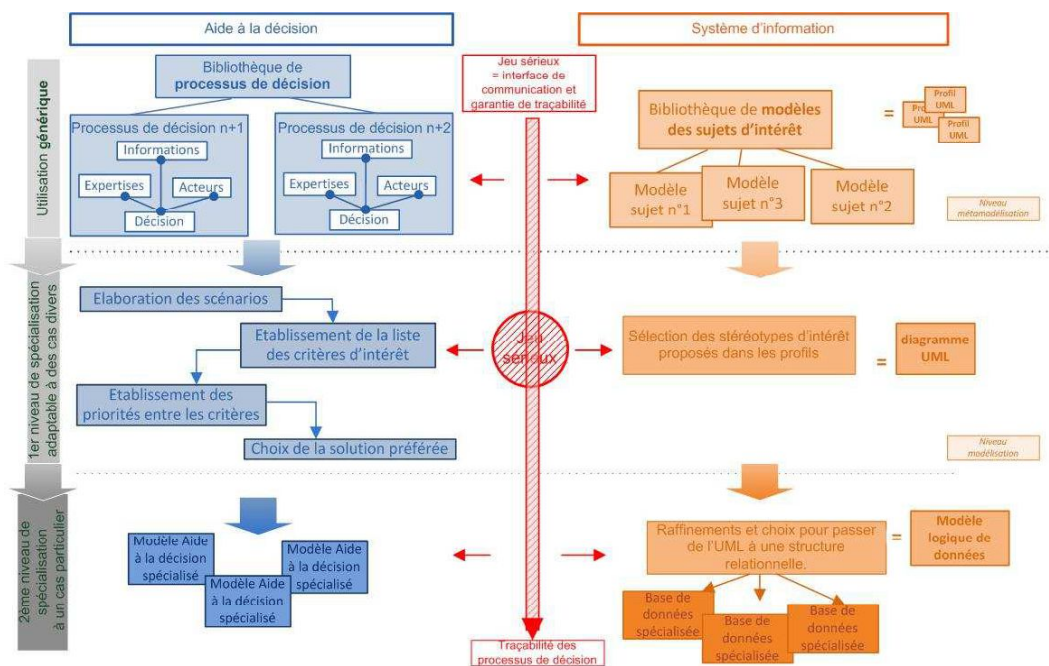


FIGURE 5.17 – Le jeu sérieux, objet intermédiaire, support à toutes les étapes de la démarche.

CHAPITRE 6

VERS UNE CONCEPTION GÉNÉRIQUE DE JEUX SÉRIEUX POUR LA CAPTURE, LA TRAÇABILITÉ ET LA CAPITALISATION DES PROCESSUS DE DÉCISION

Sommaire

6.1 Analyse de besoins en matière de conception d'environnement informatique dédié à la capture de la traçabilité des processus de décision au travers des jeux sérieux	125
6.1.1 Besoins généraux	125
6.1.2 Besoins spécifiques	126
6.2 Une démarche de conception basée sur la combinaison de profils UML pour concevoir des jeux sérieux dédiés à la capture de la traçabilité des processus de décision	131
6.2.1 Présentation de la démarche de conception pour des jeux sérieux dédiés à la capture de processus de décision	131
6.2.2 Détails sur le principe d'utilisation des stéréotypes de profils UML	135
6.3 Présentation des profils UML	139
6.3.1 Un profil UML dédié à la conception des jeux sérieux	139
6.3.2 Un profil UML dédié à la traçabilité du processus de décision	145
6.3.3 Un profil UML dédié à l'évaluation d'un risque	145
6.3.4 Un profil UML dédié à la qualité des informations et la fiabilité des sources	150
6.4 Vers une forme de validation des profils UML : utilisation de la méthodologie de conception pour le développement de structures de données support à deux jeux sérieux	153
6.4.1 Conception d'une structure de données pour le jeu sérieux inspiré par le jeu de plateau DecisionTrace	154
6.4.2 Conception d'une structure de données pour le jeu sérieux inspiré par le jeu de plateau RiskGame	166
6.5 Implémentation de l'approche au sein d'une chaîne logicielle pour concevoir les prototypes de jeux sérieux	172
6.6 Exploitations et capitalisation de données avec les jeux sérieux conçus sur la base des profils UML	175

L'approche exploratoire adoptée avec le développement de jeux utiles en version plateau a impulsé la nécessité de concevoir des outils informatiques génériques pour exploiter leur potentiel. Il s'agit de proposer un environnement informatique pour capturer la traçabilité des processus de décision en s'appuyant sur le jeu sérieux et ses méthodes de conception. Ceci permet de capitaliser l'état des connaissances sur le processus de décision et ses mécaniques explorées nécessairement en amont de la conception d'un jeu. Il s'agit aussi de parvenir à stocker les données produites par le jeu pour capturer les processus de décision suivis dans le jeu. Il nous a semblé pertinent de proposer une méthodologie générique de conception, plutôt que de concevoir un outil unique qui répondrait à un besoin ponctuel pour un jeu sérieux dédié à un processus de décision spécifique.

Une part de la complexité de conception des jeux sérieux réside dans le fait que de nombreux acteurs avec des profils très divers ont à se comprendre pour prendre part à la conception. Tout comme dans le cadre d'un développement logiciel classique pour un *client*, la qualité du produit final est dépendante d'une bonne compréhension mutuelle des porteurs de besoin et des concepteurs, et ce dès les prémices du projet. Pour reprendre le vocabulaire des jeux sérieux, dans [Marne, 2014], on parle du point de vue des *apprenants-joueurs* qui sont ceux pour lesquels les jeux sont imaginés. Ils vont être formés, sensibilisés à un sujet particulier grâce aux jeux. On parle ensuite des *prescripteurs* du jeu qui sont les experts du sujet et qui vont guider les connaissances à développer dans les jeux. La diversité des acteurs qui prennent part à la conception de jeux est inévitable mais ajoute une sorte de complexité un peu *générique* face à laquelle tout concepteur de jeux se retrouve. La figure (Fig. 6.2) illustre les différentes catégories d'acteurs, le rôle de l'analyste se trouve à l'interface entre les acteurs métier et les informaticiens. Dans notre cas, nous envisageons des jeux focalisés sur l'étude du processus de décision. C'est pourquoi une prise de recul avec une proposition de formalisation de conception de jeux, dédiés précisément à ce domaine, nous a semblé importante. L'objectif est qu'elle puisse être réadaptée pour la conception de tout nouveau jeu sérieux dédié à l'observation et la traçabilité de processus de décision indépendamment d'un domaine d'étude.

Dans ce cadre, l'utilisation de la métamodélisation basée sur UML a été retenue pour trois raisons : (1) la nécessaire communication de ce contexte multiacteur pour prendre en compte les différents points de vue, (2) sa capacité à capitaliser les connaissances au niveau des modèles plutôt que dans du code, (3) la flexibilité de génération de nouveaux outils depuis un socle commun de modélisation. Parmi les constats qui ont inspiré les méthodes agiles, deux d'entre eux confortent ce choix :

- Principe d'incertitude du besoin de [Humphrey, 1995] : Les utilisateurs ne savent ce qu'ils veulent qu'après avoir vu une première version du logiciel;
- Principe d'incertitude de [Ziv et al., 1997] : Les besoins changent souvent durant le processus de développement du logiciel.

Comme illustré sur la figure (Fig. 6.1), le chapitre 6 décrit une méthodologie globale de conception d'un environnement de capture de la traçabilité du processus de décision, au travers de jeux sérieux dédiés à simuler, tracer et capitaliser des processus de décision. Elle est fondée sur les mécanismes de profils UML puis détaillée dans la section (Sec. 6.1) et la section (Sec. 6.2). La librairie de profils UML sur laquelle peut s'appuyer la méthodologie est présentée dans la section (Sec. 6.3). La section (Sec. 6.4) présente ensuite un cas d'application réalisé avec la méthode sur le jeu DecisionTrace, et un essai d'application sur un jeu de plateau déjà existant, le jeu RiskGame.

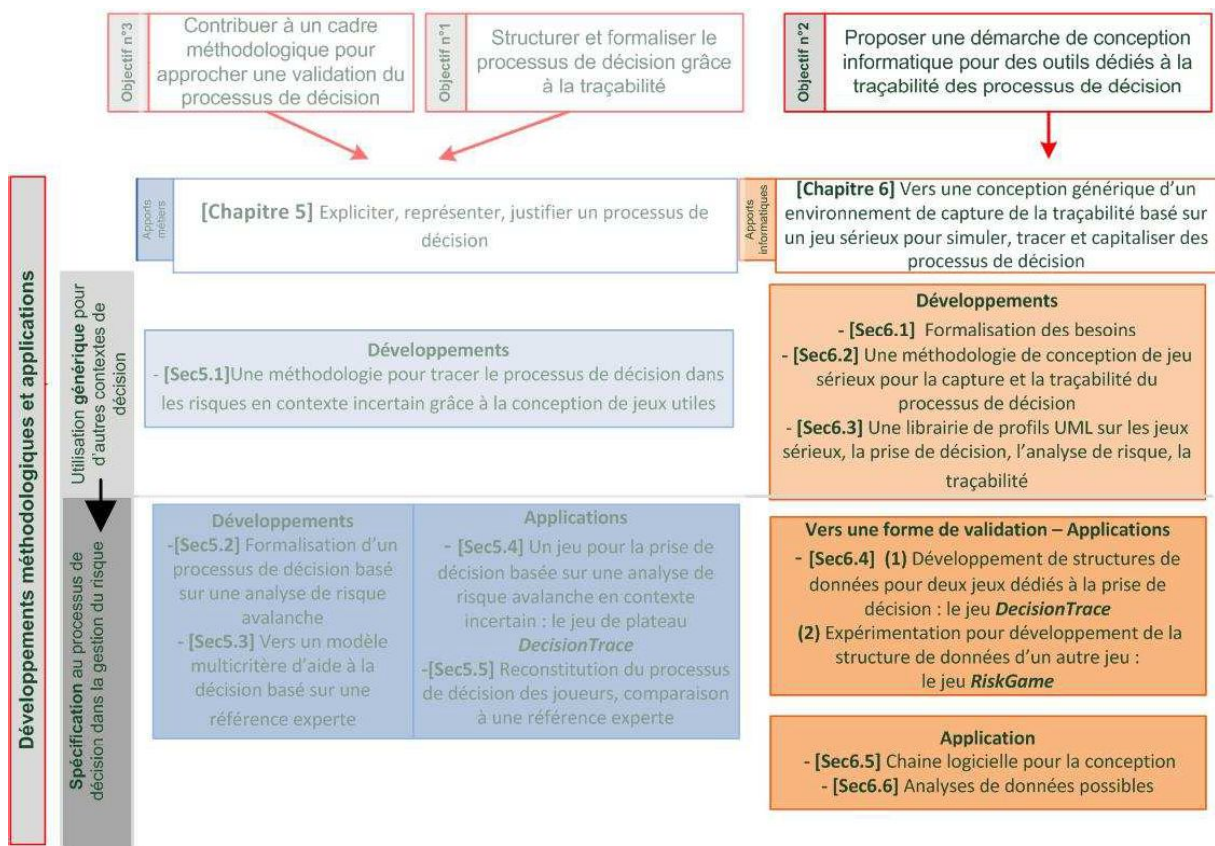


FIGURE 6.1 – Synthèse des développements et objectifs du chapitre 6.

CHAPITRE 6. VERS UNE CONCEPTION GÉNÉRIQUE DE JEUX SÉRIEUX POUR LA CAPTURE, LA TRAÇABILITÉ ET LA CAPITALISATION DES PROCESSUS DE DÉCISION

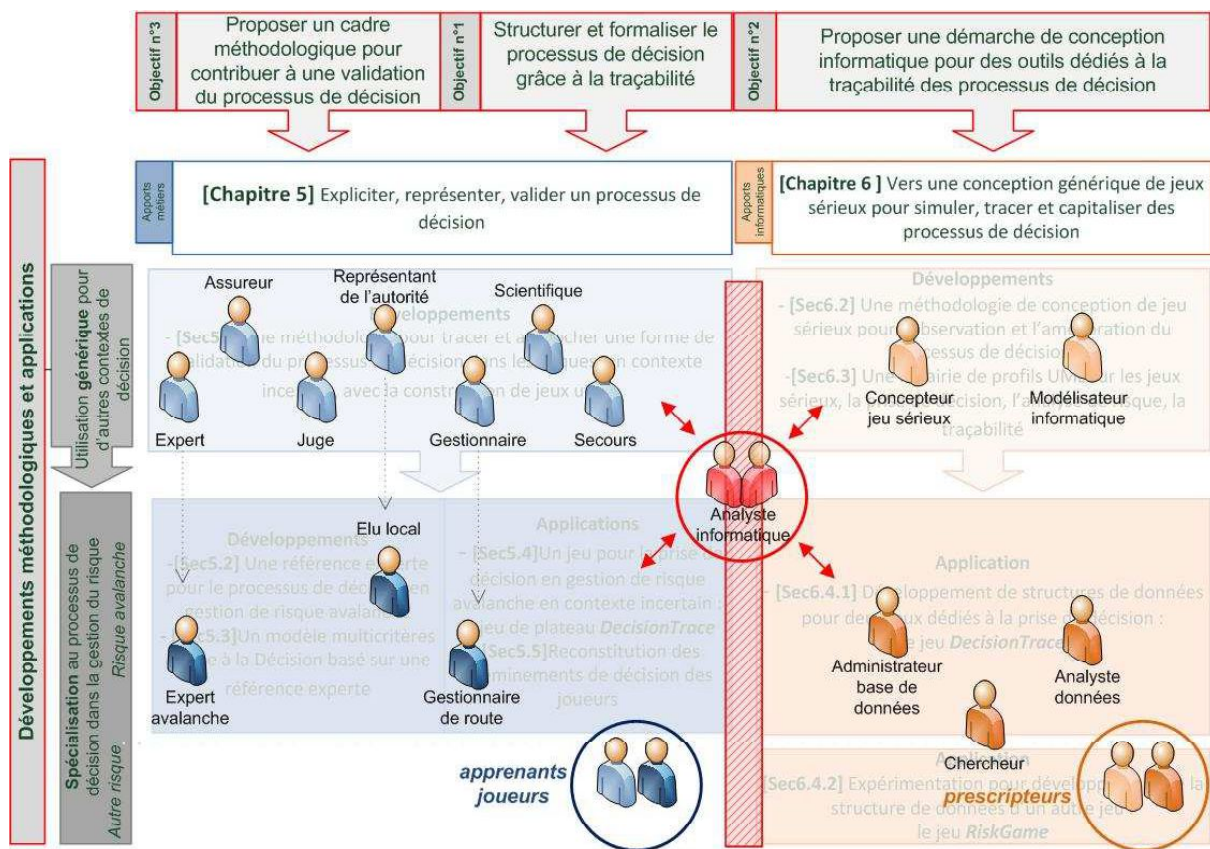


FIGURE 6.2 – Positionnement de l'analyste informatique dans la conception de jeu sérieux.

6.1 Analyse de besoins en matière de conception d'environnement informatique dédié à la capture de la traçabilité des processus de décision au travers des jeux sérieux

6.1.1 Besoins généraux

La problématique présentée dans la section (Sec. 2.2.3) est caractérisée par une préoccupation de réutilisation des outils informatiques pour permettre d'étudier divers processus de décision. L'hypothèse est d'utiliser les jeux sérieux pour apporter une réponse. L'objectif n'est pas seulement de proposer un jeu sérieux avec ses nécessités de stockage (et d'analyse) de connaissances sur un type de processus de décision précis mais une méthodologie qui donne des clés pour concevoir une solution adaptée à un besoin d'étude de processus de décision dans un domaine identifié. Comme illustré sur la figure (Fig.6.3), le jeu sérieux se présente comme un outil de capture du processus de décision. Ce processus à étudier, indépendamment du domaine disciplinaire dans lequel on le considère, peut être assimilé de façon générique à un processus qui fait interagir des acteurs, lesquels se basent sur des expertises et des informations, plus ou moins imparfaites, dans le processus de décision. L'expertise peut elle-même être envisagée comme une succession de processus de décision plus fins.

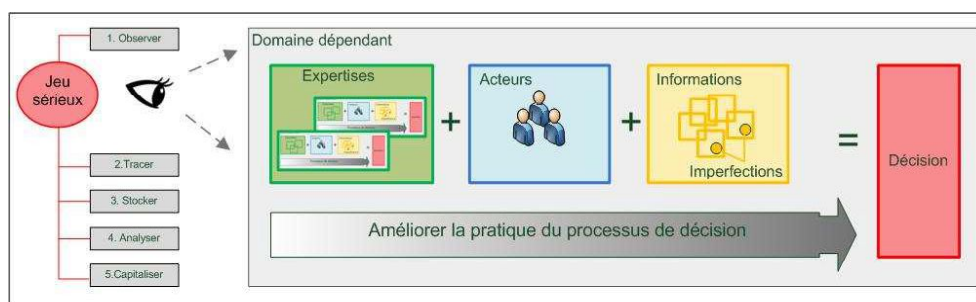


FIGURE 6.3 – Capture de la traçabilité du processus de décision par le jeu sérieux pour l'amélioration de sa pratique.

Le développement d'un jeu sérieux nécessite une communication efficace entre des acteurs dont les métiers, vocabulaires et attentes sont différents mais concernent les mêmes objets d'intérêt (Cf. Fig.6.2). Travailler sur la traçabilité d'un processus de décision implique la réunion d'experts du domaine prêts à décomposer leur raisonnement et le confronter à l'explicitation, de gestionnaires intervenant dans le domaine en question au quotidien, qu'ils soient décisionnaires ou non, de modélisateurs en aide à la décision et de concepteurs d'outils informatisés. Il existe un besoin de créer des outils en capacité de capitaliser les réflexions et les interactions complexes entre ces différents acteurs tout en restant adaptables à de nouveaux points de vue.

Comme déjà présenté précédemment, le jeu sérieux est cet outil qui peut :

- Mettre en place l'observation du processus de décision en simulant des contextes de décision et faisant intervenir les différents acteurs ;
- Tracer toutes les étapes du processus de décision dont les informations, les expertises prises en compte et les acteurs impliqués ;

- Stocker les informations pertinentes (choisies) de traçabilité;
- Permettre l'analyse des données collectées en les restituant;
- Capitaliser sur la diversité des processus de décision réalisés dans les sessions de jeu.

Les besoins détaillés autour des jeux sérieux attendus sont présentés dans la section (Sec.6.1.2) mais des besoins plus généraux sont présentés ci-dessous :

- Besoin d'une méthodologie pour apprendre à créer des outils de capture de la traçabilité du processus de décision : les jeux sérieux;
- Besoin d'un moyen pour aider à la communication multiacteur et la capitalisation des connaissances, des échanges et des points de vue de divers experts;
- Besoin d'une solution logicielle flexible et gratuite qui permette de réutiliser les développements et connaissances engrangées dans les précédents développements;
- Besoin d'un moyen adapté au monde de la recherche pour l'exploitation des données.

6.1.2 Besoins spécifiques

L'objectif de la méthodologie est de soutenir un concepteur de jeu dans l'élaboration d'un environnement de capture de la traçabilité d'un processus de décision. En pratique, la cible est un outil qui prend la forme d'un jeu sérieux particulier qui se base sur une gestion des données et une mécanique suggérées. L'objectif de ces jeux sérieux est d'analyser le processus de décision identifié par le concepteur même si la thématique de décision est différente de ce que nous proposons. De façon optionnelle, le concepteur peut décider de prendre en compte l'imperfection des données et/ou d'injecter dans le jeu une référence experte d'analyse de risque. Les composants de base des jeux sérieux visés sont illustrés sur la figure (Fig. 6.4).

Quel que soit le domaine d'étude du concepteur, le principe est de partir de la matière première que sont les décisions prises par le passé sur des événements connus. Elles constituent une bibliothèque de processus de décision dont le contexte est repris et détaillé sous forme de données de jeu qui, agrégées, forment des scénarios de jeu. Utiliser le jeu sérieux revient alors à collecter de nouvelles données, de nouveaux processus de décision, sur des scénarios ou contexte de jeu préétablis. Comme vu précédemment, le jeu, par la simulation, permet de recréer un contexte propice à la prise de décision. En ce sens, nous considérons capturer une forme de décision de laboratoire qui devient observable et mesurable.

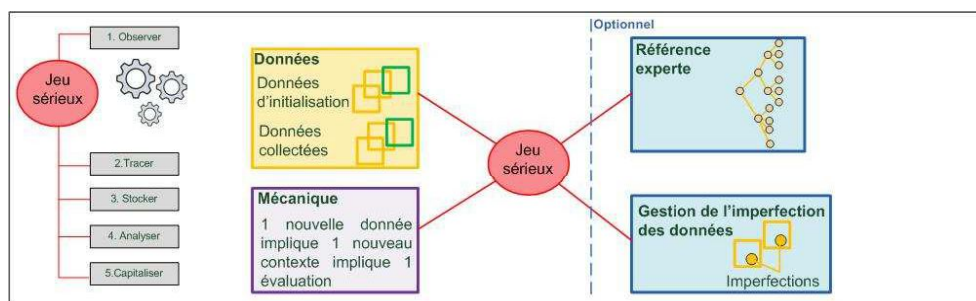


FIGURE 6.4 – Composants de base du type de jeu sérieux proposé.

Quelle que soit la thématique choisie, nous avons identifié quatre besoins pour la conception de jeu sérieux, ils sont listés et détaillés ci-dessous. Certains sont optionnels pour les concepteurs.

- Besoin n°1 : La gestion des données de jeu, l'intégration de données en phase d'initialisation, la collecte en phase de jeu et la sortie de données pour exploitation a posteriori;

6.1. ANALYSE DE BESOINS EN MATIÈRE DE CONCEPTION D'ENVIRONNEMENT INFORMATIQUE DÉDIÉ À LA CAPTURE DE LA TRAÇABILITÉ DES PROCESSUS DE DÉCISION AU TRAVERS DES JEUX SÉRIEUX

- Besoin n°2 : La mécanique de jeu centrée sur la traçabilité du processus de décision ;
- Besoin n°3 : La prise en compte d'un raisonnement expert d'analyse de risque considéré comme une référence ;
- Besoin n°4 : La prise en compte de l'imperfection des données et de la fiabilité des sources de données.

Nous détaillons maintenant ces besoins.

Besoin n°1 : La gestion des données de jeu pendant les trois phases : phase d'initialisation des données de jeux et de sessions, phase de collecte de données, phase d'export de données.

Les types de manipulation réalisés sur les données, lors des trois phases de gestion des données identifiées, sont détaillés dans (Tab. 6.5).

Le jeu sérieux n'a donc principalement qu'une vocation de collecte de données. Le traitement de données et les analyses ne sont envisagés qu'a posteriori des sessions de jeux. L'objectif est de restituer de façon neutre et simple les informations collectées lors des sessions de jeux ; neutre pour ne pas en proposer d'interprétation, et simple, d'un point de vue informatique, avec des structures de données manipulables avec tous les langages de programmation.

Besoin n°2 : La mécanique de jeu est dédiée à la traçabilité du processus de décision.

Dans le cadre de ce travail, *tracer un processus de décision* désigne de façon globale l'enregistrement des données et des sous-processus impliqués dans le processus de décision étudié. On entend par là, stocker de manière informatique la connaissance sur les données utilisées, leur origine, leur niveau de qualité et leurs transformations potentielles. On considère également les informations qui vont permettre de décrire les sous-processus ainsi que les acteurs impliqués. Tracer une donnée, c'est toujours lui associer d'autres données descriptives (méta-données) qui aideront à mieux la comprendre et mieux l'utiliser.

Pour capturer et tracer le processus de décision dans le jeu sérieux, on imagine la mécanique de jeu comme une succession de contextes de jeu matérialisés par des tours de jeu. Un contexte de jeu diffère du précédent par l'intervention d'une nouvelle donnée dans le jeu. Le postulat est simple : chaque nouvelle information qui arrive dans le jeu modifie le contexte de jeu. La perception de la situation du joueur est alors modifiée et son processus de décision impacté. C'est précisément ce que l'on cherche à tracer ; à la fois le nouveau contexte de jeu et la réaction du (ou des) joueur(s) à cette nouvelle information. Pour cela, nous introduisons la notion d'évaluation du contexte de décision pour prendre en compte l'effet de cette dernière information dans le processus de décision global.

Comme sur l'exemple illustré sur la figure (Fig. 6.6), nous avons dû définir une échelle d'évaluation de contexte de jeu. Elle peut être modifiée en fonction des besoins des concepteurs si besoin. Cette échelle propose des niveaux d'évaluation qui permettent au joueur de dire si, à ce moment du jeu et en regard des informations qu'il détient, il *envisage* ou *envisage fortement* de prendre une décision, s'il pense *sa décision irrévocable* ou encore si *il ne sait pas* prendre position pour le moment. Ainsi, comme dans l'exemple, il peut indiquer qu'il envisage rapidement une décision à 0.6 mais qu'une part de lui reste incertaine (à 0.1) dans cette projection. La question que se pose les joueurs est de savoir en quel sens la dernière information donnée par le jeu modifie leur perception du contexte de jeu. Est-ce que cette information les amène vers une décision de plus en plus envisagée?

CHAPITRE 6. VERS UNE CONCEPTION GÉNÉRIQUE DE JEUX SÉRIEUX POUR LA CAPTURE, LA TRAÇABILITÉ ET LA CAPITALISATION DES PROCESSUS DE DÉCISION

Phase de préparation des données hors système	Objectif pour le système	Type de données manipulées dans le système	Moment de gestion dans le système	Profil système responsable	
En amont d'une session de jeu					
Sélection de décisions prises dans le passé et documentées suffisamment	Création de la banque de données source	Données d'expertise, photos, cartes géographiques, articles de presse	Initialisation jeu	Administrateur	Intégration
	Création des données de jeu sur la base des données source	Données de jeu, liens parent-enfant entre les données source et les données de jeu	Initialisation jeu	Administrateur	
Détermination d'une échelle d'évaluation de la fiabilité des sources de données	Création de l'échelle d'évaluation de fiabilité des sources de données	Critères d'évaluation de la fiabilité, liens source-niveau de fiabilité de la source	Initialisation jeu	Administrateur	
Détermination d'une échelle d'évaluation de la qualité des données	Création de l'échelle de la qualité des données	Critères d'évaluation de la qualité, liens donnée de jeu-qualité des données	Initialisation jeu	Administrateur	
Détermination d'une échelle d'évaluation des contextes de décision	Création de l'échelle d'évaluation des contextes de décision	Critères d'évaluation des contextes de décision	Initialisation jeu	Administrateur	
Détermination de rôles possibles dans le jeu	Création des rôles	Descriptif des rôles	Initialisation jeu	Administrateur	
	Création d'un scénario de jeu	Scénario de jeu, liens scénario-donnée pour associer les scénarios aux données de jeu	Initialisation jeu	Administrateur	
Détermination d'une référence experte	Création d'une référence experte	Critères de référence, catégories pour les données attendues	Initialisation jeu	Administrateur	
	Création d'une session de jeu	Session de jeu, liens session-scénario, liens session-joueurs-rôles	Initialisation session	Animateur	
Pendant le temps d'une session de jeu					
	Sélection catégorie de données	Choix de catégorie de données joueur et équipe	Tour de jeu	Joueur	Collecte
	Evaluation du contexte de données	Evaluation de contexte de données joueur et équipe	Tour de jeu	Joueur	
Après une session de jeu					
	Export des données de session de jeu	Données, scénarios, sessions, traçabilité, processus de décision	Fin de jeu	Animateur	Export

FIGURE 6.5 – Gestion des types de données pour le jeu sérieux : intégration lors de l'initialisation du jeu, collecte pendant les sessions de jeu, export de données a posteriori.

Il est indispensable, lors d'une session de jeu, que tous les tours de jeu soient enregistrés. Un tour de jeu est associé précisément à deux types d'information : (1) le contexte de jeu qui lui correspond, c'est à dire la compilation des informations qui est parvenue aux joueurs jusqu'à ce tour et (2) les évaluations de ce contexte de jeu par les joueurs et l'équipe.

6.1. ANALYSE DE BESOINS EN MATIÈRE DE CONCEPTION D'ENVIRONNEMENT INFORMATIQUE DÉDIÉ À LA CAPTURE DE LA TRAÇABILITÉ DES PROCESSUS DE DÉCISION AU TRAVERS DES JEUX SÉRIEUX

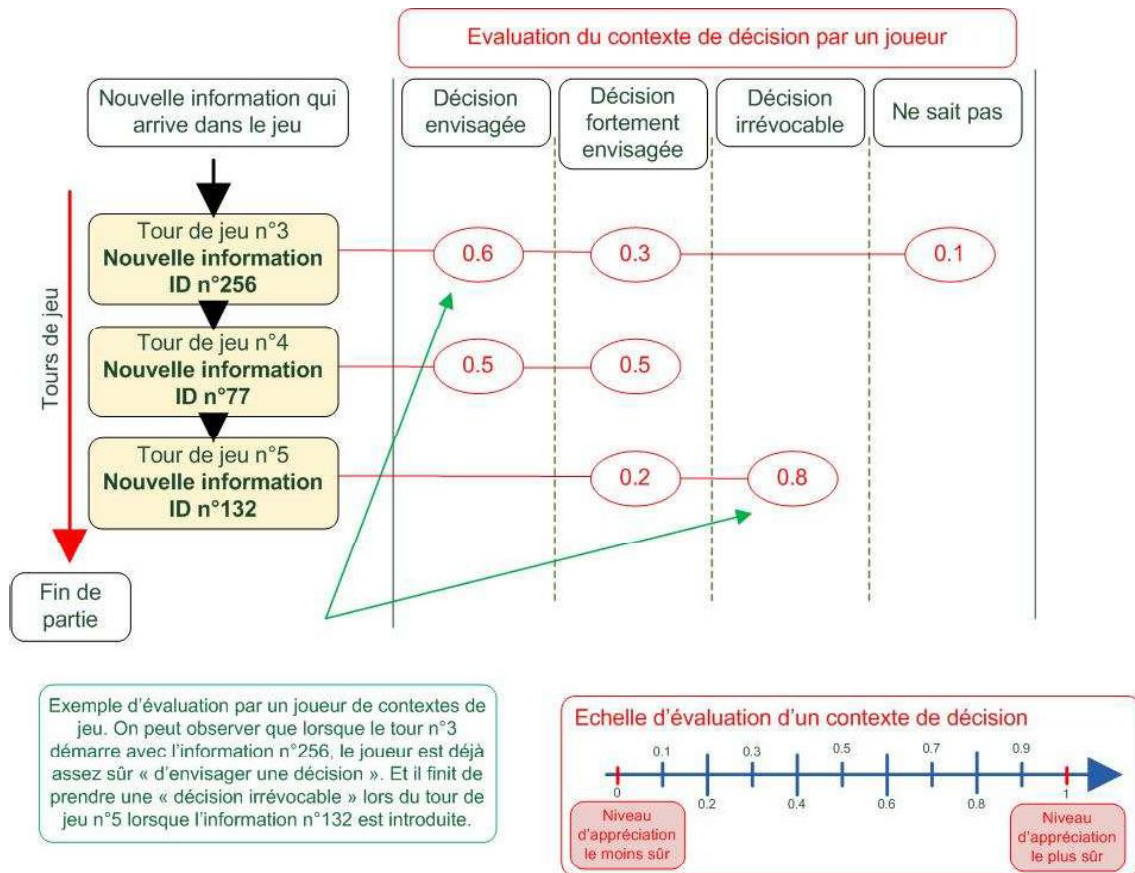


FIGURE 6.6 – Principe de traçabilité des évaluations de contexte de jeu réalisées par les joueurs au cours d'une session de jeu.

Besoin n°3 : La prise en compte de l'imperfection des données et de la fiabilité des sources de données

Comme établi précédemment lors de la présentation des travaux sur le jeu utile en version plateau, il est indispensable dans notre travail de prendre en compte l'imperfection des informations. Au delà de pouvoir tracer l'intégralité du processus de décision et de comprendre quelle information précise fait basculer la décision d'un joueur, nous souhaitons pouvoir observer le niveau de qualité de toutes les informations qui participent au processus et appréhender son impact sur le résultat final. La proposition de base est de pouvoir établir un code qualité selon trois critères (l'exactitude, la certitude et la précision) à chaque donnée. Il est intéressant de proposer un système suffisamment évolutif pour permettre d'établir des codes qualité différents sur la base de critères différents, de critères plus nombreux ou encore de critères mesurés différemment.

En complément d'un niveau de qualité associé aux informations, il est intéressant de pouvoir les associer à leurs sources d'une part et d'approcher une évaluation de ces sources d'autre part. Ce qui contribue également à une approche de la qualité globale des informations. Pour l'évaluation des sources, la proposition de base est de pouvoir associer un niveau de fiabilité à une source et de préciser s'il est absolu ou relatif. Là encore, il est intéressant de mettre en place la possibilité de modifier ce type d'évaluation (par ex. ajout de critères..).

Besoin n°4 : La prise en compte d'un raisonnement expert de référence

Comme illustré sur la figure (Fig.6.3), les expertises et les analyses de risque sont une partie intégrante du processus de décision. L'enjeu de la conception de jeu sérieux est d'améliorer la pratique du processus de décision des joueurs, il est donc nécessaire de (1) mettre en situation le joueur pour que lui même puisse produire cette analyse de risque et (2) pouvoir comparer ce produit à une référence proposée par un (ou plusieurs) expert(s).

Cela implique de :

- Prévoir les structures de données nécessaires à une analyse de risque : des critères d'évaluation, des catégories de critères, la possibilité de pondérer les critères les uns par rapport aux autres, des intervalles d'évaluation ;
- Paramétrer une analyse de risque dite de référence. L'expert établit pour une situation identifiée d'analyse de risque le nombre de critères d'intérêt, leurs catégories, la façon de les pondérer entre eux, la façon de les évaluer par rapport aux données obtenues ;
- Enregistrer l'analyse de risque réalisée par le joueur. Le joueur, positionné dans le même type de situation, évalue les données qui lui sont présentées. De façon implicite ou non, il utilise des critères d'évaluation pour produire son évaluation de contexte de jeu. Les critères qu'utilise le joueur peuvent différer en nombre ou pondération.

Synthèse section 6.1

Le jeu sérieux est considéré comme un système d'information ; il collecte, stocke, traite et distribue des informations pour servir un objectif. Proposer une méthodologie de conception de ce type de SI impose qu'elle soit un minimum adaptative aux nouveaux besoins, à des nouveaux processus de décision à étudier. Cela nous a amené à positionner notre travail sur de la modélisation informatique avec un haut niveau d'abstraction des concepts dans l'objectif de les réutiliser le plus possible. C'est la raison pour laquelle nous nous appuyons sur le mécanisme de profils UML. L'idée est de poser un cadre de modélisation pour des fonctionnalités qui pourraient être génériques mais de ne pas trop contraindre la proposition afin qu'elle soit réutilisable pour le développement d'autres jeux sérieux qui traiteraient de processus de décision différents.

La section (Sec. 6.2) détaille notre proposition de démarche de conception basée sur l'utilisation de nouveaux profils UML. La proposition est décrite pour le développement de jeux sérieux pour la traçabilité des processus de décision dans la gestion des risques mais elle n'est pas exclusive à ce domaine.

6.2 Une démarche de conception basée sur la combinaison de profils UML pour concevoir des jeux sérieux dédiés à la capture de la traçabilité des processus de décision

La démarche proposée a pour objectif de soutenir la conception de jeux sérieux pour la capture de la traçabilité de processus de décision. Elle s'appuie sur les grands principes de l'[IDM](#) et repose sur le mécanisme de profils [UML](#).

Pour rappel, l'[IDM](#) est une forme d'ingénierie générative dans laquelle tout ou partie d'une application informatique est générée par des modèles. Elle est un atout en matière de capitalisation des connaissances car tout ce qui peut être intégré à la modélisation initiale est ensuite plus facilement réutilisable. Mais elle permet également d'aborder de façon plus simple la conception de grands systèmes complexes.

Les profils [UML](#) permettent d'étendre les possibilités de modélisation du langage [UML](#) qui, même en étant le langage de modélisation le plus utilisé, reste très généraliste et peut être limité pour modéliser des domaines particuliers. Les profils [UML](#) permettent donc de modéliser de façon plus détaillée des domaines spécifiques tout en bénéficiant du cadre normalisé de modélisation déjà établi par [UML](#). [UML](#) est supporté par de nombreux outils qui permettent de faciliter la génération de code depuis les modèles. Pour mettre en place notre approche, nous avons conçu une chaîne de production des modèles, implémentée avec différents outils informatiques, permettant de définir les modèles et de produire les bases de données associées.

6.2.1 Présentation de la démarche de conception pour des jeux sérieux dédiés à la capture de processus de décision

Le principe de démarche proposé est de décomposer la conception en plusieurs étapes de modélisation incrémentales. Ce principe général est illustré sur la figure (Fig. 6.7). La première étape, la plus générique, s'appuie sur la manipulation de profils [UML](#). Ces profils constituent une bibliothèque de métamodélisation dans laquelle le concepteur pioche les concepts utiles à son projet. Une seconde étape consiste en la combinaison de ces profils pour affiner le projet et produire une modélisation spécifique à ses besoins [[Vidaud-Barral et al., 2019a](#)], [[Vidaud-Barral et al., 2020](#)]. Enfin, la dernière étape permet un passage à un niveau plus physique où une structure de données est établie.

Dans un contexte général, la démarche de conception repose sur l'utilisation des mécanismes de profils [UML](#). L'[OMG](#) propose quatre niveaux d'abstraction dans la modélisation d'un système informatique (Fig. 4.2, p. 78). Nous allons faire référence ici aux couches de modélisation M0-M3 décrites précédemment dans l'état de l'art. L'essentiel de notre contribution se situe sur la couche M2 en proposant une librairie de profils [UML](#) dédiés chacun à une préoccupation identifiée. Ces profils respectent le standard [MOF](#) de l'[OMG](#) et l'étendent pour couvrir l'ensemble de nos préoccupations. En utilisant cette librairie, il est alors possible de générer des diagrammes de classe dédiés à des types de jeux sérieux pour la capture de processus de décision qui peuvent différer par leurs objectifs : types de décision, types de risque, prise en compte de l'imperfection des données, etc. Il s'agit de la couche M1. Sur la base de ces diagrammes de classes, il est alors possible de générer des modèles logiques de données qui sont des propositions de structuration de bases de données. Le contenu de la base

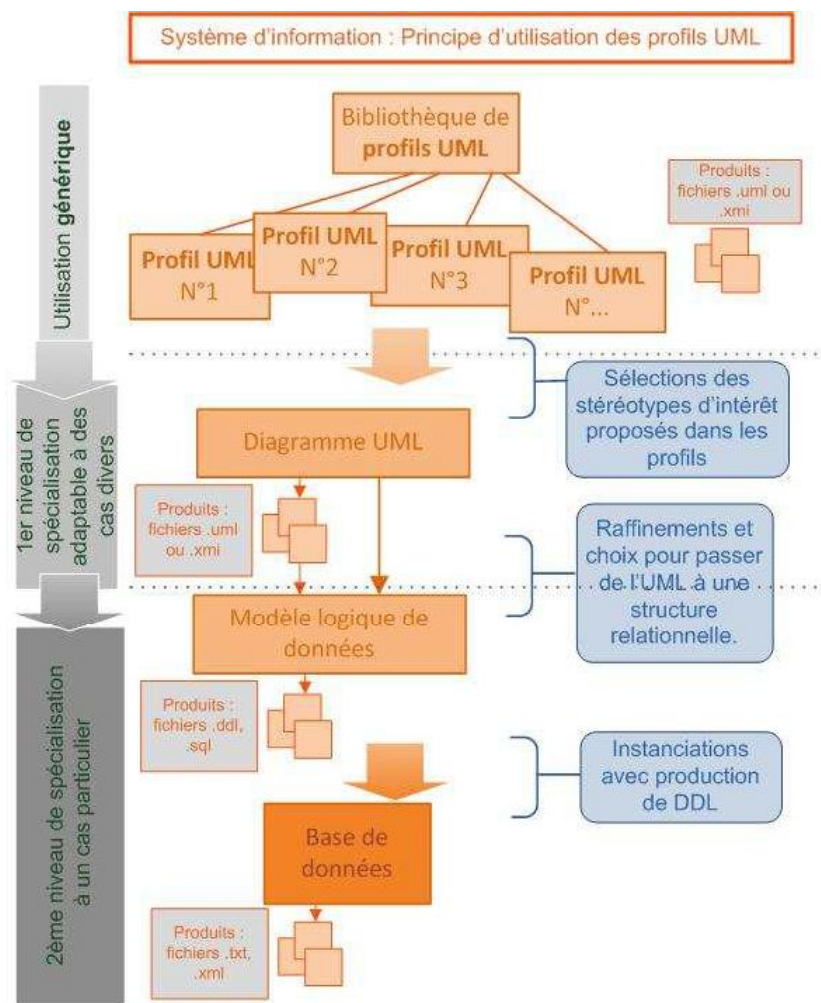


FIGURE 6.7 – Principe d'utilisation des profils UML dans la démarche de conception.

de données correspond à la couche M0. Depuis des profils UML dédiés à des préoccupations spécifiques, on aboutit donc à une structure de données personnalisée pour des besoins de stockage et d'analyse d'un type de processus de décision, tout en conservant structurellement le cadre imposé au niveau de la couche M2. Les profils UML proposés pour soutenir la démarche sont détaillés dans la section (Sec. 6.3). Leur fonctionnement détaillé est illustré et présenté dans la section (Sec. 6.2.2).

L'utilisation de plusieurs profils UML permet une flexibilité de réutilisation dans d'autres développements (Fig. 6.8). Notre domaine d'étude nous a poussé à travailler sur un jeu sérieux qui traitait de processus de décision s'appuyant sur des raisonnements experts sur le risque d'avalanche et à prendre en compte l'imperfection des données qui étaient utilisées. Un exemple de contexte précis étudié est la décision de fermeture d'une route en cas de risque fort d'avalanche. Rien n'empêche cependant, sur la base des mêmes profils UML, de concevoir un jeu sérieux qui traiterait exactement des mêmes préoccupations mais pour un type de décision différent dans le risque d'avalanche : doit-on envoyer des secours? Doit-on évacuer? Doit-on construire des protections? Rien ne s'oppose au fait d'imaginer un jeu sérieux qui traiterait de décisions sur des risques différents, par exemple, le risque inondation : doit-on évacuer les zones habitées? Doit-on confiner la population? Des types de décision plus éloignés encore de ces thématiques pourraient être étudiés et concerner par exemple des risques sanitaires, des enjeux militaires, des stratégies politiques, etc. Le principe général d'utili-

6.2. UNE DÉMARCHE DE CONCEPTION BASÉE SUR LA COMBINAISON DE PROFILS UML POUR CONCEVOIR DES JEUX SÉRIEUX DÉDIÉS À LA CAPTURE DE LA TRAÇABILITÉ DES PROCESSUS DE DÉCISION

sation des profils UML permet aussi d'envisager l'utilisation conjointe de profil UML qui serait mis à disposition par ailleurs, par exemple, un profil UML pour gérer des données spatio-temporelles.

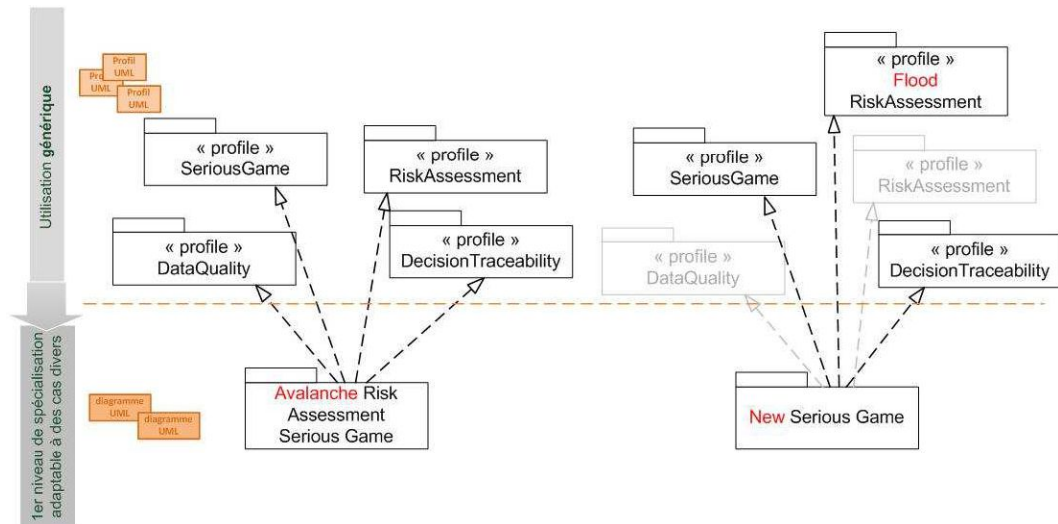


FIGURE 6.8 – Flexibilité d'utilisation des profils UML

Dans notre démarche méthodologique, nous définissons que deux profils sont essentiels. Le premier est un profil UML dédié à la conception de la mécanique du jeu sérieux et le second est un profil dédié à la traçabilité du processus de décision. Nous définissons que des profils complémentaires puissent être utilisés selon les besoins spécifiques des concepteurs. Il s'agit d'un profil UML dédié à l'évaluation du risque d'avalanche et d'un profil UML dédié à la prise en compte de l'imperfection des données impliquées dans le processus de décision. Ces quatre profils sont présentés dans la section (Sec.6.3). Cette approche n'interfère en rien avec toute autre étape ou méthode de gestion de projet que les concepteurs jugeraient utiles et complémentaires (analyse de faisabilité, approche agile, etc.) Notre démarche propose cinq étapes dont une est optionnelle, elles sont présentées dans le tableau (Tab. 6.9) et détaillées ci-dessous. L'illustration (Fig. 6.10) indique différents outils qu'il est possible d'utiliser pour mettre en œuvre la démarche.

Étape 1 : Définir les exigences du jeu sérieux.

L'objectif est d'établir une liste d'exigences décrivant le jeu sérieux attendu. La seule finalité attendue est que le jeu sérieux étudie un processus de décision. La proposition apporte des solutions à quatre orientations du projet de conception selon les choix opérés :

- Sur les mécanismes du jeu sérieux : Quel mode de jeu est souhaité? Solo ou multijoueur? Quelles sont les règles internes? Quelles sont les règles pour terminer le jeu? Quelles sont les ressources ludiques requises? (dés, cartes, animateur de jeu, etc.);
- Sur la nécessité de capturer les processus de décision : Quelles décisions doivent être suivies dans le jeu? Comment décrire ces décisions? Quels sont les données à tracer pour décrire ces décisions?
- Sur le thème de jeu : Quel est le domaine abordé par les processus de décision? Est-ce que le processus de décision repose sur une analyse de risque? Quel type d'informations est impliqué dans le processus? Comment le contexte de décision peut-il être évalué? Quels critères d'évaluation sont pertinents?

Etape de la démarche		Objectif de l'étape	Produits de l'étape
1	Définir les exigences du système	L'objectif est d'établir les exigences d'un jeu sérieux (type de jeu, type de mécanique du jeu, type de décisions traitées par le jeu, en choisissant de prendre en compte l'imperfection des données ou non et la manière dont les données interviennent dans le jeu etc.)	Liste des exigences du jeu sérieux
2	Sélectionner les profils UML pertinents	L'objectif est de mettre en correspondance les profils UML et les exigences du futur jeu afin de sélectionner les profils utiles et d'identifier, le cas échéant, les éléments manquants.	<ul style="list-style-type: none"> Liste des profils UML utiles Liste des éléments manquants et des compléments à réaliser sur les profils le cas échéant
<i>Etape optionnelle</i>			
2'	Étendre un ou plusieurs profils UML existants	Si nécessaire, les <u>métaclasses</u> UML existantes sont étendues avec de nouveaux stéréotypes, contraintes et valeurs étiquetées. L'objectif est d'enrichir les profils UML avec chaque nouveau besoin qui a trait à l'étude d'un nouveau processus de décision.	Enrichissement des profils UML pour élargir les possibilités d'utilisation pour des futurs développements (nouvelle approche de la prise en compte de l'imperfection des données, nouveau type de processus de décision étudié)
3	Créer un modèle basé sur les profils UML	L'objectif est de sélectionner les stéréotypes qui seront utilisés et d'élaborer les diagrammes de classes en cohérence. Les notations et sémantiques proposées par les profils guident la modélisation. Les diagrammes de classe peuvent aussi être complétés avec des besoins trop spécifiques et/ou sans ambitions de réutilisation générique.	Une proposition de diagramme UML de jeu sérieux.
4	Créer un modèle logique de données et générer une structure de données	L'objectif est de réaliser des choix de transfert du diagramme UML au modèle logique de données et de générer une structure de données qui réponde aux attentes d'analyse des données collectées par le jeu sérieux.	<ul style="list-style-type: none"> Un modèle logique de données Un script SQL qui inclut les instructions de définition

FIGURE 6.9 – Étapes de la démarche de conception basée sur l'utilisation de profils UML

- Sur la volonté de prendre en compte l'imperfection des données et la fiabilité des sources de ces données. Est-ce nécessaire? Quel(s) mode(s) d'évaluation de l'imperfection des données et de la fiabilité des sources?

Étape 2 : Sélectionner les profils UML pertinents.

L'objectif de cette étape est d'établir non seulement une liste de profils UML utiles et les stéréotypes associés (le cas échéant réduire la liste de ceux nécessaires) mais également une liste d'éléments manquants. Ces éléments manquants peuvent être récupérés dans des profils UML mis à disposition dans d'autres projets ouverts ou peuvent être développés pour compléter les profils de notre proposition.

Au cours de cette étape, le concepteur sélectionne les stéréotypes qu'il souhaite utiliser dans les deux principaux profils UML que nous proposons. Il doit faire des choix en termes de conception de

mécanique de jeu sérieux et de niveau souhaité de traçabilité des processus de décision. Nos profils, spécialement dédiés, à la conception de jeux sérieux et leur traçabilité fournissent un cadre uniforme et générique pour les jeux de type simulation et leur traçabilité. Nous proposons également un profil dédié à l'évaluation du risque d'avalanche et un profil dédié à la prise en compte de la qualité des informations. Ces profils sont à utiliser en fonction des besoins. Ils mettent en perspective la conception de jeux sérieux qui traitent de processus de décision qui s'appuient sur des raisonnements expert avalanche en prenant en compte l'imperfection des données impliquées dans le processus et leur fiabilité des sources.

Étape 2' : Utiliser et étendre d'autres profils UML existants (étape optionnelle).

D'autres profils UML existants par ailleurs peuvent être combinés pour traiter d'autres problèmes connexes : informations géoréférencées [Pinet, 2012], typologies d'incertitude des données [Xiao et al., 2008] ou des mécanismes de jeu alternatifs (par exemple, un jeu de cartes et un jeu de plateau [Altunbay et al., 2009]). Ces exemples de fonctionnalité peuvent venir compléter l'utilisation de notre profil de jeu sérieux. Si les profils UML répondent insuffisamment aux préoccupations du concepteur et s'il considère que ses besoins peuvent être génériques et réutilisables à d'autres cas de figure, il peut ainsi enrichir les profils proposés avec de nouveaux stéréotypes.

Étape 3 : Créer des modèles basés sur des profils UML sélectionnés.

L'objectif de cette étape est d'élaborer des modèles de données indépendants de toute plateforme informatique cible. Une fois que les exigences de jeu ont été précisées, les profils et les stéréotypes choisis, le concepteur de jeu crée les diagrammes de classes qui décrivent le jeu sérieux en s'appuyant sur les profils et en ajoutant tout complément nécessaire à ses propres besoins.

Étape 4 : Générer le modèle.

Lors de cette dernière étape, l'objectif est avant tout d'implémenter une structure de données. Dans cette phase, les choix techniques pour l'accessibilité des données collectées par les jeux sérieux sont réalisés à partir des propositions du [diagramme de classes](#). La traçabilité autour des processus de décision révélés par le jeu peut être stockée de différentes manières en fonction des outils de travail des futurs analystes de données. Dans le monde de la recherche, des formats bruts de données peuvent être intéressants : des fichiers XML, des fichiers HDF5 mais aussi des structures relationnelles plus complexes aussi sous forme de base de données notamment. Par ailleurs, le diagramme de classes peut également être utilisé pour des générations de code plus avancées et orientées vers la manipulation directe des données (par exemple, Java ou Python).

6.2.2 Détails sur le principe d'utilisation des stéréotypes de profils UML

Cette section présente le principe d'utilisation des mécanismes de profils UML.

Une illustration du mécanisme de conception, que nous utilisons, basé sur les profils UML est présentée sur la figure (Fig. 6.11). Les jeux sérieux sont modélisés avec des notions de joueurs, d'équipe et d'évaluation de tours de jeu. C'est une version simplifiée des propositions de profils qui seront présentés par la suite.

Les trois niveaux M0, M1 et M2 proposés par le MOF de l'OMG et les transformations entre eux sont matérialisés avec de grandes étapes sur la figure. Le plus haut niveau d'abstraction est suggéré grâce

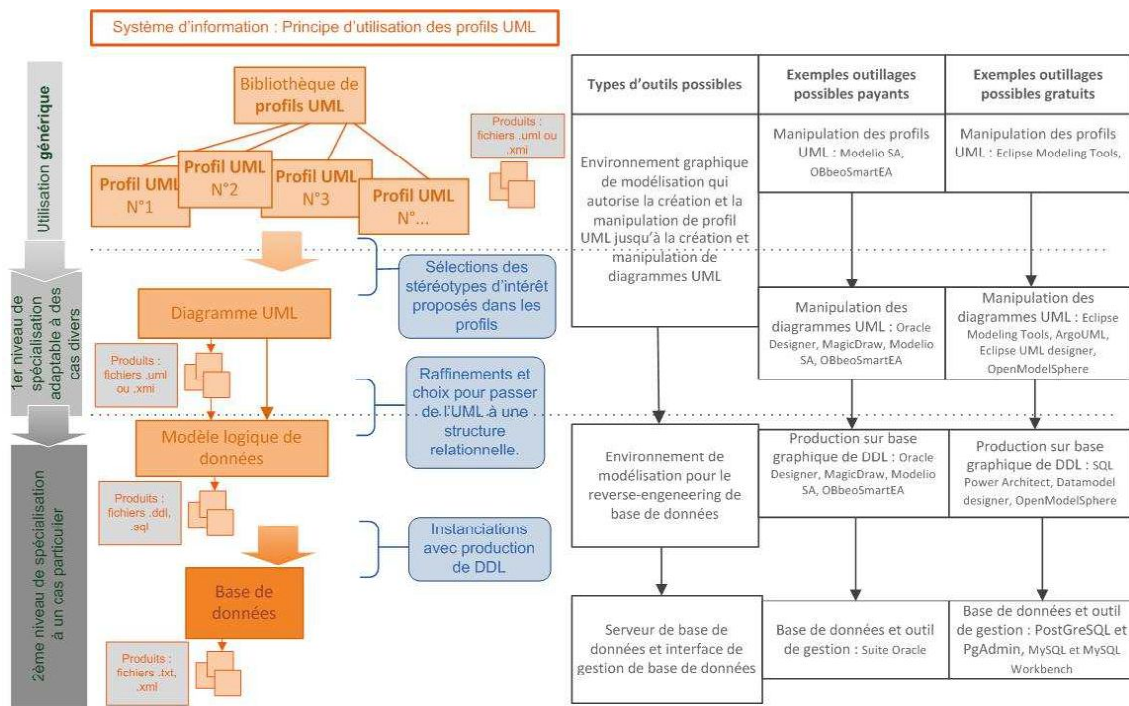


FIGURE 6.10 – Environnements applicatifs possibles pour utiliser la démarche de conception.

à des étiquettes qui apparaissent sur le premier niveau représenté, *MtcC* et *MtcA*. Pour chaque objet défini à ce niveau nous avons indiqué quels étaient les objets d'origine empruntés au standard. Ainsi, chaque stéréotype porte soit l'étiquette *MtcC* soit l'étiquette *MtcA*. *MtcC* signifie *Métaclasse Class* et indique que le stéréotype qui la porte est dédié à modéliser des classes d'objets. *MtcA* signifie *Métaclasse Association* et indique que le stéréotype qui la porte est dédié à modéliser des associations entre les classes d'objets. En d'autres termes, nous indiquons que nous souhaitons utiliser des classes et des associations pour nos modélisations dans le niveau inférieur où elles seront spécialisées.

Le premier niveau, appelé niveau M2, comprend donc la proposition la plus générique - elle présente les profils UML et des stéréotypes. Le principe d'utilisation des stéréotypes est de pouvoir indiquer quels sont les objets proposés par le standard qui vont être utiles. Ici, établir les stéréotypes permet de dire que certaines classes et relations entre elles sont importantes et que l'on souhaite définir un cadre pour pouvoir les modéliser. Dans le cas illustré, sont définis :

- Un stéréotype d'association *StA_RealiserAction* qui indique une association importante entre des classes qui porteront les stéréotypes de classe *StC_PersonnageJoueur*, *StC_EquipeDeJeu* et *StC_Action*;
- Un stéréotype d'association *StA_Declencher* qui indique une association importante entre des classes qui porteront les stéréotypes de classe *StC_Action* et *StC EtatTourJeu*;
- Un stéréotype d'association *StA_ChangerEtat* qui indique une relation particulière autour de la classe qui porte le stéréotype de classe *StC_EtatTourJeu*;
- Un stéréotype de classe *StC_Action*, généralisation d'un autre stéréotype de classe *StC_ActionEvaluation*.

Le second niveau s'appuie donc sur la proposition faite par le précédent niveau. Il est alors possible d'établir un diagramme de classes qui respecte les "règles" établies par le précédent niveau. Dans le cas illustré, les stéréotypes suivants sont définis :

6.2. UNE DÉMARCHE DE CONCEPTION BASÉE SUR LA COMBINAISON DE PROFILS UML POUR CONCEVOIR DES JEUX SÉRIEUX DÉDIÉS À LA CAPTURE DE LA TRAÇABILITÉ DES PROCESSUS DE DÉCISION

- Trois classes *Joueur*, *Equipe* et *Evaluation* respectivement stéréotypées avec *StC_Personnage-Joueur*, *StC_EquipeDeJeu* et *StC_ActionEvaluation* (utilisation de la spécialisation du stéréotype *StC_Action*). Le stéréotype d'association *StA_RealiserAction* est utilisé pour définir les relations entre ces classes;
- Une association stéréotypée *StA_Declencheur* qui permet de fixer la relation entre les classes *StC_Evaluation* et *StC_EtatTour*;
- Une classe *StC_EtatTour* stéréotypée avec *StC_EtatTourJeu*. L'utilisation du stéréotype d'association *StA_ChangerEtat* sur cette classe permet de proposer une relation précédent/suivant avec les objets issus de cette classe.

Le dernier niveau est une proposition de structuration des données issue du diagramme UML établi au niveau précédent. Ce diagramme UML impose des contraintes au modèle de données logiques qui en découle, néanmoins des choix doivent être réalisés pour le passage de l'un à l'autre. Dans le modèle relationnel, sont définis :

- Quatre tables JOUEUR, EQUIPE, EVALUATION et ETAT_TOUR avec une seule propriété pour clé primaire;
- Une table TRACE_EVALUATION qui permet de tracer les relations entre les précédentes tables citées. Un tuple enregistré la table TRACE_EVALUATION permet d'indiquer qu'un joueur (*IdJoueur*), d'une équipe (*IdEquipe*) produit une évaluation (*IdEvaluation*) pour un tour de jeu (*IdEtatTour*), la valeur de cette évaluation est enregistrée dans la propriété *ValeurEvaluation*. Si c'est une évaluation d'équipe alors un booléen permet de l'indiquer dans la propriété *EstEvaluationEquipe*;
- La table TRACE_ETAT_TOUR permet d'enregistrer les tours de jeu qui se succèdent, en sauvegardant un tour de jeu (*IdEtatTour*) et son suivant (*IdEtatTour*).

Synthèse section 6.2

Notre proposition de démarche a pour objectif de soutenir la conception de jeux sérieux dédiés à l'étude des processus de décision.

Elle a deux finalités. La première est immédiate et vise une structuration des données collectées par les jeux sérieux conçue pour l'étude d'un processus de décision spécifique. La seconde correspond à un pas de temps plus éloigné, elle ambitionne plus généralement la collecte de données et l'analyse de plusieurs processus de décision.

La proposition est basée sur le standard MOF de l'OMG. Elle suggère l'utilisation d'un haut niveau d'abstraction des concepts étudiés, pour pouvoir les réutiliser, avec la mise à disposition de profils UML. Quatre profils sont proposés et décrits dans la section suivante (dont deux sont essentiels) : (1) un profil pour définir **une mécanique de jeu sérieux**, (2) un profil pour définir la **traçabilité des processus de décision** attendue, (3) un profil pour prendre en compte l'imperfection des données, (4) un profil pour que le processus de décision étudié puisse intégrer une référence à un raisonnement expert.

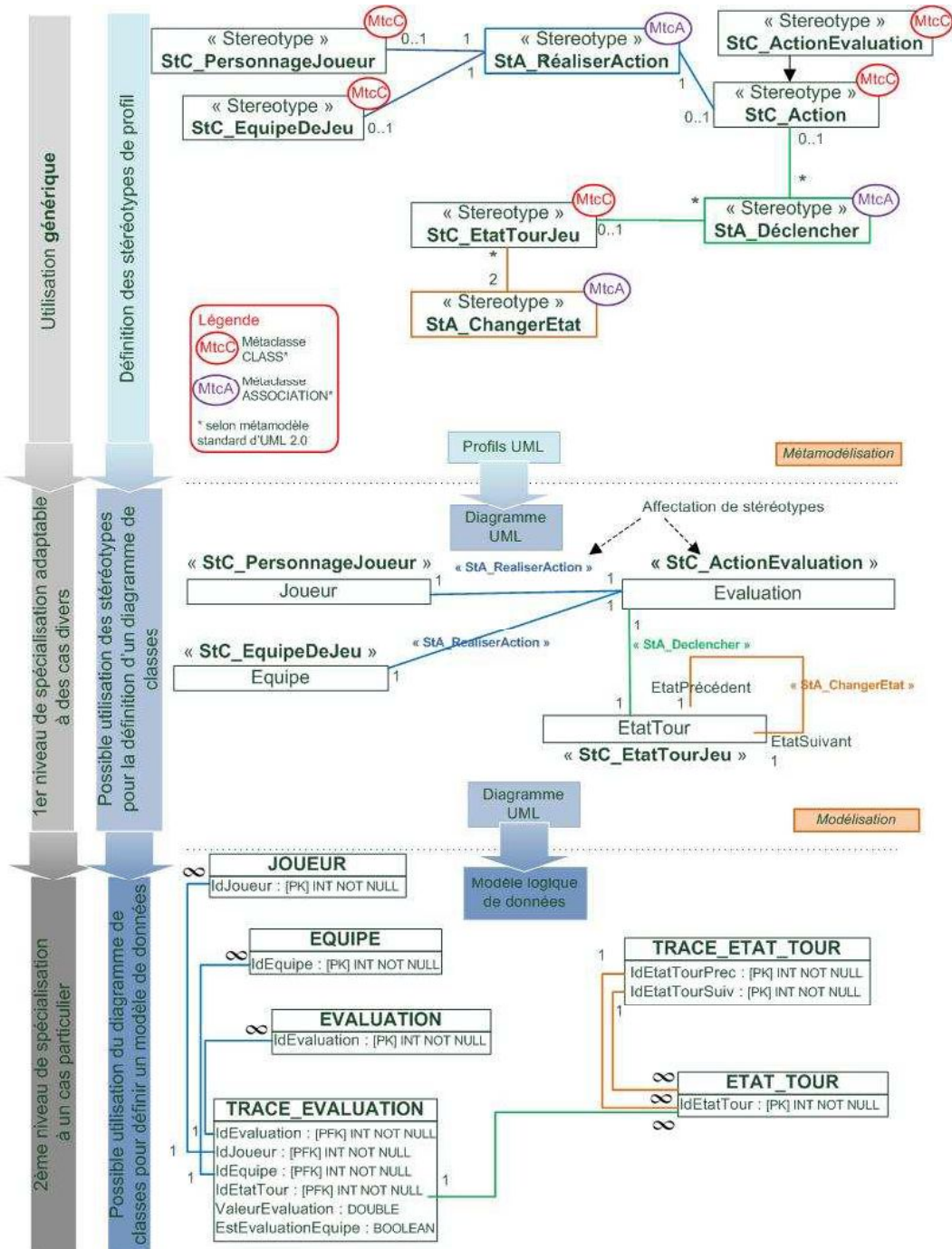


FIGURE 6.11 – Zoom sur le principe d'utilisation stéréotypes dans les profils UML

6.3 Présentation des profils UML

Notre approche est basée sur le mécanisme de profil UML détaillé précédemment. Cette section présente les profils UML mis à disposition pour soutenir la démarche de conception. Un profil UML est défini pour un objectif à modéliser :

- Un profil UML pour concevoir un jeu sérieux avec une mécanique de type au tour par tour (Sec. 6.3.1);
- Un profil UML pour prendre en compte les besoins de traçabilité des processus de décision (Sec. 6.3.2);
- Un profil UML pour que le processus de décision étudié puisse s'appuyer sur un raisonnement expert (Sec. 6.3.3);
- Un profil UML pour prendre en compte l'imperfection des données impliquées dans un processus de décision et le niveau de fiabilité des sources dont elles proviennent (Sec.6.3.3).

6.3.1 Un profil UML dédié à la conception des jeux sérieux

Dans la littérature, aucun profil ne permettait de modéliser de façon suffisamment complète et intégrée, le type de jeux que nous considérons (au tour par tour et adaptés à notre domaine d'application). Nous proposons donc le profil ci-dessous, en intégrant dans un seul profil, différents concepts de la littérature.

Nous utilisons les catégories descriptives des composants d'un jeu proposées par [Holopainen, 2011] pour organiser la présentation du profil UML dédié à la conception de la mécanique d'un jeu sérieux :

- *Composants holistiques du jeu* : ces stéréotypes décrivent les grands composants du jeu. Ils sont représentés sur la figure (Fig. 6.12) et décrits dans le tableau (Tab. 6.1);
- *Composants de cadrage du jeu* : ces stéréotypes organisent les opérations du jeu en précisant les limites, c'est-à-dire les objectifs, les règles et les étapes du jeu. Ils sont représentés sur la figure (Fig. 6.12) et décrits dans le tableau (Tab. 6.2);
- *Composants temporels* : ces stéréotypes rythment le jeu, tels que des événements ou des actions. Ils sont représentés sur la figure (Fig. 6.13) et décrits dans le tableau (Tab. 6.3);
- *Composants structurels* : ces stéréotypes physiques du jeu ont un rôle défini (dés, cartes et animateurs). Ils sont représentés sur la figure (Fig. 6.13) et décrits dans les tableaux (Tab. 6.4) et (Tab. 6.5).

Stéréotypes pour décrire les composants holistiques et de cadrage des jeux sérieux

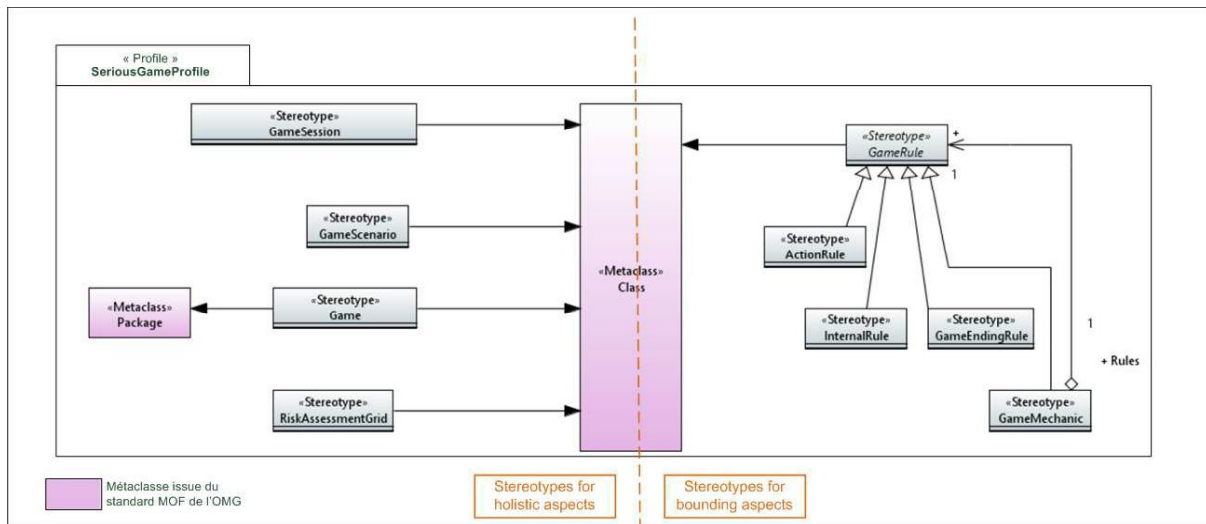


FIGURE 6.12 – Stéréotypes pour décrire les composants holistiques et les composants de cadrage des jeux sérieux du profil UML pour la conception des jeux sérieux.

Nom de stéréotype : Game								
Métaclasses	Package	Généralisation	Non	Abstrait	Non	Obligatoire	Oui	
Nom de stéréotype : GameScenario								
Métaclasses	Class	Généralisation	Non	Abstrait	Non	Obligatoire	Oui	
Nom de stéréotype : GameSession								
Métaclasses	Class	Généralisation	Non	Abstrait	Non	Obligatoire	Oui	
Nom de stéréotype : RiskAssessmentGrid								
Métaclasses	Class	Généralisation	Non	Abstrait	Non	Obligatoire	Oui	
Description								
Le stéréotype de package Game contient toutes les fonctionnalités et tous les composants du jeu sérieux. Un jeu sérieux propose plusieurs scénarios de jeu (stéréotype GameScenario), mais se produit selon un seul scénario de jeu au cours d'une session (stéréotype GameSession). Une session est instanciée chaque fois qu'une partie est jouée et contient l'équipe de joueurs. Le thème du serious game est basé sur un raisonnement de référence proposé par un groupe d'experts. RiskAssessmentGrid est un stéréotype commun à ce profil et au profil décrit dans la section (Sec. 6.3.3). Il sera décrit plus en détail dans les sections suivantes.								

TABLEAU 6.1 – Descriptif des stéréotypes holistiques du profil UML dédié au jeu sérieux.

6.3. PRÉSENTATION DES PROFILS UML

Nom de stéréotype : GameMechanic							
Métaclasse	Class	Généralisation	Non	Abstrait	Non	Obligatoire	Oui
Nom de stéréotype : ActionRule							
Métaclasse	Class	Généralisation	Non	Abstrait	Non	Obligatoire	Non
Nom de stéréotype : InternalRule							
Métaclasse	Class	Généralisation	Non	Abstrait	Non	Obligatoire	Non
Nom de stéréotype : GameEndingRule							
Métaclasse	Class	Généralisation	Non	Abstrait	Non	Obligatoire	Non
Nom de stéréotype : GameRule							
Métaclasse	Class	Généralisation	Oui	Abstrait	Oui	Obligatoire	Non
Description							
<p>Les deux stéréotypes GameMechanic et GameRule permettent de décrire le fonctionnement d'un jeu par ses règles, comme détaillé dans [Thompson et al., 2007]. Le stéréotype GameMechanic décrit le jeu comme un ensemble de types de règles imbriquées, stéréotype GameRule. Le principe du stéréotype GameRule est adapté du métamodèle de règles de jeu proposé dans [Montero Reyno and Cubel Carsi, 2009].</p> <p>Les règles peuvent être classées selon différents types :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Stéréotype ActionRule : règles et contraintes sur les actions des joueurs et les mécanismes de jeu (exemple : les joueurs ne peuvent pas demander de nouvelles informations s'ils n'ont pas terminé l'évaluation des informations précédentes) ; • Stéréotype InternalRule : règles du système interne au jeu (exemple : délai à ne pas dépasser pour rendre son évaluation) ; • Stéréotype GameEndingRule : règles qui établissent les conditions de fin de jeu (exemple : lorsque le joueur tire une carte indiquant que l'avalanche est tombée). 							

TABLEAU 6.2 – Descriptif des stéréotypes de cadrage du profil UML dédié au jeu sérieux.

Stéréotypes pour décrire les composants structurels et temporels des jeux sérieux

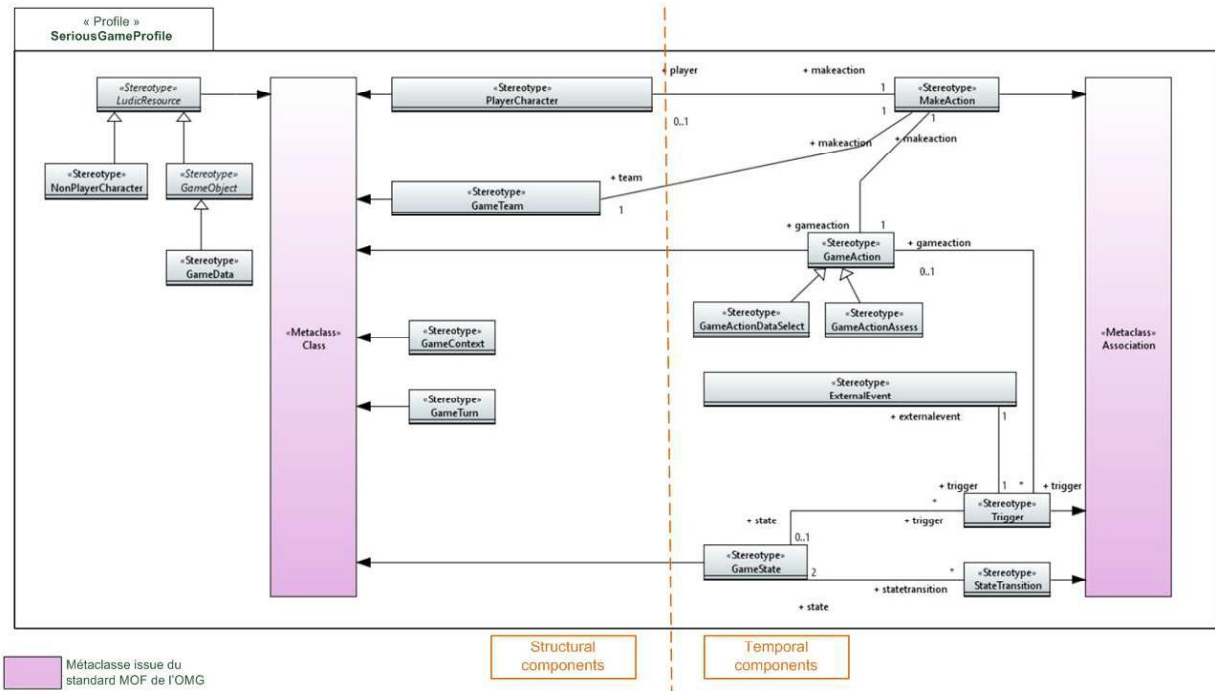


FIGURE 6.13 – Stéréotypes pour décrire les composants structurels et temporels des jeux sérieux du profil UML pour la conception des jeux sérieux.

6.3. PRÉSENTATION DES PROFILS UML

Nom de stéréotype : GameTeam							
Métaclasse	Class	Généralisation	Non	Abstrait	Non	Obligatoire	Oui
Nom de stéréotype : PlayerCharacter							
Métaclasse	Class	Généralisation	Non	Abstrait	Non	Obligatoire	Non
Valeurs étiquetées							
Nom	Type	Multiplicité	Description				
responsibleForDecision	Boolean	1	Unique décideur				
Nom de stéréotype : NonPlayerCharacter							
Métaclasse	Class	Généralisation	Non	Abstrait	Non	Obligatoire	Non
Nom de stéréotype : LudicRessource							
Métaclasse	Class	Généralisation	Non	Abstrait	Oui	Obligatoire	Non
Nom de stéréotype : GameObject							
Métaclasse	Class	Généralisation	Oui	Abstrait	Oui	Obligatoire	Non
Nom de stéréotype : GameData							
Métaclasse	Class	Généralisation	Oui	Abstrait	Oui	Obligatoire	Non
Nom de stéréotype : NonPlayerCharacter							
Métaclasse	Class	Généralisation	Non	Abstrait	Non	Obligatoire	Non
Description							
<p>Le stéréotype PlayerCharacter, inspiré du travail de [Montero Reyno and Cubel Carsi, 2009], décrit les catégories de joueurs impliqués dans le jeu. Dans le contexte d'un jeu de simulation de crise, les joueurs peuvent être des experts, des élus et des membres des services opérationnels. Ces joueurs sont regroupés dans une équipe de jeu, stéréotype GameTeam qui peut d'effectuer des actions en équipe. Plusieurs équipes peuvent également jouer à un jeu.</p> <p>Le stéréotype NonPlayerCharacter, inspiré du travail de [Montero Reyno and Cubel Carsi, 2009], contient les différents types de ressources "humaines" du jeu autres que les joueurs, tels que le maître du jeu par exemple.</p> <p>Le stéréotype LudicResource, inspiré de [Aouadi et al., 2016], décrit les entités "physiques" du jeu, externes aux joueurs. Ce stéréotype peut être spécialisé par le stéréotype GameObject ou le stéréotype NonPlayerCharacter.</p> <p>Le stéréotype GameObject est spécialisé en fonction des besoins (cartes, dés, etc.) utilisés pendant le jeu, utilisé comme dans [Aouadi et al., 2016]. Dans la réalité, ces objets déclenchent une information pour les joueurs, par exemple, un jet de dé ou un tirage de cartes. C'est pourquoi, le stéréotype GameData est une spécialisation du stéréotype GameObject.</p>							

TABEAU 6.3 – Descriptif des stéréotypes structurels du profil UML dédié au jeu sérieux.

Description
<p>Pendant le jeu, les stéréotypes d'association Trigger agissent comme des déclencheurs classiques. Les associations de déclencheurs permettent de changer les états du jeu (stéréotype GameState), en réponse à des actions (stéréotype GameAction) ou à des événements externes (stéréotype ExternalEvent). Chaque association (stéréotypée Trigger) est ordonnée (c'est-à-dire orientée) pour garder le lien entre un déclencheur (stéréotype GameAction, ExternalEvent ou GameState) à l'entité déclenchée (stéréotype GameAction ou ExternalEvent).</p>
<p>* stéréotype GameContext décrit dans le profil dédié (Sec. 6.3.2)</p>

TABLEAU 6.5 – (Suite) Descriptif des stéréotypes temporels du profil UML dédié au jeu sérieux.

Dans le type de jeux sérieux que nous modélisons (jeu de type simulation), plusieurs tours de jeu sont nécessaires. Chaque tour de jeu manipule plusieurs contextes de jeu et chaque nouveau contexte de jeu intègre une seule nouvelle information par rapport au contexte de jeu précédent. Les joueurs évaluent chaque nouveau contexte de jeu et donc l'arrivée de chaque information dans le jeu. Ainsi, le processus de décision est modélisé comme une succession d'évaluation de contexte de jeu par les joueurs.

Dans les profils UML, comme illustré sur la figure (Fig.6.14), lorsqu'un stéréotype, nommé StA, étend la métaclasse UML "Association" et lie deux stéréotypes, nommés respectivement StC_1 et StC_2, qui étendent la métaclasse UML "Class", le stéréotype StA peut être utilisé, au niveau de modélisation M1, sur une association qui lie les classes qui portent les stéréotypes StC_1 et StC_2. Le stéréotype sur cette association contraint alors l'association selon ses propres règles mais ce n'est pas obligatoire de l'utiliser entre les deux classes. Quand une association A lie directement les deux stéréotypes StC_1 et StC_2 au niveau de métamodélisation M2, les classes qui portent ces stéréotypes, au niveau de modélisation M1, peuvent être liées par l'association A, qui aura une sémantique équivalente à celle de l'association A au niveau de métamodélisation M2.

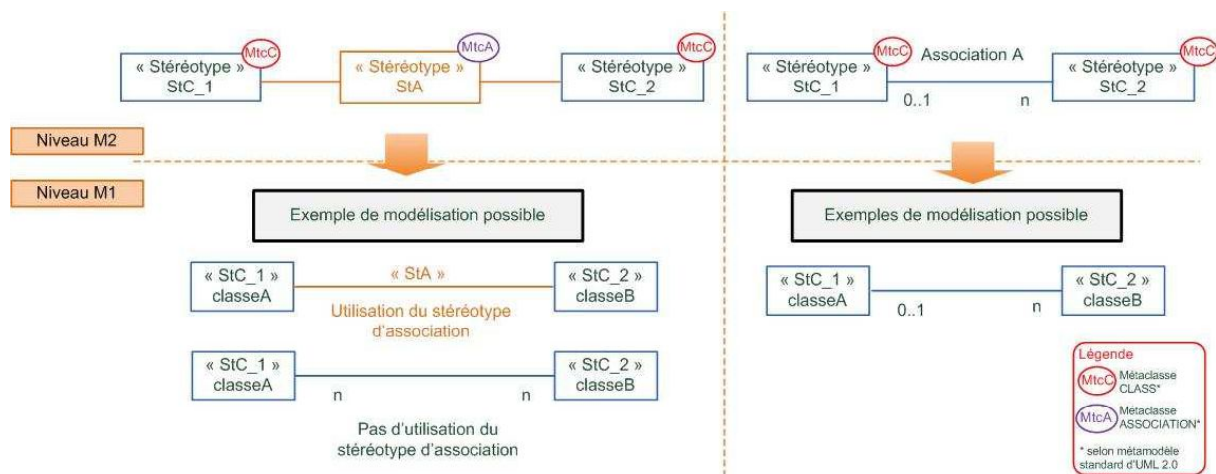


FIGURE 6.14 – Utilisation des associations (stéréotypées ou non) présentes dans les métamodèles.

6.3.2 Un profil UML dédié à la traçabilité du processus de décision

Cette section présente le profil UML dédié à la traçabilité d'un processus de décision (Fig. 6.15), (Tab. 6.9).

Ce profil UML permet de modéliser le processus de décision comme une série ordonnée d'évaluations, chaque évaluation est établie en réponse à un contexte précis. Un contexte est défini à un instant donné par un ensemble d'informations et évolue au cours des tours de jeu. L'arrivée, dans le jeu, d'une nouvelle information modifie le contexte à cet instant. On considère alors que le contexte de jeu a été modifié, ce n'est plus exactement le même. C'est un nouveau contexte de jeu qui prend place et qui doit être évalué. De façon schématique, un contexte de jeu est donc composé du précédent contexte de jeu et d'une nouvelle information. L'objectif est de retracer, au fur et à mesure de la progression du jeu, les évaluations effectuées en réponse à chaque modification de contexte et cela tout au long du processus de décision.

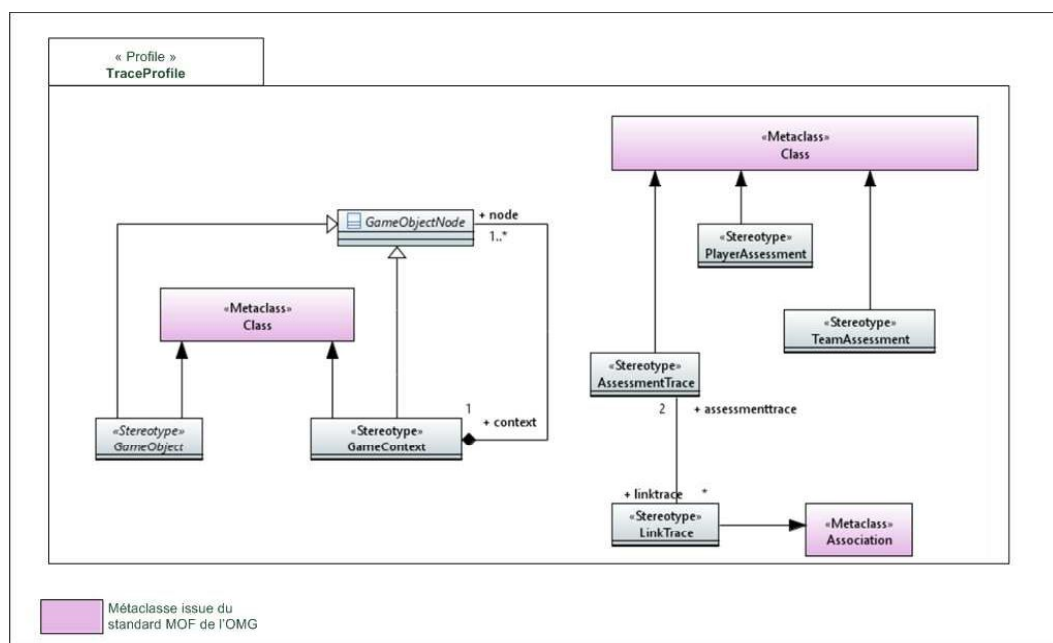


FIGURE 6.15 – Stéréotypes du profil UML dédié la traçabilité du processus de décision.

6.3.3 Un profil UML dédié à l'évaluation d'un risque

Cette section présente le profil UML dédié à l'évaluation d'un risque (Fig. 6.16), (Tab. 6.7), (Tab. 6.8). Le profil UML dédié à l'évaluation d'un risque est conçu de façon assez générique pour pouvoir traiter de différents risques naturels. Initialement, inspiré par la modélisation d'une analyse de risque d'avalanche, il propose une représentation simplifiée d'une évaluation d'un risque par un expert basée sur des critères d'évaluation et deux manières d'évaluer ces critères : une approche qualitative et une approche quantitative.

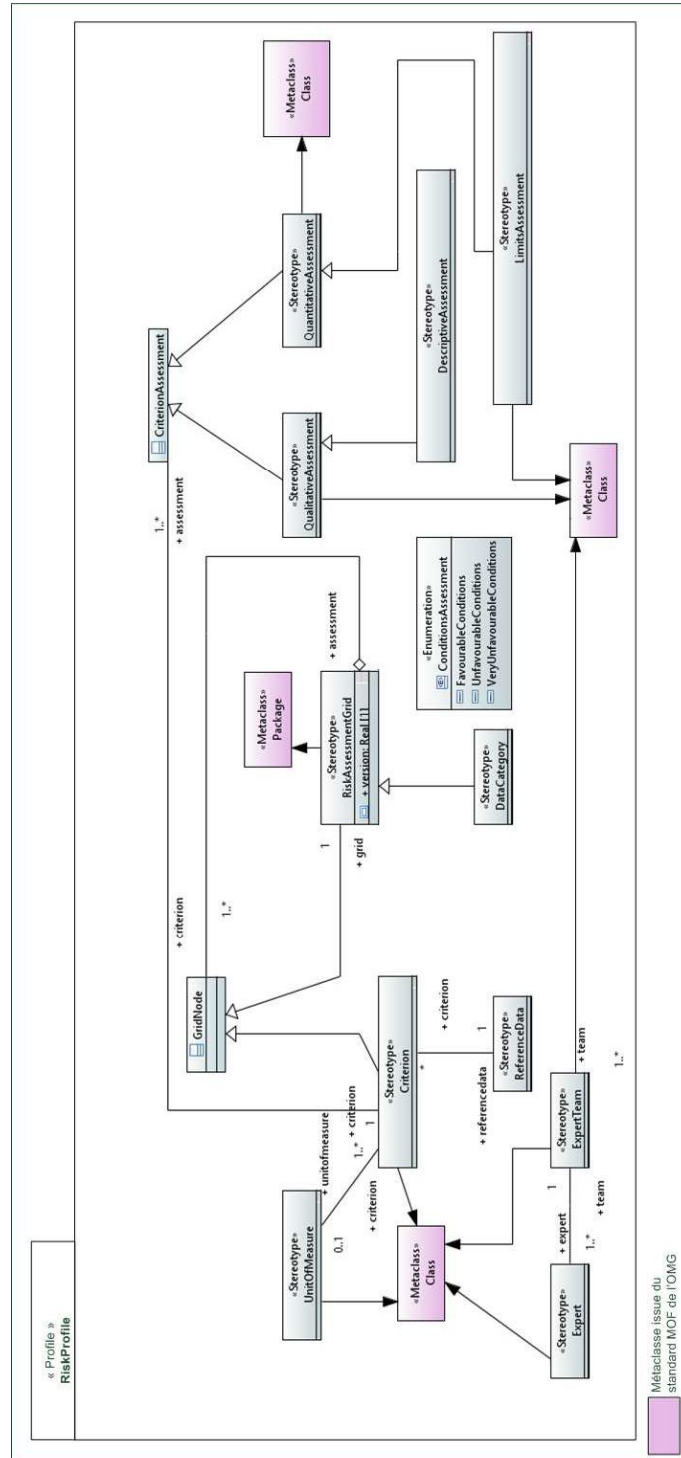


FIGURE 6.16 – Stéréotypes du profil UML dédié à l'évaluation d'un risque.

Nom de stéréotype : GameState							
Métaclasse	Class	Généralisation	Non	Abstrait	Non	Obligatoire	Non
Nom de stéréotype : GameTurn							
Métaclasse	Class	Généralisation	Non	Abstrait	Non	Obligatoire	Non
Nom de stéréotype : ExternalEvent							
Métaclasse	Class	Généralisation	Non	Abstrait	Non	Obligatoire	Non
Valeurs étiquetées							
Nom	Type		Multiplicité		Description		
timeInterruption	Integer		1		Temps fin de jeu		
Nom de stéréotype : NonPlayerCharacter							
Métaclasse	Class	Généralisation	Non	Abstrait	Non	Obligatoire	Non
Nom de stéréotype : GameContext							
Métaclasse	Class	Généralisation	Non	Abstrait	Non	Obligatoire	Non
Nom de stéréotype : StateTransition							
Métaclasse	Association	Généralisation	Non	Abstrait	Non	Obligatoire	Non
Nom de stéréotype : GameAction							
Métaclasse	Class	Généralisation	Oui	Abstrait	Non	Obligatoire	Non
Nom de stéréotype : GameActionAssess							
Métaclasse	Class	Généralisation	Non	Abstrait	Non	Obligatoire	Non
Nom de stéréotype : MakeAction							
Métaclasse	Association	Généralisation	Non	Abstrait	Non	Obligatoire	Non
Nom de stéréotype : Trigger							
Métaclasse	Association	Généralisation	Non	Abstrait	Non	Obligatoire	Non
Description							
<p>Une session (stéréotype GameSession) est instanciée au début de chaque partie de jeu. Une session est une série de tours de jeu (stéréotype GameTurn) au cours desquels le jeu peut présenter plusieurs états (stéréotype GameState). Les caractéristiques de ces états de jeu sont tracées (quelle action, quel joueur et quelle évaluation). Par exemple, un état peut être "En attente d'évaluation par les joueurs" ou "Sélection d'informations par le joueur". Les transitions d'un état du jeu à un autre sont causées par (1) des événements externes, stéréotype ExternalEvent; par exemple, l'intervention d'un personnage non joueur (déclenchée par un tirage carte de jeu) ou (2) par les actions des joueurs (stéréotype GameAction); par exemple, le joueur effectue une évaluation. Chaque tour de jeu (stéréotype GameTurn) est associé à un contexte de jeu (stéréotype GameContext)* contenant toutes les informations acquises par les joueurs à un moment donné. Le début d'un tour de jeu commence par la modification du contexte de jeu lorsque les joueurs acquièrent une nouvelle information. Le tour de jeu se termine par l'évaluation effectuée par les joueurs. Un contexte (stéréotype GameContext) est une collection d'éléments du jeu (stéréotype GameObject). Le stéréotype d'association StateTransition trace le passage d'un état à un autre (stéréotype GameState) au cours d'un tour de jeu (stéréotype GameTurn) et définit la traçabilité entre les états du jeu. Le stéréotype d'association MakeAction permet aux joueurs (stéréotype PlayerCharacter) ou aux non joueurs (stéréotype NonPlayerCharacter) du jeu d'effectuer différentes actions (stéréotype GameAction) sur des objets de jeu (stéréotype GameObject), par exemple "une carte de jeu". Un exemple de la spécialisation du stéréotype GameAction est le stéréotype GameActionAssess dédié à "évaluer" les actions. Une nouvelle spécialisation de ce stéréotype peut être proposée pour modéliser de nouveaux types d'actions et les capitaliser.</p>							

TABLEAU 6.4 – Descriptif des stéréotypes temporels du profil UML dédié au jeu sérieux.

Nom de stéréotype : AssessmentTrace							
Métaclasse	Class	Généralisation	Non	Abstrait	Non	Obligatoire	Non
Nom de stéréotype : GameContext							
Métaclasse	Class	Généralisation	Non	Abstrait	Non	Obligatoire	Oui
Nom de stéréotype : GameObject							
Métaclasse	Class	Généralisation	Non	Abstrait	Oui	Obligatoire	Non
Nom de stéréotype : GameObjectNode							
Métaclasse	Class	Généralisation	Non	Abstrait	Oui	Obligatoire	Non
Nom de stéréotype : PlayerAssessment							
Métaclasse	Class	Généralisation	Non	Abstrait	Non	Obligatoire	Non
Nom de stéréotype : TeamAssessment							
Métaclasse	Class	Généralisation	Non	Abstrait	Non	Obligatoire	Non
Nom de stéréotype : LinkTrace							
Métaclasse	Association	Généralisation	Non	Abstrait	Non	Obligatoire	Non
Description							
<p>Le stéréotype AssessmentTrace regroupe et ordonne toutes les évaluations effectuées dans le jeu. Chaque trace est associée à un contexte de jeu (stéréotype GameContext) qui est un regroupement de données de jeu (stéréotype GameObject) à un moment donné. GameObject correspond à toutes les données associées aux objets du jeu (cartes, etc.), et en particulier à celles qui seront analysées par les joueurs (par exemple : une carte de jeu qui donne une nouvelle information).</p> <p>Le stéréotype de classe GameObjectNode permet de proposer un objet composite dans lequel un contexte d'information, stéréotype GameContext, peut être composé par d'autres contextes (dans notre cas les contextes précédents du jeu) et des objets, stéréotype GameObject.</p> <p>Chaque contexte, stéréotype GameContext, est évalué par un joueur (stéréotype PlayerAssessment) ou une équipe (stéréotype TeamAssessment). Toutes les évaluations sont stockées. Par exemple, deux joueurs peuvent évaluer la nécessité de fermer une route comme fortement recommandé sans souhaiter pour autant la faire fermer et un troisième joueur peut décider que la fermeture de la route est absolument nécessaire. L'évaluation conjointe prise par l'équipe peut consister à proposer de fermer la route malgré des avis qui s'opposent.</p> <p>Le stéréotype d'association LinkTrace trace le passage d'une évaluation à une autre (stéréotype AssessmentTrace) et garantit la traçabilité entre les évaluations et la décision finale du jeu.</p>							

TABLEAU 6.6 – Descriptif des stéréotypes du profil UML dédié à la traçabilité des décisions.

6.3. PRÉSENTATION DES PROFILS UML

Nom de stéréotype : RiskAssessmentGrid							
Métaclasse	Package	Généralisation	Oui	Abstrait	Non	Obligatoire	Non
Nom de stéréotype : DataCategory							
Métaclasse	Package	Généralisation	Non	Abstrait	Non	Obligatoire	Non
Nom de stéréotype : Expert							
Métaclasse	Class	Généralisation	Non	Abstrait	Non	Obligatoire	Oui
Nom de stéréotype : ExpertTeam							
Métaclasse	Class	Généralisation	Non	Abstrait	Non	Obligatoire	Non
Nom de stéréotype : Criterion							
Métaclasse	Class	Généralisation	Non	Abstrait	Non	Obligatoire	Non
Nom de stéréotype : GridNode							
Métaclasse	Class	Généralisation	Non	Abstrait	Non	Obligatoire	Non
Nom de stéréotype : UnitOfMeasure							
Métaclasse	Class	Généralisation	Non	Abstrait	Non	Obligatoire	Non
Nom de stéréotype : CriterionAssessment							
Métaclasse	Class	Généralisation	Non	Abstrait	Non	Obligatoire	Non
Nom de stéréotype : ConditionsAssessment							
Métaclasse	Enumeration	Généralisation	Non	Abstrait	Non	Obligatoire	Non
Nom de stéréotype : LimitsAssessment							
Métaclasse	Class	Généralisation	Non	Abstrait	Non	Obligatoire	Non
Nom de stéréotype : QualitativeAssessment							
Métaclasse	Class	Généralisation	Non	Abstrait	Non	Obligatoire	Non
Nom de stéréotype : QuantitativeAssessment							
Métaclasse	Class	Généralisation	Non	Abstrait	Non	Obligatoire	Non
Nom de stéréotype : DescriptiveAssessment							
Métaclasse	Class	Généralisation	Non	Abstrait	Non	Obligatoire	Non
Description							
<p>Le stéréotype de package RiskAssessmentGrid est un regroupement dans une structure de tous les éléments (critères, stéréotype Criterion et catégories, stéréotype DataCategory) contribuent à une évaluation des risques. Le stéréotype DataCategory propose une représentation plus fine qui permet d'organiser les critères d'évaluation en catégories. Par exemple, pour une évaluation du risque d'avalanche, une classe stéréotypée DataCategory peut être "Conditions météorologiques". Cette grille de critères d'évaluation des risques, stéréotype RiskAssessmentGrid, est proposée par une équipe, stéréotype ExpertTeam composée d'experts du domaine d'application, stéréotype Expert</p> <p>Le stéréotype Criterion est le plus petit élément pouvant stocker l'évaluation de l'information. Les informations réelles, stéréotype ReferenceData *, peuvent être soumises à plusieurs critères. Par exemple, un rapport sur la morphologie d'un site d'avalanche peut fournir des critères d'évaluation de la surface de la zone de départ du couloir d'avalanche et de sa pente moyenne. Le stéréotype UnitOfMeasure quant à lui permet le stockage des unités de mesure.</p>							

TABLEAU 6.7 – Descriptif des stéréotypes du profil UML dédié à l'évaluation du risque d'avalanche.

Description
<p>Le stéréotype CriterionAssessment peut être abordé de manière quantitative (stéréotype QuantitativeAssessment) ou qualitative (stéréotype QualitativeAssessment). Nous pouvons établir des bornes pour établir des catégories d'appréciation (favorable, défavorable et très défavorable). Par exemple, la quantité de neige tombée au cours des dernières 72 heures est évaluée quantitativement : un maximum de 50 cm est considéré comme favorable ; entre 50 cm et 100 cm la situation est considérée comme défavorable et au-dessus de 100 cm comme très défavorable. L'état de la couche fragile à l'intérieur du manteau neigeux est évalué de manière descriptive. Elles peut être possible ou avérée, localisée ou continue.</p> <p>Le stéréotype Énumération permet d'évaluer chaque critère comme "Favorable", "Défavorable" et "Très défavorable".</p> <p>* stéréotype ReferenceData décrit dans le profil dédié (Sec. 6.3.4)</p>

TABLEAU 6.8 – (Suite) Descriptif des stéréotypes du profil UML dédié à l'évaluation du risque d'avalanche.

6.3.4 Un profil UML dédié à la qualité des informations et la fiabilité des sources

Cette section présente le profil UML dédié à la qualité des informations et la fiabilité des sources (Fig. 6.17), (Tab. 6.9).

Des profils plus complexes pour gérer la qualité des données peuvent être développés pour d'autres applications. Dans le profil proposé, le niveau d'imperfection des informations est défini par trois caractéristiques : l'exactitude, la certitude et la précision. De façon plus globale la fiabilité de la source de donnée et la traçabilité de son origine sont prises en compte aussi.

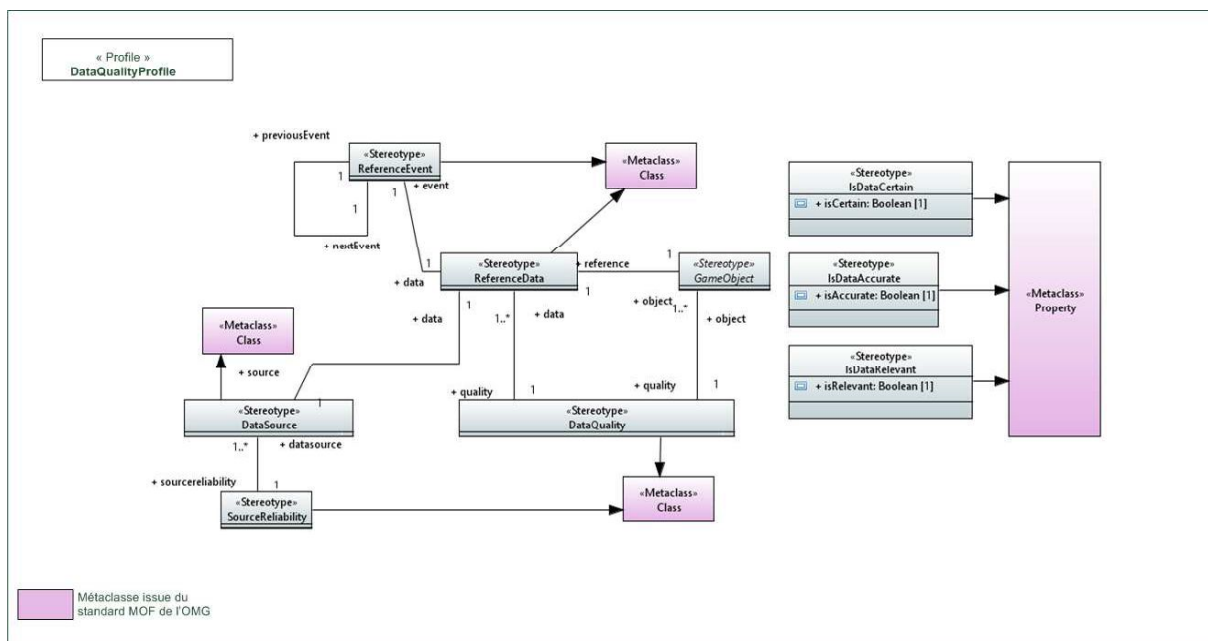


FIGURE 6.17 – Stéréotypes du profil UML dédié à l'imperfection des données et la fiabilité des sources.

6.3. PRÉSENTATION DES PROFILS UML

Nom de stéréotype : ReferenceEvent							
Métaclasse	Class	Généralisation	Non	Abstrait	Non	Obligatoire	Non
Nom de stéréotype : ReferenceData							
Métaclasse	Class	Généralisation	Non	Abstrait	Non	Obligatoire	Non
Nom de stéréotype : SourceData							
Métaclasse	Class	Généralisation	Non	Abstrait	Non	Obligatoire	Oui
Valeurs étiquetées							
Nom	Type	Multiplicité	Description				
fiability	String	1	Description fiabilité				
fiabilityCoefficient	Real	1	Coefficient fiabilité				
name	String	1	Nom				
Nom de stéréotype : DataQuality							
Métaclasse	Class	Généralisation	Non	Abstrait	Non	Obligatoire	Oui
Valeurs étiquetées							
Nom	Type	Multiplicité	Description				
isDataCertain	Boolean	1	Certitude donnée				
isDataAccurate	Boolean	1	Précision donnée				
isDataRelevant	Boolean	1	Exactitude donnée				
Nom de stéréotype : SourceReliability							
Métaclasse	Class	Généralisation	Non	Abstrait	Non	Obligatoire	Non
Nom de stéréotype : GameObject							
Métaclasse	Class	Généralisation	Non	Abstrait	Non	Obligatoire	Non
Description							
<p>Le stéréotype ReferenceEvent permet de représenter un événement de référence (qui s'est produit dans la vie réelle) et qui est à l'origine d'un scénario de jeu. Une donnée de jeu est issue d'une donnée de référence, stéréotype ReferenceData qui décrit cet événement de référence. La donnée de référence est conservée pour la traçabilité. Les données de jeu qui en sont adaptées intègrent les scénarios de jeu. Le stéréotype SourceData est utilisé pour attribuer une source d'informations.</p> <p>Le stéréotype SourceReliability permet d'associer une valeur de fiabilité à la source des données.</p> <p>Le stéréotype DataQuality permet d'associer un niveau de qualité de l'information ; il s'appuie sur 3 valeurs étiquetées pour indiquer si les informations sont certaines, stéréotype IsDataCertain, pertinentes, stéréotype IsDataRelevant et/ou précises, stéréotype IsDataAccurate.</p> <p>Le stéréotype GameObject est utilisé pour stocker un élément associé à des informations réelles (comme vu précédemment). Dans le jeu, les GameObject sont associés à la qualité, stéréotype DataQuality, de leurs informations..</p>							
* stéréotype RiskAssessmentGrid décrit dans le profil dédié (Sec. 6.3.3)							

TABLEAU 6.9 – Descriptif des stéréotypes du profil UML dédié à la qualité des informations.

Synthèse section 6.3

Les sections précédentes ont permis de présenter la méthodologie de combinaison de profils **UML** pour concevoir un environnement de capture de la traçabilité au travers de jeux sérieux.

Le choix d'utilisation des profils **UML** est réalisé en fonction des besoins des concepteurs de jeu sérieux (intérêt pour le suivi des informations imparfaites dans le processus par exemple). L'enjeu de leur utilisation est double. Il est d'une part d'aider un concepteur à élaborer les structures de données nécessaires au jeu sérieux et de décider de ses principes de fonctionnement. D'autre part, il réside dans l'intérêt d'enrichir les profils **UML** dès lors que de nouvelles spécificités apparaissent sur le fonctionnement général des processus de décision. Plus les processus de décision étudiés au travers des jeux sérieux sont divers, plus les profils **UML** intégreront de nouvelles connaissances.

Le concepteur, s'il le souhaite, peut s'appuyer sur la démarche proposée. Elle propose la combinaison des profils mais tout autorise à ce que les diagrammes **UML** ou les modèles logiques de données élaborés soient raffinés pour s'adapter à des contraintes spécifiques.

Les quatre profils **UML** mis à disposition sont les suivants :

- Un profil **UML** dédié à la conception de jeux sérieux;
- Un profil **UML** dédié à la traçabilité du processus de décision;
- Un profil **UML** dédié à l'évaluation d'un risque;
- Un profil **UML** dédié à la qualité des informations.

La section suivante présente des applications concrètes réalisées avec l'appui de la démarche de conception.

6.4 Vers une forme de validation des profils UML : utilisation de la méthodologie de conception pour le développement de structures de données support à deux jeux sérieux

L'intérêt de la définition de profils UML est d'encapsuler un maximum de connaissances sur les processus de décisions étudiés dans les jeux sérieux développés sur la base de ces profils UML. Le principe est d'utiliser les profils UML pour développer des jeux qui étudient des processus de décision qui répondent à des contextes divers. Prendre soin d'enrichir les profils UML avec cette diversité autant que possible est un enjeu. Plus les profils UML sont utilisés pour développer des jeux, plus ils portent de connaissance sur des mécanismes de décision divers, comme illustré sur la figure (Fig. 6.18). Dans la continuité, nous présentons ensuite les structures de données qui permettent d'exploiter les données collectées par deux jeux sérieux : une adaptation du jeu de plateau DecisionTrace, présenté précédemment, et le jeu RiskGame. La chaîne logicielle utilisée pour réaliser ces différents prototypes apparaît sur la figure (Fig. 6.18) et est détaillée dans la section (Sec. 6.5).

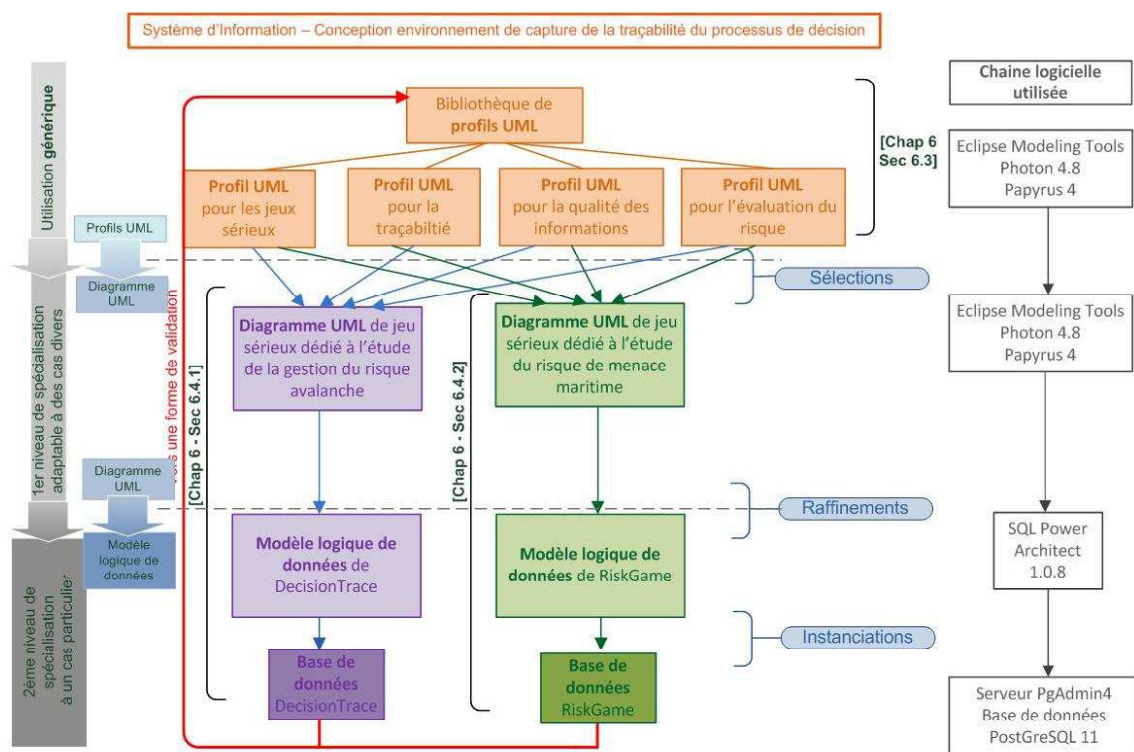


FIGURE 6.18 – Vers une validation des profils UML via le développement de bases de données support à deux jeux sérieux.

6.4.1 Conception d'une structure de données pour le jeu sérieux inspiré par le jeu de plateau DecisionTrace

La conception d'une base de données pour un jeu sérieux inspiré du jeu de plateau DecisionTrace s'est appuyée sur la démarche d'utilisation de profils UML et sa déclinaison est présentée dans la section (Sec. 6.2). Cette étape a consisté en l'élaboration d'un diagramme UML dans un premier temps, dans l'optique de pouvoir ensuite, définir un modèle logique de données. Ce modèle logique de données a été obtenu par raffinements successifs et spécifiques aux besoins du jeu de plateau DecisionTrace. La version finale permet de stocker l'intégralité des données nécessaires au fonctionnement du jeu qu'elles soient utiles au fonctionnement mécanique au jeu (règles de jeu, sortie de donnée aléatoire, etc.) ou qu'elles fassent parties des données visibles manipulées par les joueurs (carte IGN, témoignages, etc.). Dans la suite du chapitre, pour chacun des focus réalisés pour décrire le fonctionnement du jeu sérieux DecisionTrace, la partie du diagramme de classes UML concernée sera présentée, ainsi que la partie du modèle logique de données qui en a résulté.

Les spécificités propres au jeu sérieux DecisionTrace sont présentées ci-dessous :

- La traçabilité des données de jeu et des données impliquées dans les processus de décision ;
- La traçabilité du niveau de qualité affecté aux données et l'échelle d'évaluation du niveau de qualité ;
- La traçabilité des sources de données et l'échelle d'évaluation de fiabilité des sources ;
- L'enregistrement d'une référence experte d'analyse de risque et les critères d'évaluation qu'elle propose ;
- L'enregistrement des processus de décision des joueurs et l'échelle d'évaluation des contextes de jeu ;
- Le stockage des informations nécessaires aux règles de fonctionnement du jeu.

La traçabilité des données dans le jeu et la traçabilité des données impliquées dans les processus de décision

Reproduire une forme de prise de décision en laboratoire implique de pouvoir mettre le joueur en conditions réalistes. C'est pourquoi tous les scénarios de jeu intégrés au jeu sérieux se sont basés sur des faits réels du passé et les données compilées pour les décrire. La partie du diagramme de classes UML qui présente le stockage et la traçabilité des données de jeu DecisionTrace apparaît sur la figure (Fig. 6.19), la partie du modèle logique de données correspondante est présentée sur la figure (Fig. 6.20).

Connexion des données de jeu à des données réelles

Le principe est basé sur une table principale (la table *gameComplexObject*). Elle permet de stocker et de décrire des objets d'une grande diversité (carte IGN, photo, dossier d'expertise, article de journal, carte de jeu, etc.). Elle permet de marquer une différence entre une donnée réelle (grâce à l'attribut *IsRealData* de cette même table) et une donnée de jeu. Uniquement les données identifiées comme des *données réelles* sont reliées à des événements réels du passé (grâce notamment aux tables *link_RealData_Event* et *avalancheReferenceRealEvent*). Cette organisation permet de conserver une traçabilité entre les données issues du monde réel et les données utilisées dans le jeu et qui, souvent, ont subi des transformations. Par exemple, une donnée réelle pourra être à l'origine de plusieurs données de jeu. Un article de journal pourrait ainsi donner plusieurs cartes de jeu de type "témoignage".

Un autre cas de figure, fréquent dans le jeu, est la production de données de jeu avec des niveaux de qualité différents à partir d'une donnée originelle qui, elle, est associée de manière définitive à son niveau de qualité. L'intérêt d'une telle possibilité est de pouvoir observer l'effet de la variation de qualité des données sur le processus de décision du joueur. On peut le confronter à la donnée réelle avec sa qualité originelle, à une donnée modifiée dans son niveau de qualité et observer si son raisonnement est altéré, et en quoi, dans le traitement de ces deux données. Un exemple, pourrait être de donner au joueur une Carte de Localisation de Phénomène d'Avalanche (CLPA) mais dégradée dans le sens où la fiche CLPA qui l'accompagnerait aurait disparue. La donnée de jeu est donc moins complète que la donnée originelle.

Des données agrégées et des données simples

Dans le jeu, il existe des données que l'on qualifie de *données agrégées*. Cela peut, par exemple, être un dossier d'expertise qui contient des études, des photos et des cartes. Ces données sont stockées comme des regroupements d'autres données plus simples. Pour cela, une donnée fictive est créée, elle est décrite comme une "*Agrégation de données*" et est reliée à toutes les données qui la composent. Toutes ces données sont stockées dans la table principale (la table *gameComplexObject*) et reliées simplement par leurs identifiants pour indiquer quelle donnée constitue la donnée "parent" et quelles données constituent ses données "enfants" (grâce à la table *link_Simple_ComplexObject*).

Des données regroupées par scénario, contexte et catégorie de données

Les participants d'un jeu sérieux jouent à partir d'un scénario conçu au préalable. Deux étapes amènent à cette possibilité. D'abord, c'est la création d'une banque de données inspirées directement ou en partie de données décrivant un événement du passé réel et ensuite la constitution de scénarios de jeu. Du point de vue du jeu, une donnée n'a d'existence que lorsqu'elle est reliée à un scénario. Ce duo (donnée et scénario) définit comment la donnée est utilisée dans le jeu (grâce à la table *gameComplexObjectStorage*). L'organisation des données est flexible à ce sujet sur les points suivants :

- Toutes les données de jeu stockées en base peuvent être utilisées dans différents scénarios de jeu. Le scénario sert à délimiter les données qu'on pourra utiliser ou non dans le jeu (grâce aux tables *gameComplexObjectStorage*, *gameScenario*, *context*, *link_Context_ComplexObject*) et pose un contexte initial de jeu. Le contexte initial est un regroupement de données faisant partie du scénario et qui sont livrées au joueur dans le premier tour de jeu. Rien n'empêche, par exemple, de modifier la composition de ce contexte initial pour en faire un scénario alternatif basé sur les mêmes données. On peut alors imaginer faire jouer les joueurs sur des scénarios sensiblement différents par leur contexte initial et en comparer les conséquences;
- Les catégories de jeu utiles pour guider les joueurs dans leur choix de données sont paramétrables. Amener les joueurs à dérouler leur processus de décision pour le rendre observable, c'est les guider en leur présentant des choix à faire, notamment grâce à ces catégories de données. Ils révèlent leurs choix et l'orientation qu'ils veulent donner à leur raisonnement, par exemple, en indiquant qu'ils préfèrent obtenir plutôt une donnée historique ou plutôt une donnée météorologique. Ces catégories sont modifiables pour un scénario donné. C'est à dire qu'on pourra maîtriser, lors de l'initialisation du jeu, les catégories de données de jeu d'un scénario, en créer de nouvelles ou en considérer moins (grâce à la table *gameComplexObjectStorage*).

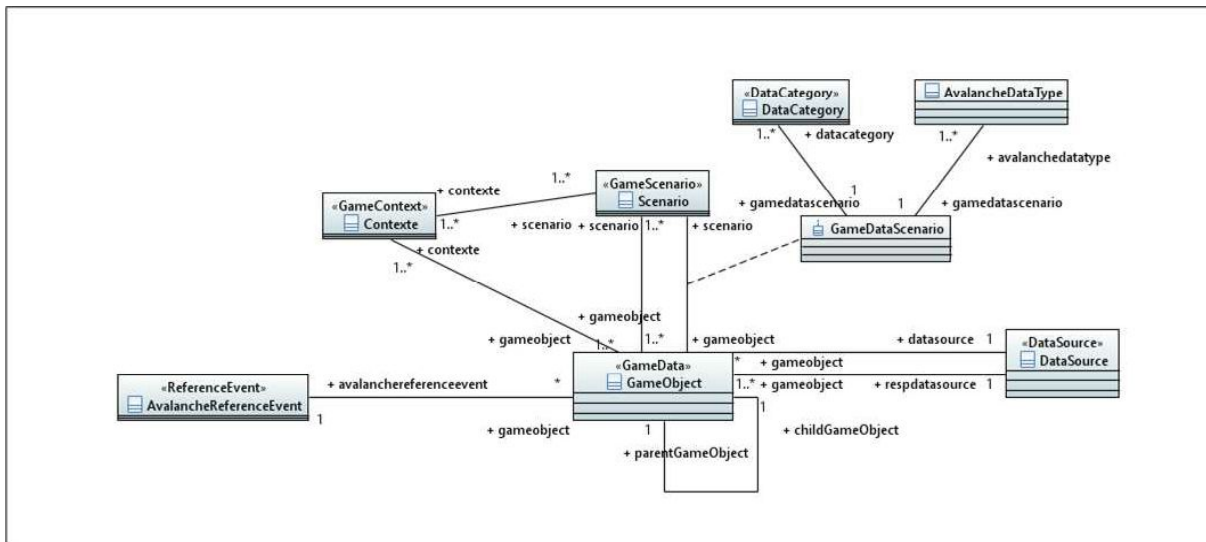


FIGURE 6.19 – DecisionTrace : partie du diagramme de classes dédiée au stockage des données de jeu et de leur traçabilité.

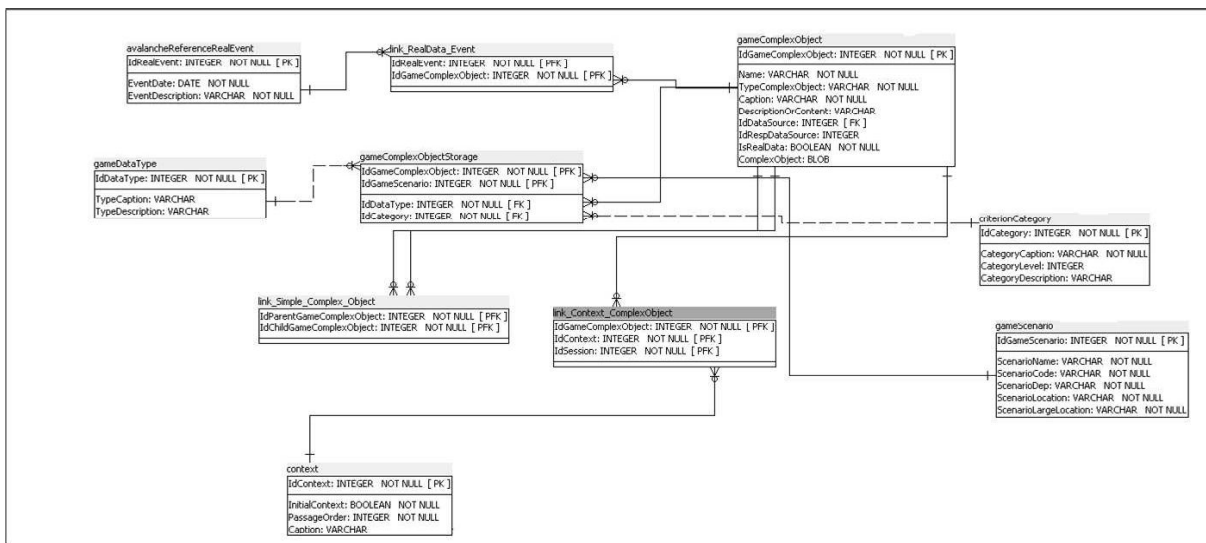


FIGURE 6.20 – DecisionTrace : partie du modèle logique de données dédiée au stockage des données de jeu et de leur traçabilité.

La traçabilité du niveau de qualité affecté aux données et l'échelle d'évaluation du niveau de qualité

Prendre une décision signifie implicitement prendre une décision dans un contexte d'informations imparfaites. Toute décision quelle qu'elle soit se prend en intégrant des incertitudes et en étant plus ou moins conscient. Traduire cela dans le prototype de jeu sérieux est donc indispensable pour se rapprocher d'un contexte réaliste. Un niveau de qualité des données est donc introduit de façon artificielle dans le jeu. Pour cela, une échelle d'évaluation du niveau de qualité est implémentée et affectée à chacune des données de jeu.

La partie du diagramme de classes UML qui présente le stockage et la traçabilité des données

6.4. VERS UNE FORME DE VALIDATION DES PROFILS UML : UTILISATION DE LA MÉTHODOLOGIE DE CONCEPTION POUR LE DÉVELOPPEMENT DE STRUCTURES DE DONNÉES SUPPORT À DEUX JEUX SÉRIEUX

est présentée sur la figure (Fig. 6.19), la partie du modèle logique de données correspondante est présentée sur la figure (Fig. 6.21). Dans le prototype développé, ce niveau de qualité est associé aux données de jeu qui sont issues de données réelles du passé. Ce niveau de qualité est déterminé par une échelle d'évaluation. Ici, le principe d'évaluation est basé sur trois paramètres pour produire le "code qualité" de la donnée : l'exactitude, la certitude, la précision. (cf. Tab. 5.1).

Dans la partie du modèle logique de données de DecisionTrace dédiée à la manipulation de la qualité des données (Fig. 6.21), cela se traduit par l'affectation de trois valeurs (car l'échelle d'évaluation de la qualité inspirée par DecisionTrace n'en contient que trois) aux données (grâce à la table link_QualityRating_ComplexValues).

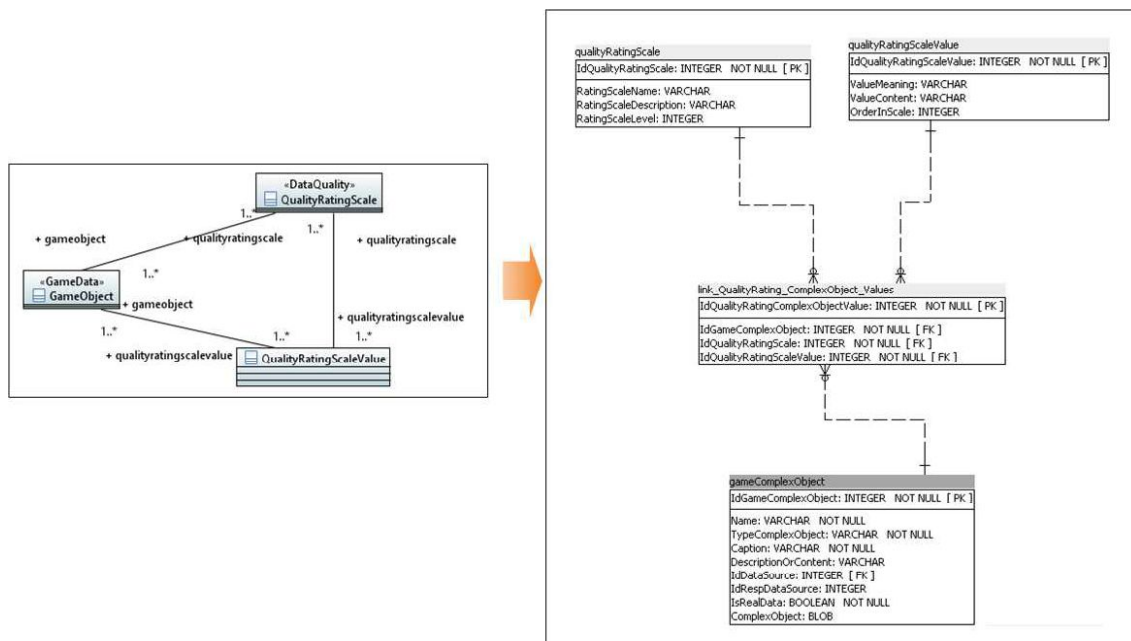


FIGURE 6.21 – DecisionTrace : partie du diagramme de classes dédiée à l'imperfection des données et la partie du modèle logique de données correspondante.

Les valeurs de qualité affectées à une donnée n'ont de sens que par une échelle d'évaluation de la qualité prédéfinie. La possibilité de définir des échelles d'évaluation différentes (grâce aux tables *qualityRatingScale* et *qualityRatingScalePossibleValue*) a été conçue. Les échelles d'évaluation en question sont définissables sur un même modèle. Il s'agit de définir des échelles d'évaluation avec un nombre de variables non déterminé, de définir le rôle de ces différents paramètres et d'établir la réponse au paramètre avec une forme de réponse Oui/Non. Par exemple, dans le cas du prototype, une donnée pourra avoir un code qualité "010" (code sur 3 caractères, le 0 signifie "non", le 1 signifie "oui"). Cette donnée n'est donc pas pertinente. Elle est par contre certaine mais elle n'est pas précise. Une nouvelle échelle d'évaluation de la qualité pourrait se définir sur 5 paramètres, en complétant celle proposée ou au contraire en la réduisant à 1 paramètre tout en se basant sur le même fonctionnement.

La traçabilité des sources de données et l'échelle d'évaluation de fiabilité des sources

S'interroger sur la qualité des données amène rapidement à évoquer les sources dont sont issues les données et admettre que leur qualité est hétérogène et que leurs sources sont plus ou moins fiables. Le concept de sources de données associé à leur fiabilité est donc traduit dans le prototype.

Une échelle d'évaluation de la fiabilité des sources de données est ainsi proposée pour pouvoir associer un niveau de fiabilité à une source. La partie du diagramme de classes en charge de cela est présentée sur la figure (Fig. 6.22) ainsi que le modèle de données logique correspondant. Sur le modèle logique de données, on peut observer la gestion des sources de données qui se traduit par l'affectation des données de jeu à leur(s) source(s) (table *gameComplexObject* elle-même). Une donnée admet ainsi une source de données de type technique (par exemple, la base de données de la CLPA). Dans ce cas, l'outil *base de données* est considéré comme la source de données. Mais la source de données peut également, dans le langage commun, être le producteur et/ou responsable de la donnée (par exemple, INRAE qui est responsable de la base de données de la CLPA). Une échelle d'évaluation de la fiabilité est proposée dans le prototype mais selon les besoins, une échelle d'évaluation de la fiabilité alternative peut être établie. Le principe est de définir (grâce aux tables *sourceReliabilityScale* et *link_DataSource_SourceReliabilityScale*) une nouvelle échelle d'évaluation. Il est possible que l'échelle soit considérée comme absolue ou relative et de fixer pour chaque source de données une valeur numérique et/ou une valeur descriptive dépendante de l'échelle choisie.

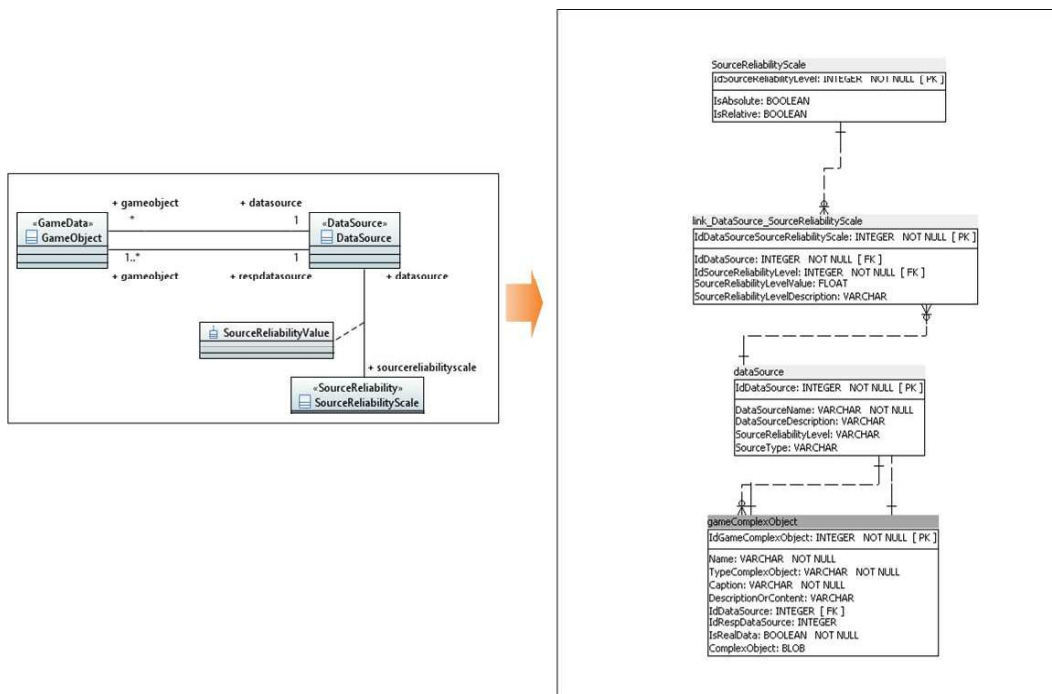


FIGURE 6.22 – DecisionTrace : partie du diagramme de classes dédiée à la traçabilité des sources de données et la partie du modèle logique de données correspondante.

L'enregistrement d'une référence experte d'analyse de risque et de ses critères d'évaluation

Le jeu sérieux repose sur une référence d'analyse de risque proposée par des experts. Elle permet d'établir une base de comparaison pour les processus de décision des joueurs. Cette grille d'analyse s'appuie sur une liste de critères pour évaluer les données qui entrent dans le processus d'analyse. Ces évaluations peuvent être quantitatives ou qualitatives. Ces critères ont des importances différentes les uns par rapport aux autres. La partie du diagramme de classes UML qui permet d'introduire une grille experte d'analyse de risque et les critères d'évaluation établis est présentée sur la figure (Fig. 6.23). La partie du modèle logique de données correspondante est présentée sur la figure (Fig. 6.24).

6.4. VERS UNE FORME DE VALIDATION DES PROFILS UML : UTILISATION DE LA MÉTHODOLOGIE DE CONCEPTION POUR LE DÉVELOPPEMENT DE STRUCTURES DE DONNÉES SUPPORT À DEUX JEUX SÉRIEUX

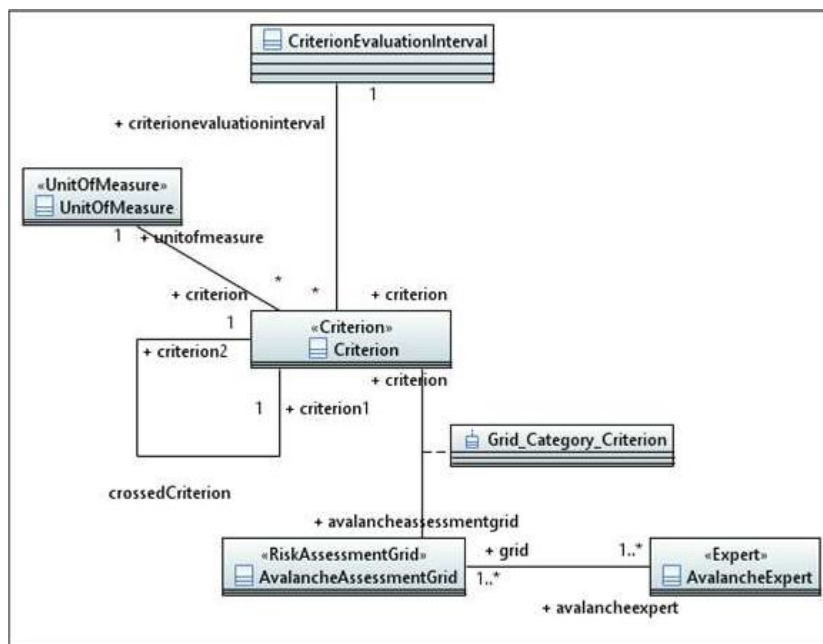


FIGURE 6.23 – DecisionTrace : partie du diagramme de classes UML dédiée au stockage de la grille experte d’analyse de risque et des critères d’évaluation associés.

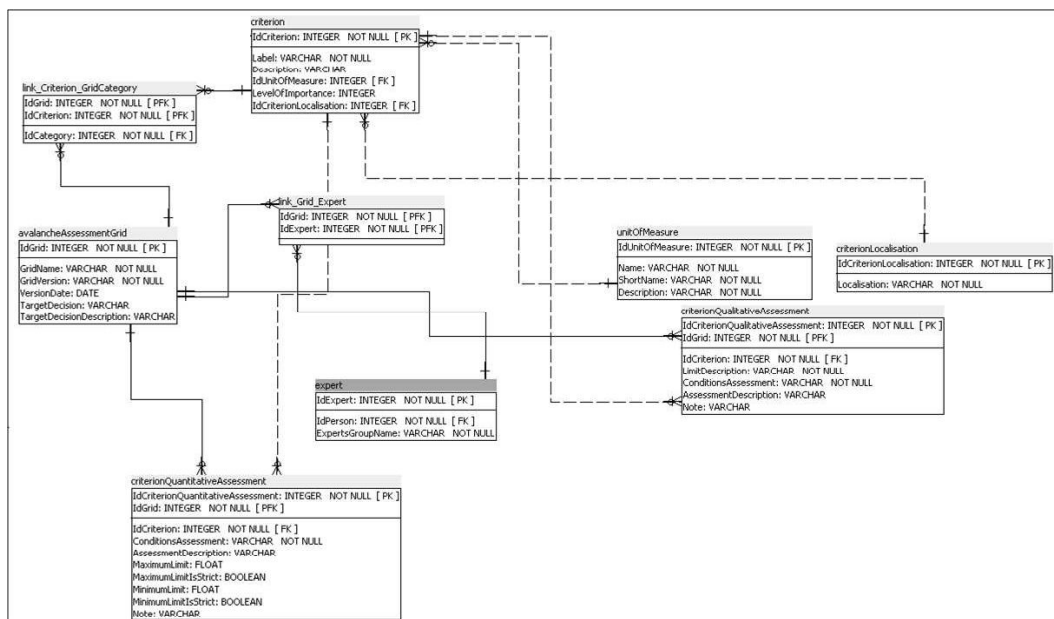


FIGURE 6.24 – DecisionTrace : partie du modèle logique de données dédiée au stockage de la grille experte d’analyse de risque et des critères d’évaluation associés.

Grille experte d’analyse de risque et moyens d’évaluation des critères

Une série de tables (*avalancheAssessmentGrid*, *link_Criterion_GridCategory*, *criterionCategory*, *UnitOfMeasure*, *criterionLocalisation*) permet de définir le contenu de la grille experte d’analyse de risque et de stocker ses auteurs (*Expert*, *link_Grid_Expert*). Une liste des critères d’intérêt est établie et est organisable en catégories de critères. Elle permet également d’établir un niveau d’importance pour

les critères, une localisation et si c'est un critère mesurable, une unité de mesure.

Dans la grille, les experts proposent deux types d'évaluation :

- Une évaluation quantitative lorsque cela est possible (*criterionQuantitativeAssessment*). Par exemple, une situation jugée favorable pour une pente inférieure à 15°. Dans ce cas, il est possible d'indiquer si la borne entre deux niveaux d'appréciation est floue ;
- Une évaluation qualitative sinon (*criterionQualitativeAssessment*). Par exemple, une situation jugée très défavorable si une couche fragile est avérée et continue dans le manteau neigeux. L'évaluation qualitative permet aussi d'associer deux informations de natures différentes dans un critère. Par exemple, une situation jugée favorable si la remontée de température n'est pas trop forte et que la quantité de pluie est faible.

Le système permet également d'enregistrer plusieurs grilles expertes d'analyse de risque.

L'utilisation de la théorie des ensembles flous pour évaluer des contextes

Comme vu précédemment, le jeu sérieux repose sur une référence d'analyse de risque dite experte. Cependant, elle n'est pas suffisante pour être exploitée en tant que modèle d'aide à la décision. Notamment, il est nécessaire de pouvoir évaluer des données sur la base de critères d'évaluations dont les bornes sont floues. Le système intègre donc la possible de gestion d'ensemble flous. La partie du diagramme de classes UML qui permet de gérer les ensembles flous associés aux critères est présentée sur la figure (Fig. 6.25). La partie du modèle logique de données correspondante est présentée sur la figure (Fig. 6.26).

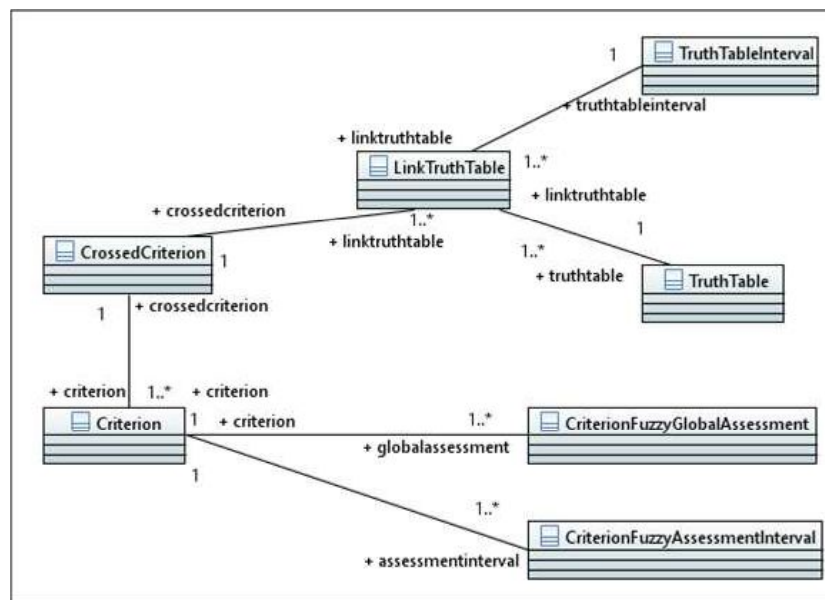


FIGURE 6.25 – DecisionTrace : partie du diagramme de classes UML dédiée à l'établissement des classes floues d'évaluation.

Les options possibles pour établir les classes d'évaluation floues des critères sont :

- Pour un critère simple, lorsque cela est possible, l'objectif est d'établir les classes d'évaluation floues. Que l'évaluation proposée initialement soit quantitative ou qualitative, il faut transposer les bornes pour établir les classes floues. Le modèle logique de données de DecisionTrace permet de stocker les paramètres au travers des tables *link_Criterion_FuzzyAssessmentInterval*

6.4. VERS UNE FORME DE VALIDATION DES PROFILS UML : UTILISATION DE LA MÉTHODOLOGIE DE CONCEPTION POUR LE DÉVELOPPEMENT DE STRUCTURES DE DONNÉES SUPPORT À DEUX JEUX SÉRIEUX

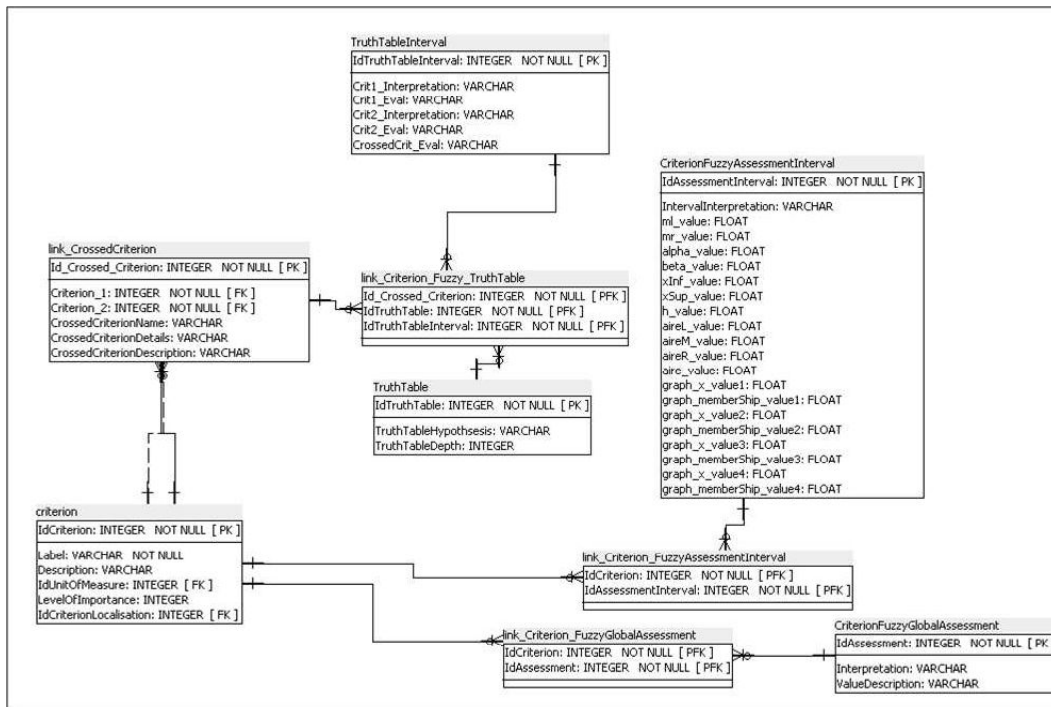


FIGURE 6.26 – DecisionTrace : partie du modèle logique de données dédiée à l'établissement des classes floues d'évaluation.

et *CriterionFuzzyAssessmentInterval*. Le principe est d'associer autant d'intervalles d'évaluation que nécessaire. Dans le prototype, un critère est associé à trois appréciations : Favorable, Défavorable, Très défavorable ;

- Si pour un critère simple, il n'est pas possible d'établir les classes floues, une approche globale est possible pour établir les trois niveaux d'appréciation. Ce sont les tables *link_Criterion_FuzzyGlobalAssessment* et *CriterionFuzzyGlobalAssessment* ;
- Lorsqu'on souhaite croiser deux critères, on établit des tables de vérité pour fixer l'importance d'un critère par rapport à l'autre. Ce sont les tables *link_CrossedCriterion* et *TruthTable*, *link_Criterion_Fuzzy_TruthTable*, *TruthTableInterval* qui le permettent.

L'enregistrement des processus de décision des joueurs et l'échelle d'évaluation des contextes de jeu

Pour tracer le processus de décision des joueurs et de l'équipe, le prototype de jeu sérieux repose sur une mécanique basée sur des tours de jeu.

Une session de jeu est considérée comme une succession de tours de jeu. Un tour de jeu débute lorsqu'une nouvelle donnée arrive dans le jeu. Cela peut se produire de deux manières. Soit elle survient de façon inopinée par action du système, soit elle intervient à la demande des joueurs de l'équipe. Ils s'entendent pour choisir le prochain type de données qu'ils souhaitent obtenir pour dérouler leur raisonnement. Une fois qu'ils obtiennent une donnée, on considère que le contexte de jeu a changé. Le nouveau contexte de jeu est composé de toutes les données des précédents contextes de jeu et d'une nouvelle donnée. Les joueurs sont amenés à réaliser une évaluation personnelle de ce contexte de jeu et à fournir une évaluation au nom de l'équipe. Le tour de jeu est considéré comme terminé lorsque toutes les évaluations sont produites. Le cycle de vie d'un tour de jeu et celui d'un

contexte de données se déroulent sur le même pas de temps. La partie du diagramme de classes UML de DecisionTrace dédiée à la gestion des tours de jeu, des contextes de jeu et des évaluations des joueurs est présentée sur la figure (Fig. 6.27). La partie du modèle logique de données qui lui correspond est présentée sur la figure (Fig. 6.30).

Deux types d'informations sont tracés :

- Le choix, opéré en équipe, qui indique quelle catégorie de données est souhaitée pour la suite du raisonnement dans le processus de décision. Un tour de jeu est donc associé à une équipe et un contexte de jeu, ce triplet détermine la catégorie d'information (grâce à la table *ContextTurnChoice*) choisie pour la prochaine étape de jeu;
- Les évaluations de contextes de jeu réalisées de façon individuelle et celle qui fait consensus pour l'équipe. Un tour de jeu est donc associé à un contexte de jeu, une échelle d'évaluation, un des intervalles de valeurs de cette échelle, un joueur (ou l'équipe) et la valeur que le joueur (ou l'équipe) a donné (grâce à la table *ContextTurnEval*).

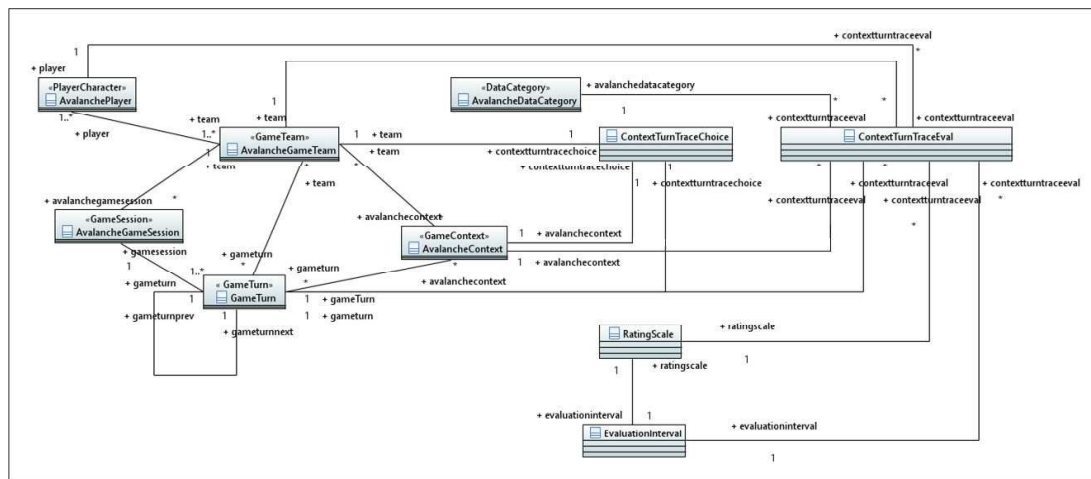


FIGURE 6.27 – DecisionTrace : partie du diagramme UML dédiée aux tours de jeu et évaluations de contextes de jeu.

Une dernière partie du modèle DecisionTrace permet de gérer l'échelle d'évaluation de contexte proposée aux joueurs. Dans le prototype, l'échelle comporte cinq intervalles (grâce aux tables *ratingScale*, *link_RatingScale_EvaluationInterval* et *evaluationInterval*), "Décision peu envisagée", "Décision envisagée", "Décision fortement envisagée", "Décision irrévocable", "Ne sait pas". Pour chacun de ces intervalles, le joueur peut indiquer à quel niveau il se situe. Par exemple, pour la décision "Couper la route", il envisage, à ce moment du jeu, de fermer la route à 0.7. Par contre, il ne l'envisage fortement qu'à 0.3. Les intervalles d'évaluation, leurs bornes, leur signification sont paramétrables lors de la phase d'initialisation du jeu (si cela est nécessaire). Par exemple, les concepteurs de jeu peuvent choisir six intervalles d'évaluation au lieu de quatre, leur donner des significations différentes de celles proposées ou encore modifier les échelles de valeurs.

6.4. VERS UNE FORME DE VALIDATION DES PROFILS UML : UTILISATION DE LA MÉTHODOLOGIE DE CONCEPTION POUR LE DÉVELOPPEMENT DE STRUCTURES DE DONNÉES SUPPORT À DEUX JEUX SÉRIEUX

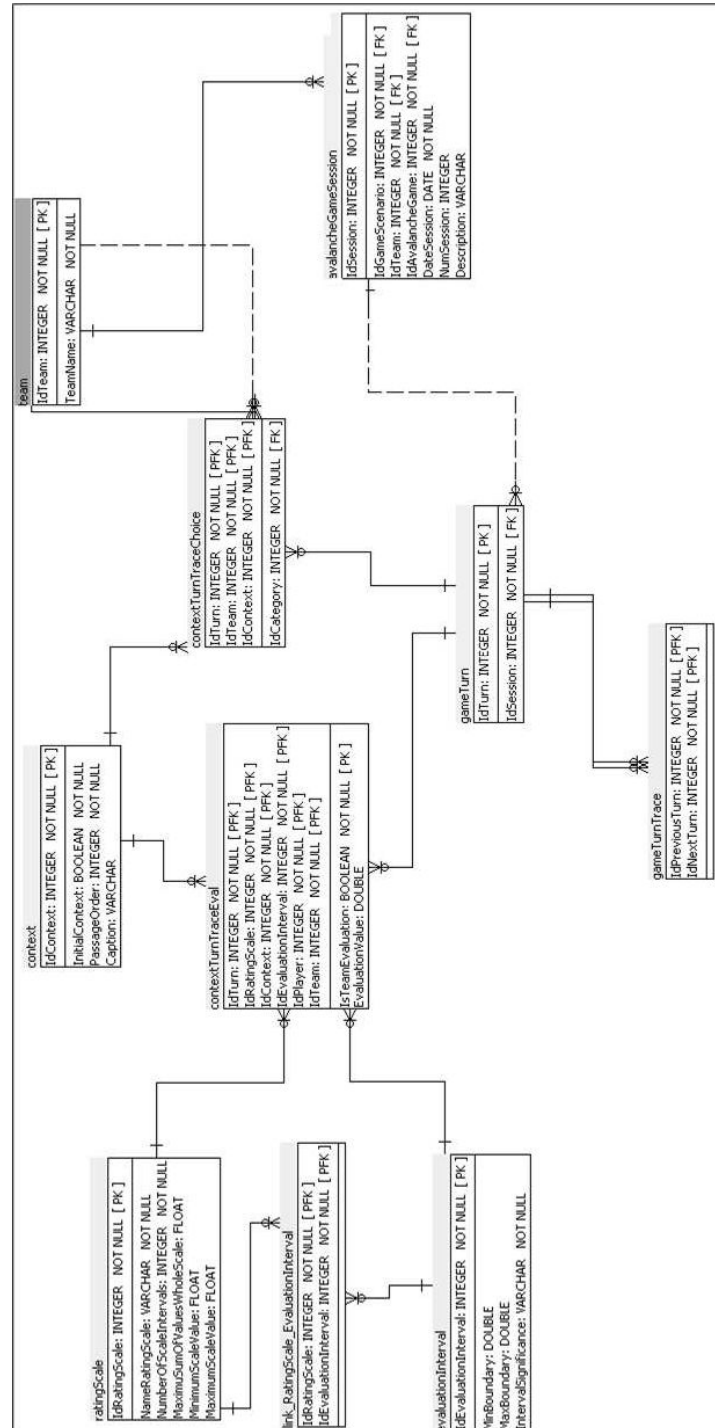


FIGURE 6.28 – DecisionTrace : partie du modèle logique de données dédiée aux tours de jeu et évaluations de contextes de jeu.

Le stockage des informations nécessaires aux règles de fonctionnement du jeu

Pour compléter la mécanique de jeu évoquée précédemment (basée sur des tours de jeu afin de simplifier la traçabilité des processus de décision), un système de gestion des règles de fonctionnement de jeu est établi.

Trois types de règles sont nécessaires :

- Les règles de jeu qui régissent le fonctionnement interne du jeu. Elles permettent de guider le déroulement du jeu, elles organisent les tours de jeu, l'arrivée des nouvelles informations. Par exemple, elles vont permettre l'introduction de nouvelles données "au hasard", c'est à dire une information de contexte qui intervient dans le jeu sans que les joueurs l'aient demandée et dont ils ignorent la nature ;
- Les règles de jeu qui régissent les actions des joueurs dans le jeu. Elles sont dédiées à la gestion des actions des joueurs et des interactions avec le système (les évaluations, le choix des types de données principalement) ;
- Les règles de jeu qui régissent les conditions de fin de partie de jeu.

Pour plus de flexibilité et de généricité, la gestion de ces règles apparait dans le modèle logique de données. Les pré-conditions et les post-conditions à ces règles sont également établies directement dans la structure de données. La partie du diagramme de classes UML qui présente le traitement des ces règles de fonctionnement est présentée sur la figure (Fig. 6.29), la partie du modèle logique de données correspondante est présentée sur la figure (Fig. 6.30).

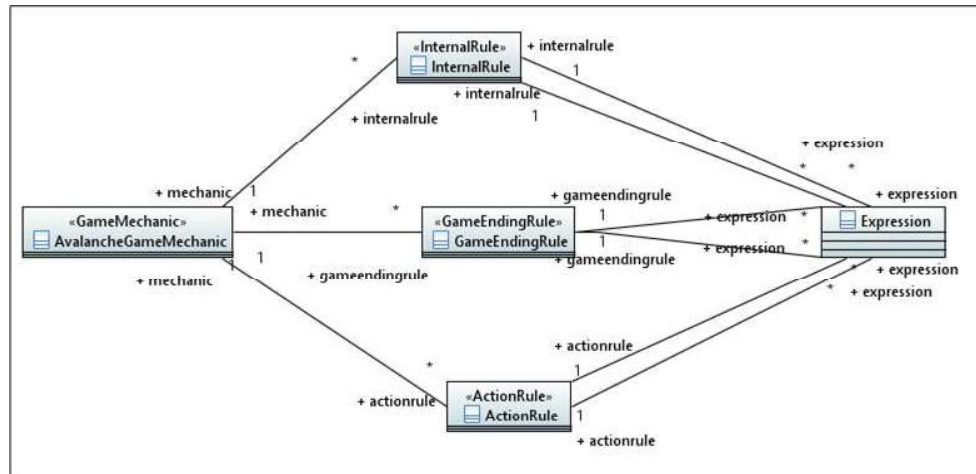


FIGURE 6.29 – DecisionTrace : partie du diagramme de classes dédiée à la gestion de la mécanique du jeu sérieux.

6.4. VERS UNE FORME DE VALIDATION DES PROFILS UML : UTILISATION DE LA MÉTHODOLOGIE DE CONCEPTION POUR LE DÉVELOPPEMENT DE STRUCTURES DE DONNÉES SUPPORT À DEUX JEUX SÉRIEUX

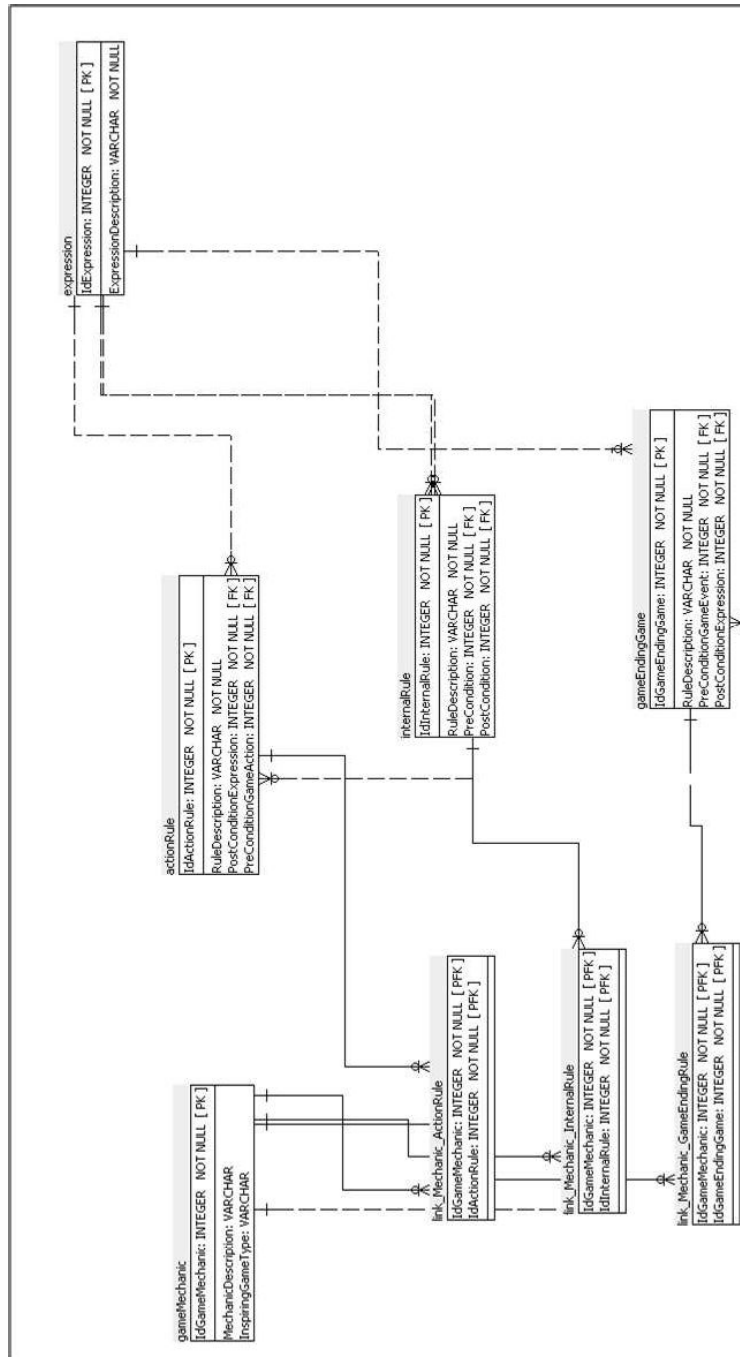


FIGURE 6.30 – DecisionTrace : partie du modèle logique de données dédiée à la gestion de la mécanique du jeu sérieux.

6.4.2 Conception d'une structure de données pour le jeu sérieux inspiré par le jeu de plateau RiskGame

Cette section illustre l'application de notre démarche de conception pour modéliser un autre jeu sérieux : le jeu RiskGame [Jousselme et al., 2018], [Jousselme et al., 2015]. RiskGame a été développé par le CMRE de l'OTAN, il traite de décisions prises pour la surveillance maritime. Nous développons le diagramme UML décrivant les principaux éléments du jeu en utilisant nos stéréotypes et faisons une proposition de modèle logique de données pour le stockage des données destinées à son fonctionnement.

Présentation du jeu RiskGame

Un joueur prend le rôle d'un officier de surveillance du trafic maritime. En préambule, il est indiqué au joueur que le contact avec un bateau a été perdu. A priori, il appartient à un pays voisin mais la communication est rompue depuis une heure et l'officier a des doutes sur sa localisation qui est approximativement en bordure de la zone de surveillance dont il est responsable. Il est face à un dilemme. Si ce bateau est dans sa zone de responsabilité, il peut lancer une flotte de reconnaissance pour connaître les intentions du bateau suspect. Cette opération a des coûts importants qu'il doit prendre en compte. Si ce bateau est hors zone de responsabilité, il ne représente pas de menace. Mais dans l'incertitude, il doit se positionner. Le joueur se trouve confronté à une décision à prendre. Pour cela, il demande successivement des informations. Elles lui sont données avec des niveaux de qualité hétérogènes et relatifs aux sources dont elles proviennent. Théoriquement, on lui demande de se positionner entre deux options incarnées par deux bateaux fictifs, le bateau A et le bateau B. Le bateau A représente la possibilité que le bateau perdu de vue soit dans la zone de responsabilité et qu'il représente donc une menace. Le bateau B représente la non-menace, c'est-à-dire hors zone de responsabilité. La figure (Fig. 6.31) illustre les notes que le joueur donne et qui traduisent sa confiance envers les deux possibilités d'interprétation de la situation. Lorsqu'il reçoit une information - identifiée de façon unique (Cf. la colonne des #POI sur la figure Fig. 6.31)- il l'analyse et renseigne sa confiance vis-à-vis d'une possible décision finale. Plus son évaluation s'approche de 1, plus sa confiance est forte, plus il est proche de prendre une décision en confiance. Le jeu se termine lorsque la décision du joueur est prise. La situation est alors définitive : soit il a décidé d'envoyer une patrouille de reconnaissance et cela signifie qu'il considère le vaisseau comme une menace; soit il a décidé de ne rien faire car pour lui le vaisseau ne représente pas une menace. Le temps n'est pas limité pour la réflexion mais une fois la décision prise elle est irrévocable et le jeu se termine.

Les informations manipulées par les joueurs sont illustrées sur le tableau (Tab. 6.32). Les informations sont amenées au joueur grâce aux cartes de jeu (Fig. 6.32). Cinq attributs descriptifs des vaisseaux sont proposés au joueur via cinq types de carte. Les cartes indiquent aussi la source de la donnée affichée. A chaque tour de jeu, le joueur demande une information sur un vaisseau en particulier. Il peut choisir une information qui décrit soit le comportement présumé du bateau (localisation, cap) soit l'identification technique du bateau (taille, type) :

- La localisation du vaisseau exprimée grâce aux cases du plateau de jeu : F4, E3;
- Le cap présumé du vaisseau (Nord, Nord Est, Est, Sud Est, Sud, Sud Ouest, Ouest, Nord Ouest);
- La vitesse du vaisseau, seul critère qui peut être considéré comme descriptif du comportement du bateau ou comme contribuant à l'identification du bateau;
- La taille du vaisseau (sa longueur, sa profondeur);
- Le type de vaisseaux (commerce, militaire).

6.4. VERS UNE FORME DE VALIDATION DES PROFILS UML : UTILISATION DE LA MÉTHODOLOGIE DE CONCEPTION POUR LE DÉVELOPPEMENT DE STRUCTURES DE DONNÉES SUPPORT À DEUX JEUX SÉRIEUX

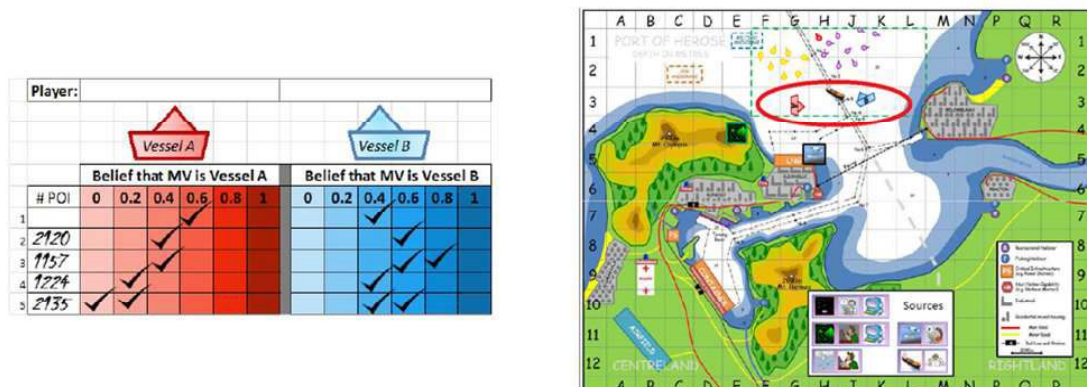


FIGURE 6.31 – Jeu sérieux RiskGame : la décision à prendre est représentée par deux options - un bateau allié (bateau A) et un bateau ennemi (bateau B), le plateau de jeu est de forme matricielle pour localiser les bateaux [Jousselme et al., 2018].

Sources		Range	Expertise				
Container	Provider		LOCATION	HEADING	SPEED	SIZE	TYPE
Radar	Operator C	VA and VB		X		X	
	Tracker/ATR		X		X		X
SAR	Analyst A		X	X			
	ATR				X		
Camera	Analyst B	VA only	X	X	X	X	X
Cargo	Captain	VB only	X	X	X	X	X

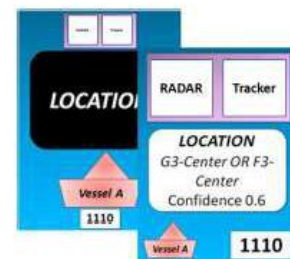


FIGURE 6.32 – Jeu sérieux RiskGame : les types de données accessibles au joueur, introduites via des cartes de jeu [Jousselme et al., 2018].

La qualité des informations reçues par les joueurs est déterminée par un lancer de dé. Les cadres théoriques de représentation et de traitement de l'information imparfaite permettent de distinguer les formes d'imperfection correspondant à de l'inconsistance, l'imprécision, l'incomplétude et de l'incertitude (aléatoire et épistémique). Dans le cadre du jeu, une simplification est proposée pour être plus compréhensible par les joueurs. Une transposition dans les formalismes associés aux catégories précitées peut, d'un point de vue théorique, être faite en utilisant les nombres flous (liens entre variables quantitatives et qualitatives ou linguistiques), les distributions de possibilités (imprécision et incertitude), les fonctions de croyance (conflit, ignorance, fiabilité des sources). Dans le jeu, trois dimensions de la qualité des informations sont considérées, comme illustré sur la figure (Fig. 6.33) :

- L'exactitude : C'est la conformité de l'information par rapport à la réalité. Elle prend la valeur 0 si elle n'est pas conforme, 1 si elle est conforme;
- La précision : C'est une forme d'imperfection de l'information (une valeur discrète, un intervalle, une approximation). Elle prend la valeur 1 uniquement si c'est une valeur précise unique,

0 dans les autres cas;

- La certitude : C'est le degré de confiance qu'on associe à la source de l'information. Elle prend comme valeur 1 si la confiance est absolue, 0 dans les autres cas. Cette confiance intègre, dans le cadre spécifique du jeu, l'incertitude au sens strict, par exemple, le fait que la prévision météorologique comporte toujours un part d'imprévu mais aussi la fiabilité variable de la source.

Chaque information du jeu est disponible en huit versions de niveau de qualité différent. La probabilité de sortie d'un niveau de qualité est randomisée pour que le meilleur et le pire des niveaux de qualité soient associés à la plus basse des probabilités de sortie et ensuite associée à la valeur d'une face de dé.

True	Precise	Certain	Randomization	Q. rank
1	1	1	0.11	8
1	1	0	0.22	7
1	0	1	0.22	6
1	0	0	0.11	5
0	1	1	0.06	1
0	1	0	0.11	3
0	0	1	0.11	2
0	0	0	0.06	4

FIGURE 6.33 – Jeu sérieux RiskGame : trois dimensions considérées dans la qualité des informations [Jousselme et al., 2018].

Après chaque nouvelle information que le joueur obtient, il doit réévaluer sa confiance envers sa potentielle décision. Considère-t-il les deux options (les deux bateaux) de la même façon après une nouvelle information? Est-ce que la dernière information a eu un impact sur cette confiance? On lui demande après chaque nouvelle information d'évaluer le niveau de croyance qu'il a envers la crédibilité de chaque hypothèse représentée par chaque vaisseau.

Un document de suivi sous forme de matrice (Fig. 6.31) permet au joueur d'indiquer les effets des nouvelles informations sur son raisonnement. La colonne de gauche représente le numéro de la carte qui vient d'être découverte. Le joueur choisit le niveau de confiance qu'il a pour chaque vaisseau. S'il pense que la dernière information implique que le vaisseau A est plus crédible que le vaisseau B alors il augmente la croyance qu'il a envers l'hypothèse que représente ce vaisseau, si c'est le contraire, il la baisse. Il doit remplir le document à chaque nouvelle information et pour chacun des deux vaisseaux.

Trois formes de décision permettent au jeu de se terminer :

- Le joueur décide d'envoyer une patrouille de reconnaissance, il considère le vaisseau comme une menace;
- Le joueur décide de ne rien faire, il ne considère pas le vaisseau comme une menace;
- Le joueur reste incertain malgré le fait qu'il considère avoir eu toutes les informations possibles.

Utilisation de la démarche de conception pour concevoir les composants essentiels d'un jeu sérieux inspiré du jeu de plateau RiskGame

Cette section présente l'utilisation de la démarche de conception pour aller jusqu'à la proposition d'une structure de données qui peut supporter l'essentiel des données d'un jeu sérieux inspiré par le jeu de plateau RiskGame.

Étape n°1 et n°2 : Lister les exigences du jeu RiskGame et sélectionner les profils UML et les stéréotypes utiles

Le tableau (Tab. 6.34) liste les principales caractéristiques attendues pour le jeu sérieux RiskGame et affiche la correspondance avec les profils UML et stéréotypes à utiliser en vue du développement d'un diagramme de classes.

Exigence exprimée	Profil UML et stéréotypes utilisés
La notion de scénario est présente dans le jeu RiskGame. Elle diffère cependant de l'utilisation initiale prévue dans nos profils. Le scénario est uniquement un recueil de données de jeu, c'est le hasard dans le jeu qui construit ensuite l'enchaînement de jeu. Mais pratiquement il n'existe qu'un seul scénario proposé par le jeu. La notion de contexte et de modification d'un contexte de jeu n'existe pas.	Profil de jeu sérieux. Stéréotypes <i>GameScenario</i> , <i>GameData</i>
Une traçabilité avec les données réelles du passé n'est pas attendue. Toutes les données sont fictives. L'association avec une source de données (au sens producteur de la donnée) est par contre nécessaire.	Profil pour l'imperfection des données. Stéréotype <i>DataSource</i>
Le classement de données par catégorie est nécessaire. Une distinction est faite entre les données qui permettent l'identification des bateaux et celles qui décrivent les comportements des bateaux.	Profil de jeu sérieux. Stéréotype <i>DataCategory</i>
La notion de qualité des informations est importante dans le jeu. Chaque donnée se voit déclinée avec 8 niveaux de qualité différents. Le jeu a sa propre règle d'estimation de la qualité des données.	Profil pour l'imperfection des données. Stéréotype <i>DataQuality</i>
Même si la notion de contexte n'existe pas dans le jeu elle nous est utile pour tracer les évaluations de confiance du joueur envers sa décision. Le principe adopté est « apparition d'une nouvelle donnée suivie de son évaluation ». Cela signifie artificiellement, modification du contexte suivi d'une nouvelle évaluation. Le joueur alterne entre deux hypothèses de jeu qui sont représentées par deux vaisseaux.	Profil de traçabilité de jeu sérieux. Stéréotype <i>GameContext</i>
Le principe de fonctionnement de jeu est simple, basé sur des tours de jeux, des sessions et un joueur.	Profil de jeu sérieux. Stéréotypes <i>GameTurn</i> , <i>GameSession</i> , <i>PlayerCharacter</i>

FIGURE 6.34 – RiskGame : liste des exigences principales du jeu sérieux.

6.4. VERS UNE FORME DE VALIDATION DES PROFILS UML : UTILISATION DE LA MÉTHODOLOGIE DE CONCEPTION POUR LE DÉVELOPPEMENT DE STRUCTURES DE DONNÉES SUPPORT À DEUX JEUX SÉRIEUX

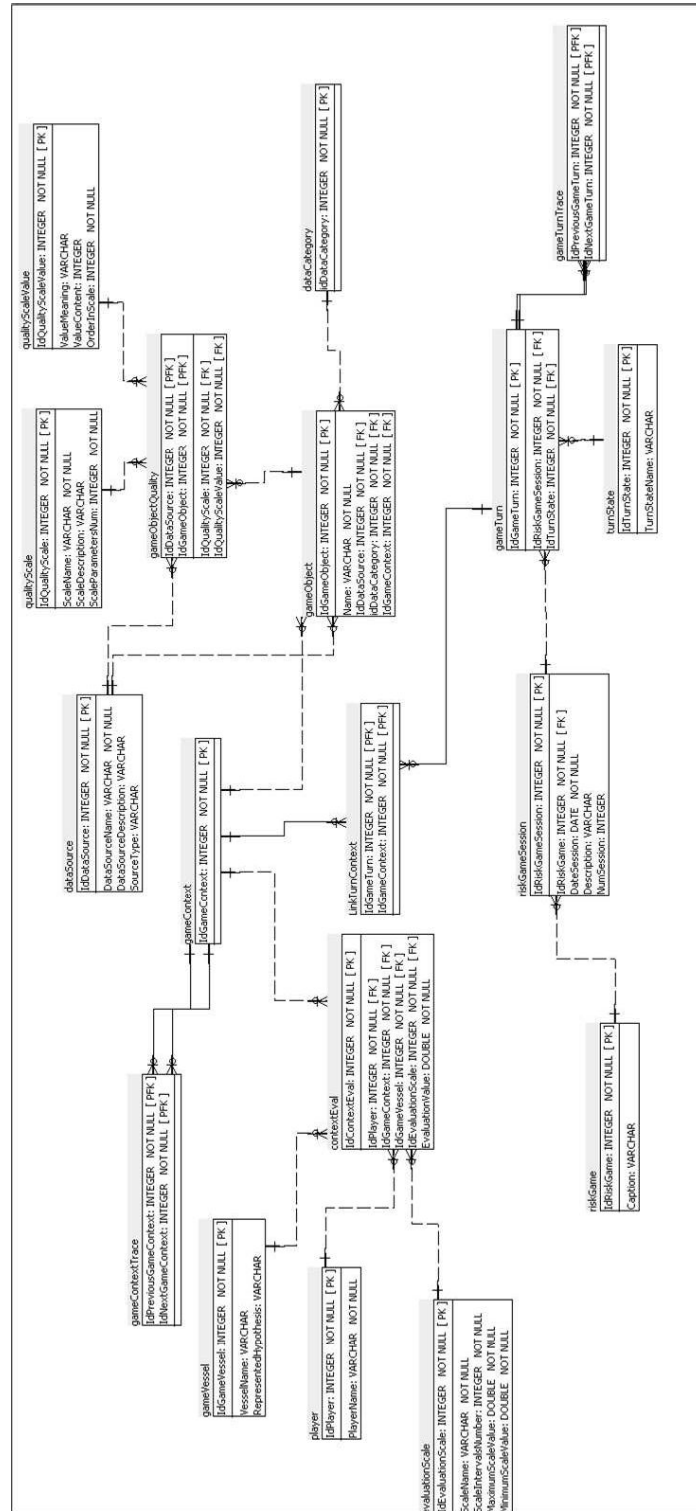


FIGURE 6.37 – RiskGame : une possibilité de modèle logique de données pour le jeu sérieux RiskGame.

Le jeu repose sur un scénario de jeu qui contient des données de jeu. Ces données sont créées pour le jeu et arrivent dans le jeu sous la forme de cartes de jeu qui contiennent des informations sur un ou l'autre des bateaux en jeu. Ces données, de différents types, en décrivant les bateaux (par leur identification ou leur comportement) nourrissent une ou l'autre des hypothèses de jeu. Le niveau d'imperfection de chaque donnée lui est associé à partir d'une échelle d'évaluation pré-définie dans le jeu, comme décrite précédemment dans la présentation du jeu. Chaque donnée est également décrite par la source dont elle provient. Toute information de jeu est déclinée avec huit niveaux d'imperfection. Le fonctionnement du jeu est au tour par tour. Chaque tour de jeu est associé à un contexte de jeu qui permet de mettre en place des évaluations de situation par le joueur calées sur les contextes de jeu. Chaque nouvelle information qui arrive dans le jeu modifie le contexte de jeu. Nous considérons alors que c'est un nouveau contexte de jeu et qu'il peut être évalué. Le joueur s'appuie sur une échelle d'évaluation pour estimer la confiance qu'il a envers une ou l'autre des hypothèses de jeu.

Pour conclure, une proposition de structure de données de jeu sérieux pour le jeu de plateau RiskGame est faite. Le fonctionnement du jeu reste simple compte-tenu des possibilités offertes par les profils [UML](#) que nous proposons et il ne s'appuie donc que sur les concepts génériques.

6.5 Implémentation de l'approche au sein d'une chaîne logicielle pour concevoir les prototypes de jeux sérieux

Cette section décrit la chaîne logicielle que nous avons développée et expérimentée sur les prototypes de jeu DecisionTrace et du jeu RiskGame. En effet, notre approche repose sur les idées proposées par l'[IDM](#), et nous avons donc conçu un prototype permettant de faciliter l'utilisation de notre démarche et l'automatisation du processus de développement informatique.

La première étape de la chaîne logicielle n'est pas à réaliser à chaque développement de prototype sauf s'il est souhaité d'enrichir les profils [UML](#) proposés avant de commencer. Son but est de définir les profils [UML](#). La création, la manipulation des profils [UML](#) et l'introduction des stéréotypes sont réalisés avec Eclipse Modeling Tools et Papyrus qui proposent un environnement pour décrire, composer et manipuler des informations structurées et intègrent la notion de profils [UML](#) nativement (Fig. 6.38). C'est cet outil qui nous a permis d'implémenter les profils présentés dans cette thèse.

La deuxième étape consiste à établir un diagramme de classes pour le prototype de jeu sérieux en opérant les sélections sur les stéréotypes utiles (Fig. 6.39). Toujours dans l'outil Papyrus, il est nécessaire de "connecter" l'environnement de travail sur les diagrammes de classes à la bibliothèque de profils. Ensuite l'affectation sur les objets (classes, associations, attributs, etc.) est possible, en prenant soin de respecter les types d'objets.

L'objectif de la troisième étape est de proposer un modèle de données pour le stockage des données des prototypes de jeu sérieux (Fig. 6.40). Cette étape peut se réaliser de façon semi-automatique entre le diagramme de classes et le modèle de données - les outils peuvent en effet être utilisés pour produire automatiquement une partie du modèle logique. Dans notre approche, le modèle logique intègre des détails non présents dans les modèles conceptuels, ainsi ils doivent être ajoutés par le concepteur. Cela permet de maîtriser les choix de modélisation entre le diagramme de classes et le modèle de données et de les raffiner le cas échéant.

6.5. IMPLÉMENTATION DE L'APPROCHE AU SEIN D'UNE CHAÎNE LOGICIELLE POUR CONCEVOIR LES PROTOTYPES DE JEUX SÉRIELUX

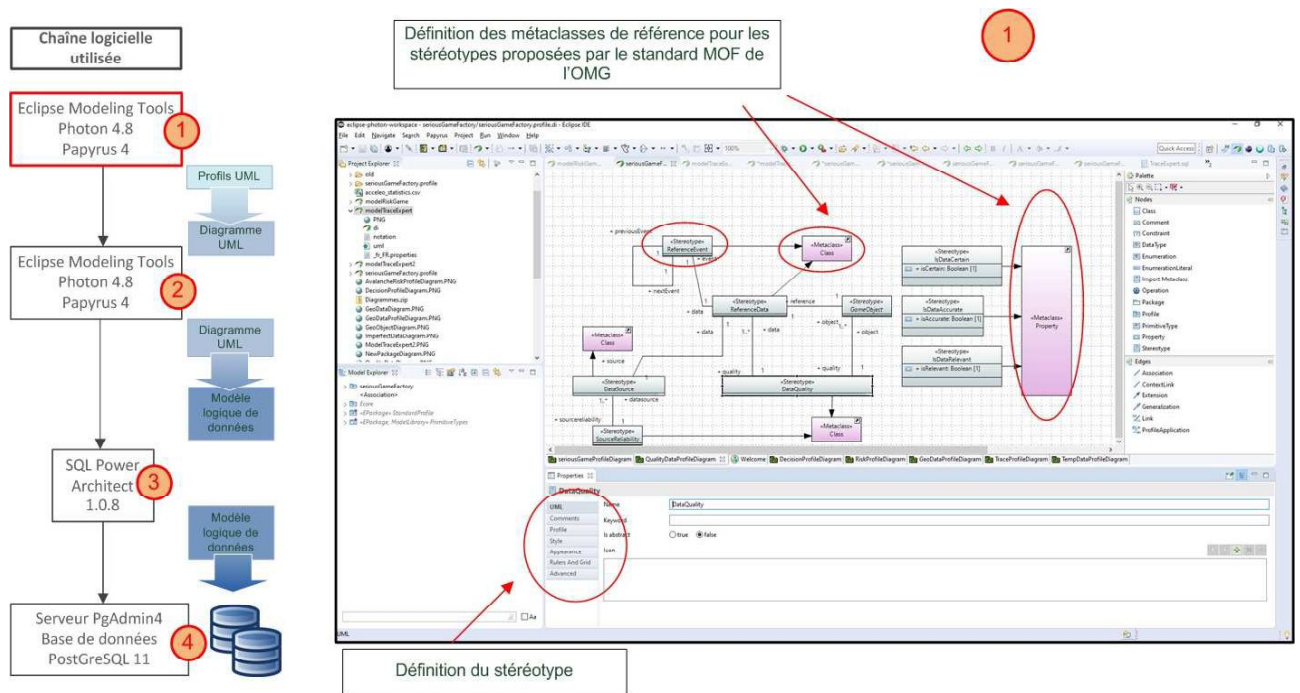


FIGURE 6.38 – Étape n° 1 de la chaîne logique : définition des profils UML sous Eclipse Modeling Tools avec Papyrus.

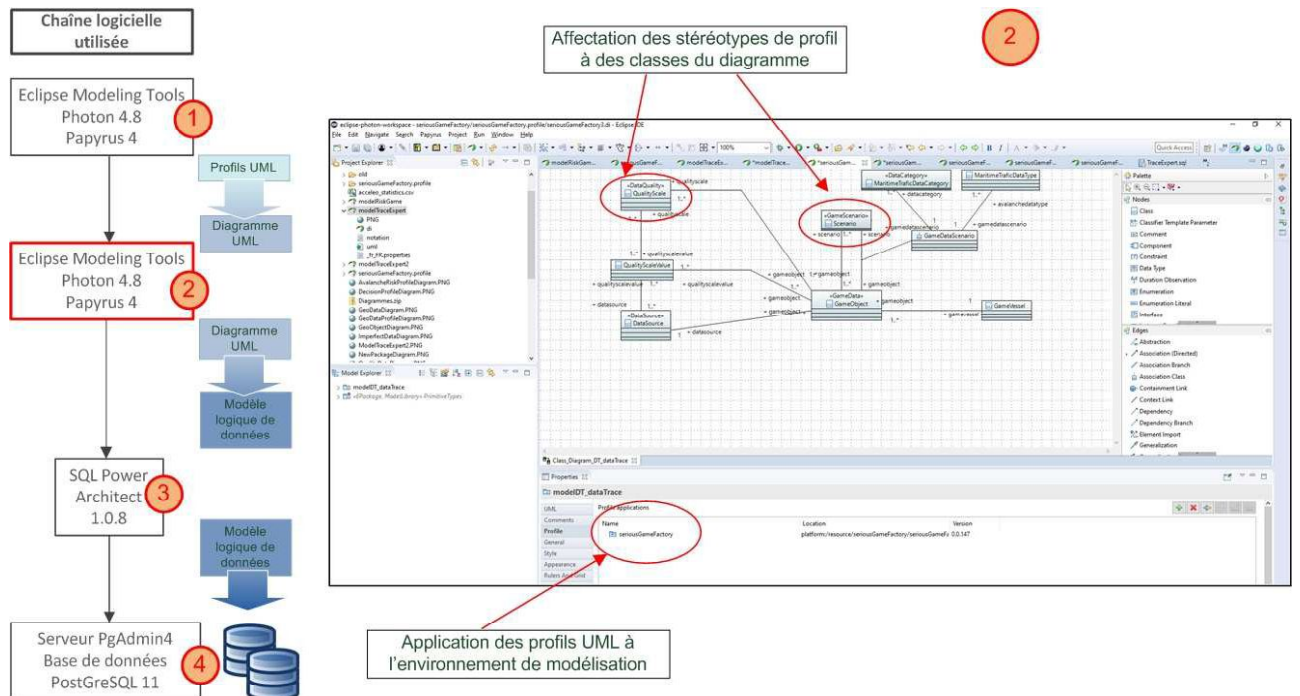


FIGURE 6.39 – Étape n° 2 de la chaîne logique : définition de diagramme de classes à partir des des profils UML sous Eclipse Modeling Tools avec Papyrus.

La dernière étape consiste en la création du schéma en base de données sous PostgreSQL. Le schéma peut être créé directement par SQL Power Architect dans la base de données en créant sim-

CHAPITRE 6. VERS UNE CONCEPTION GÉNÉRIQUE DE JEUX SÉRIEUX POUR LA CAPTURE, LA TRAÇABILITÉ ET LA CAPITALISATION DES PROCESSUS DE DÉCISION

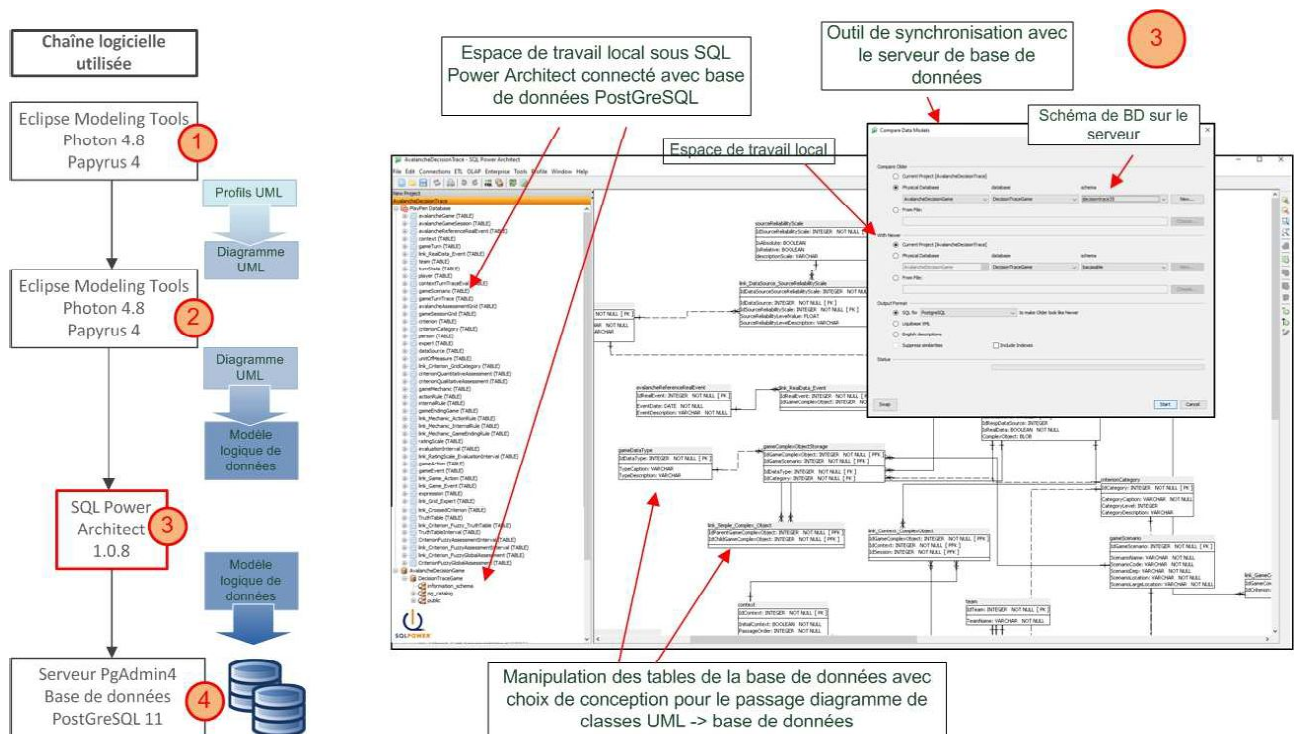


FIGURE 6.40 – Étape n° 3 de la chaîne logicielle : choix de conception entre diagramme de classes et modèle logique de données avec SQL Power Architect.

plement une connexion JDBC soit SQL Power Architect peut générer un script .sql de création de base de données qu'il faut importer dans PostgreSQL dans un second temps. La synchronisation entre l'espace de travail local sous SQL Power Architect et la base de données PostgreSQL fonctionne dans les deux sens. Une modification structurelle en base de données peut être récupérée sous SQL Power Architect (Fig. 6.41).

Nous avons donc présenté la chaîne logicielle que nous avons développée et qui a permis d'implémenter les profils au niveau du métamodèle, de les tester et d'expérimenter notre approche. Au delà de l'aspect informatique, ce travail de thèse a donné lieu à l'organisation et l'animation de sessions tests pour le jeu DecisionTrace avec des acteurs divers aux compétences variées en matière d'expertise avalanche. Le résultat a donc constitué les premiers jeux de données à étudier. Ils sont sauvegardés en base de données et font l'objet de requêtes directement en base, stockés dans des vues. PgAdmin permet en plus une manipulation simple des jeux de données via des fichiers .sql exportés/importés (Fig. 6.41).

6.6. EXPLOITATIONS ET CAPITALISATION DE DONNÉES AVEC LES JEUX SÉRIEUX CONÇUS SUR LA BASE DES PROFILS UML

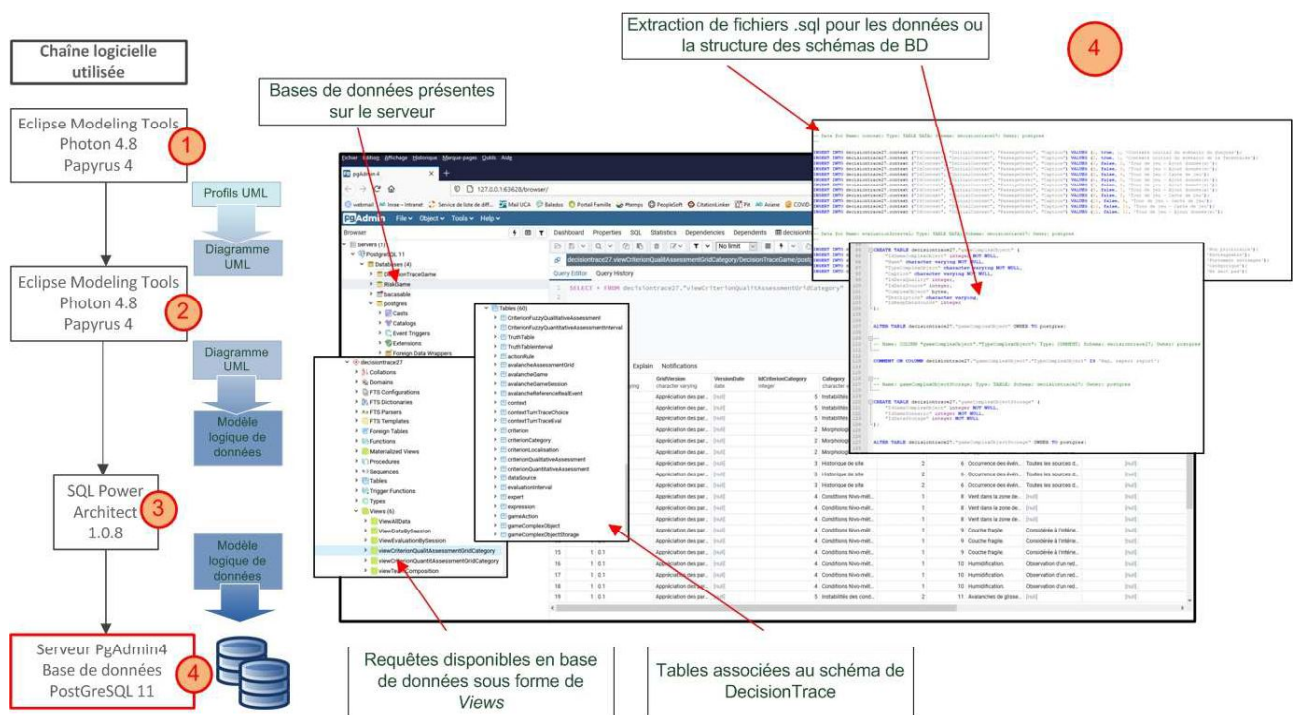


FIGURE 6.41 – Étape n°4 de la chaîne logicielle : manipulation des bases de données PostgreSQL, schémas, données, requêtes et scripts SQL avec PgAdmin.

6.6 Exploitations et capitalisation de données avec les jeux sérieux conçus sur la base des profils UML

Sur la base des structures de données présentées précédemment, voici des exemples d'interrogation des données. Certaines ont été mises en place dans le cadre du développement du prototype de jeu sérieux DecisionTrace ou pourraient l'être dans le cadre du jeu RiskGame ou d'autres jeux sérieux encore.

Requêtes généralistes possibles

Requêtes possibles sur le profil des joueurs en regard de leur sensibilité, dans la vie réelle, au risque étudié dans le jeu sérieux :

- Le niveau d'expérience des joueurs dans la vie réelle, s'ils sont considérés comme des experts scientifiques du domaine, des gestionnaires opérationnels ou s'ils sont des élus en charge du risque d'avalanche. On peut aussi observer de manière quantitative le nombre de fois où ils ont été confronté au même type de décisions proposé par le jeu et si la démarche de demande d'information est cohérente à chaque fois ;
- La composition des équipes, en faisant le lien entre leurs expériences de la vie réelle et les rôles endossés dans le jeu.

Requêtes possibles sur les données construites pour le jeu

Les deux jeux pour lesquels une structure de données est proposée construisent des données fictives de jeu inspirées de données réelles. Selon les intérêts des concepteurs de jeu, un lien avec la donnée réelle est conservé ou pas. Voici des exemples de requêtes possibles sur ces données :

- La quantité de données disponibles pour un scénario donné organisée par catégorie de données, par niveau de qualité ou par fiabilité des sources de données;
- Les données réellement utilisées dans les sessions, celles automatiquement proposées dans les contextes de jeu initiaux et celles qui sont intervenues dans la session de jeu;
- L'origine des données qui entrent dans un processus de décision (par exemple, pour la fermeture d'une route exposée à un phénomène avalanche).

Requêtes sur les raisons pour lesquelles une session de jeu s'arrête et la longueur d'une session de jeu

Les raisons pour lesquelles une session de jeu peuvent révéler une partie du raisonnement des joueurs.

- Selon les jeux, les raisons possibles de l'arrêt d'une session de jeu peuvent différer. Par exemple, dans le jeu DecisionTrace, les raisons peuvent être : la décision définitive est prise par l'équipe, l'équipe n'a pas eu le temps de décider ou l'avalanche est tombée prématurément ou le temps de jeu est écoulé. Dans le jeu RiskGame, le joueur peut prendre une décision irrévocable mais peut aussi ne rien décider, c'est une issue possible;
- Le nombre de tour de jeu nécessaire pour terminer une session de jeu qui révèle aussi le nombre d'informations (et leurs caractéristiques - niveau de qualité notamment) qui ont été nécessaires pour arriver à décider (si l'issue du jeu a bien été la décision).

Requêtes sur la référence experte sur laquelle peut se baser le jeu sérieux.

Seul le jeu DecisionTrace développe la fonctionnalité de proposer une référence experte d'analyse du risque étudié dans le jeu, en l'occurrence le risque d'avalanche. Les requêtes possibles sont les suivantes :

- L'intégralité des critères d'évaluation proposé pour l'analyse de risque d'avalanche dans ce type de situation : décision de fermeture d'une route dans un contexte de risque d'avalanche. L'importance de ces critères les uns par rapport aux autres;
- Les critères d'évaluation associés à chaque donnée de jeu. Ce qui révèle en partie le raisonnement des joueurs. Au travers des choix de données qu'ils réalisent, ils indiquent quel type de données ils souhaitent recevoir pour avancer dans leur raisonnement. Ces données étant associées à des critères d'évaluation, il est possible de déduire les critères qui ont eu du poids dans le raisonnement.

Requêtes plus spécifiques qui permettent d'étudier le processus de décision des joueurs ou de l'équipe

Requêtes sur l'orientation que l'équipe donne à la session de jeu et qui traduit la catégorie d'information qu'elle juge nécessaire en réponse au contexte donné

6.6. EXPLOITATIONS ET CAPITALISATION DE DONNÉES AVEC LES JEUX SÉRIEUX CONÇUS SUR LA BASE DES PROFILS UML

- Les choix de catégories de données réalisés par l'équipe au cours de la partie ou bien en proportion sur l'intégralité de la session. Cela traduit les catégories de données privilégiées par l'équipe;
- Les choix de catégories de données réalisés par l'équipe en fonction de la qualité des précédentes données reçues;
- Les changements de sens dans les évaluations de confiance envers une décision. Certaines sessions de jeu sont linéaires et la décision se construit peu à peu. A l'inverse, certaines données peuvent infléchir complètement un raisonnement;

A noter que l'équipe choisit la catégorie de données qu'elle souhaite recevoir pour intégrer une information nouvelle à son processus de décision. La donnée qu'elle reçoit est sélectionnée au hasard parmi les données disponibles dans cette catégorie.

Requêtes sur les évaluations que réalisent l'équipe et les joueurs à chaque modification du contexte de jeu (i.e. arrivée d'une nouvelle information)

- L'intégralité du raisonnement de l'équipe et de chacun des joueurs. Chaque nouvelle information (pourvue de son niveau de qualité) provoque une évaluation réalisée de façon individuelle par chacun des joueurs et de façon collective pour celle de l'équipe;
- Les critères d'évaluation auxquels a accès l'équipe (et les joueurs) lors de son évaluation. Notre jeu se base sur une référence experte qui associe chaque donnée de jeu aux critères potentiels d'évaluation auxquels elle donne accès.

Synthèse

Dans ce chapitre, nous avons présenté le principe d'une démarche de conception pour le développement de jeux sérieux dédiés à la capture du processus de décision, basée sur la combinaison de profils UML. Notre approche propose que le jeu conçu s'appuie sur une référence experte pour l'analyse de risque mais elle reste optionnelle. L'objectif principal de la démarche est concentré sur la conception d'une structure de données capable de stocker la traçabilité du processus de décision. Les interfaces graphiques des jeux ne sont, à ce stade, pas la priorité car la mise en situation des joueurs est pour le moment bien réelle autour d'un plateau de jeu et en manipulant les données de jeu pour plus de réalisme.

Nous avons détaillé les profils UML proposés : (1) un profil dédié à la modélisation de jeux sérieux dédiés à la capture des processus de décision, (2) un profil pour la modélisation de la traçabilité des décisions, (3) un profil pour modéliser la qualité des informations et enfin (4) un profil pour modéliser une référence experte d'analyse de risque. Le principe d'utilisation des profils UML et de leur combinaison n'empêche en rien l'usage complémentaire de profils disponibles dans la littérature si besoin (un profil pour gérer des données géoréférencées par exemple). Nous avons implémenté notre approche dans une chaîne logicielle basée sur les profils UML. Leur utilisation permet ainsi de produire des diagrammes de classes pour décrire les aspects statiques et structurels des jeux sérieux attendus de manière standardisée et en garantissant leur cohérence vis-à-vis des profils UML. En utilisant nos profils, un ensemble de jeux sérieux peut être représentés sous une même forme. Nos stéréotypes permettent d'identifier, toujours de la même façon, les points clés des jeux sérieux dans les modèles UML, et par conséquent favoriser la conception de structures de base de données normalisées pour leur traçabilité. L'étape suivante consiste à générer les structures, qui peuvent être en SQL, pour analyser les données collectées lors des sessions de jeu. Nous avons également illustré la démarche avec deux applications. La première concerne un jeu que nous avons nous-même conçu, le jeu Decision-Trace, et qui est dédié au processus de décision qui amène à fermer (ou non) une route exposée à un phénomène avalanche. La seconde concerne le jeu RiskGame destiné à un processus de décision qui amène à lancer ou non une flotte de surveillance maritime. Enfin, nous avons montré les possibilités d'analyses qu'offraient les structures de données produites.

La méthodologie que nous présentons constitue (1) un outil pour caractériser la traçabilité entre les processus de décision modélisés et les éléments architecturaux proposés par les profils, (2) un outil de capitalisation de la connaissance à un niveau *méta* dont les niveaux inférieurs de modélisation bénéficient, (3) un outil flexible où les concepteurs n'utilisent que ce qui correspond à leurs besoins et (4) un outil qui peut être enrichi au gré des processus de décision étudiés.

La méthodologie permet aussi de générer des outils (1) pédagogiques ou de sensibilisation sur un processus de décision dont l'utilisation est simple, (2) de concertation pour éliciter des processus de décision, (3) de capitalisation de la connaissance sur la formalisation des processus de décision et (4) de stockage des données collectées par les jeux sérieux.

PARTIE IV

Discussion - Conclusion

7.1 Synthèse de la problématique et de la démarche de recherche

En abordant le contexte de la gestion de l'environnement et plus spécifiquement des risques naturels, nous avons considéré que toute action et démarche d'expertise sont les résultats d'un processus de décision. Ces décisions prennent place dans des contextes dans lesquels les acteurs doivent composer avec des informations hétérogènes, caractérisées par plusieurs types d'imperfection et provenant de sources inégalement fiables.

Les méthodologies d'aide à la décision et d'analyse des processus d'expertise et de décision peuvent être mobilisées conjointement pour aborder la problématique de la traçabilité, à partir du moment où on accepte de considérer une expertise comme une série ordonnée de décisions qui interviennent dans des contextes d'information évoluant dans le temps.

Notre volonté était de contribuer à l'amélioration de la traçabilité des processus de décisions car elle est encore aujourd'hui un enjeu pour les experts et les décideurs. La société est en effet toujours plus en attente d'avis pertinents et justifiés notamment de la part des citoyens, des magistrats, etc. L'objectif est de savoir ce qui a été fait, comment cela a été fait et sur quelles bases, de manière à pouvoir l'améliorer le cas échéant. Cette approche est supportée par des tentatives de normalisation des processus d'expertise mais reste cependant perfectible. Cette thèse propose trois objectifs pour améliorer la formalisation du processus de décision associé à l'expertise ainsi que la caractérisation de la traçabilité des données et des flux d'information dans des contextes de décision incertains. Il s'est agi notamment de :

- Structurer et formaliser le processus de décision en observant, collectant et traçant les données sur lesquelles il s'est fondé, les flux de données générés et leur ordonnancement, en prenant en compte l'imperfection des données;
- Proposer les grandes lignes d'une démarche de conception informatique modulaire et réutilisable afin de produire des systèmes d'information dédiés à la capitalisation et au stockage des données de traçabilité des processus de décision (en vue de leur analyse);
- Contribuer à un cadre méthodologique de validation de la traçabilité et aussi, de manière indirecte, d'un processus de décision par comparaison à une référence externe construite à partir d'un raisonnement expert.

Ces objectifs ont permis d'identifier trois niveaux de besoins. Ceci à consister à améliorer la connaissance du processus de décision au travers de l'identification de ses différentes composantes et de leurs interactions, à imaginer une approche de validation du processus de décision et à outiller la collecte des données et la capitalisation des connaissances sur le processus de décision.

Les décisions prises diffèrent par leur nature, les acteurs impliqués, leur contexte et les actions qu'elles motivent. Améliorer la connaissance dans le processus de décision nécessite de définir les données impliquées et les imperfections observables dans les raisonnements suivis, en caractérisant et en assurant la traçabilité. Proposer une démarche d'amélioration de la traçabilité a aussi conduit à s'interroger sur la pertinence de la décision en elle-même et du même coup aborder deux volets de validation. Il s'est agi d'imaginer, d'une part, une façon de valider le contenu et le sens de la décision, et d'autre part, d'envisager un processus plus technique de capture de l'enchaînement des données entre elles.

Comme présenté dans le chapitre 3, les méthodes classiques d'ingénierie des connaissances et de collecte de données (questionnaires, interviews, revues documentaires, etc.) ne satisfaisaient pas le besoin de description dynamique des flux d'informations que nous avons pour formaliser les processus de décision. Le concept de jeux sérieux a apporté les éléments de réponse suivants.

La contribution à la formalisation du processus de décision est particulièrement importante principalement en phase de conception du jeu sérieux. Les experts et les concepteurs doivent se concerter et se comprendre pour modéliser un système qui manipule les composants du processus. L'utilisation des jeux et les retours d'expérience ont aussi ouvert aussi des débats entre les différents profils de joueurs pour partager différentes approches du processus de décision. Enfin, le jeu sérieux est un cadre de simulation maîtrisé au travers de scénarios de jeux, des données, leur niveau de qualité et des thèmes de décision par le biais d'une mise en situation ludique dans des contextes de décision réalistes. En cela, on considère obtenir une forme de *décision de laboratoire*, une sorte de zoom sur les composants du processus de décision.

Le jeu est un outil d'observation, il capture les données qui sont manipulées et leur cheminement dans le jeu, ainsi que les interactions des joueurs avec le système. Conçu pour l'étude du processus de décision, il capture toutes les informations de traçabilité qui révèlent le cheminement des joueurs pour arriver à une décision. De la même façon que l'intégralité des étapes du jeu est traçable, le processus de décision le devient lui aussi.

Le besoin d'outiller la collecte de données sur le processus de décision fait référence à la conception d'un système de collecte spécifique pour tracer les composants et les flux qui le composent. Outiller la capitalisation des connaissances concerne plutôt une prise de recul sur le processus de décision pour permettre une traçabilité interne aux raisonnements observés (composants), une traçabilité externe (les raisonnements dans des processus de décision globaux) et la comparaison avec d'autres processus de décision.

Comme présenté dans le chapitre 4, l'ingénierie des modèles a le potentiel de contribuer à capitaliser la connaissance en permettant la conception de systèmes informatisés basés sur des modèles, tout ou partie réutilisables. Un modèle est avant tout la simplification d'un *système*, conçu dans un objectif donné, qui est suffisante pour le comprendre et répondre aux questions que l'on se pose sur lui [Jézéquel et al., 2012]. Envisager alors de modéliser la conception de jeux sérieux dédiés à l'étude du processus de décision revenait à en modéliser les concepts fondateurs (les composants, les flux, l'imperfection des données, l'analyse de risque) pour pouvoir les observer, les capturer et les analyser dans des systèmes. Envisager un *méta-niveau* de modélisation pouvait positionner notre travail sur la capitalisation des modèles (pas uniquement sur ce qu'ils décrivent) en proposant un langage pour décrire ces modèles, et ainsi pouvoir proposer de nouveaux modèles.

Au final, le choix a été fait de maintenir un positionnement à la croisée des chemins entre l'expertise en risques naturels, l'aide à la décision et l'ingénierie logicielle, en particulier au travers de l'ingénierie des modèles (IDM). Ainsi, il s'est agi de tirer profit des jeux sérieux et de leurs méthodes de conception pour formaliser et capturer un processus de décision, d'en analyser les différents scénarios possibles et de constituer un environnement de décision de laboratoire complètement maîtrisé. L'IDM s'est présentée comme une alternative aux méthodes classiques d'explicitation et de modélisation des connaissances. Elle présentait deux avantages; celui de l'efficacité de simplification des concepts modélisés nécessaire à la conception de systèmes informatiques, et celui d'envisager très en amont l'implémentation d'outils sur la base des résultats de modélisation. La finalité était d'expérimenter et de valider de nouvelles approches pour capitaliser données et contribuer à l'amélioration des connaissances des processus de décision en prenant en compte le caractère incertain des environnements dans lesquels ils s'inscrivent. L'utilisation de l'IDM permettait de se fixer deux objectifs : garantir la modularité et la réutilisabilité des briques informatiques développées et se servir de la démarche analytique de conception pour formaliser le processus de raisonnement et capitaliser la connaissance.

7.2 Les apports et les limites

Les apports opérationnels et méthodologiques de ce travail concernent la formalisation et la capture des processus de raisonnement associés à l'expertise, ainsi qu'une démarche de conception informatique pour le développement de systèmes d'information pour la capitalisation des connaissances.

L'approche singulière que nous proposons s'articule autour de la conception et de l'utilisation de jeux sérieux pour l'étude des processus de décision. Le concept de jeu sérieux a une valeur ajoutée de par l'échange qu'il permet avec les joueurs et la possibilité qu'il offre de simplifier la problématique de prise de décision. Cette simplification et la recherche d'aspects ludiques induisent aussi des difficultés. Au final, ceci revient à considérer deux angles de vue correspondant d'une part à un acteur prenant sa décision sur la base des éléments dont il dispose et à l'analyste devant capturer la connaissance et la stocker. Cette dualité est représentée schématiquement par ce qui est appelé un iceberg méthodologique (Fig. 5.16, p. 118). La démarche a permis de construire la méthodologie et un support de jeu (la partie visible de l'iceberg) mais aussi de construire des démarches de recherches relatives au processus de décision et à la conception de systèmes d'information (partie immergée de l'iceberg). Les sections suivantes décrivent, pour chacune des deux visions, la façon dont les objectifs initiaux ont été atteints. Ils signalent également les limites des approches et développements réalisés.

7.2.1 Dans le domaine de l'aide à la décision et de la traçabilité des processus de décision

7.2.1.1 Formalisation, capture de flux de données, raisonnements et validation des décisions

Sur le plan de la gestion des connaissances et de la formalisation du raisonnement expert (qui fait partie de processus de décision), notre proposition principale est une approche basée sur l'utilisation des jeux sérieux pour collecter l'information et proposer un cadre de validation des processus de décision dans un contexte d'informations imparfaites.

Nos développements ont aussi permis de proposer un jeu sérieux, DecisionTrace, dédié spécifiquement à la traçabilité du processus de décision pour fermer (ou non) une route exposée à un phénomène d'avalanche.

Un jeu sérieux pour formaliser, capturer et tracer le processus de décision

L'activité de conception du jeu sérieux a fortement contribué à la formalisation du processus de décision. C'est un outil de concertation entre les experts et les concepteurs pour transposer la mécanique d'un processus de décision dans un jeu, en la simplifiant, du moins en apparence. Elle amène à identifier avec des experts une série de critères et d'actions pouvant servir de référence dans le cadre d'une analyse de risque. Cette référence permet d'établir la typologie des données nécessaires à la scénarisation du jeu. Les données de jeu sont ensuite choisies pour que ces critères techniques de description du phénomène puissent être manipulés par les joueurs. Des critères qui peuvent influencer le processus de décision à un niveau plus global sont aussi formalisés au travers de données qui modifient le contexte social ou économique de jeu, par exemple. Une dernière étape consiste à spécifier la façon dont un niveau de qualité des données est intégré dans le jeu.

Le modèle de jeu sérieux proposé permet la capture d'un processus de décision dans un cadre maîtrisé par les concepteurs. Ce modèle de jeu est basé sur la formalisation simplifiée du processus de décision établie avec les experts, et suggère qu'il se déroule de manière séquentielle pour intégrer une donnée après l'autre. Ce principe permet d'ajuster les étapes du processus de décision sur des tours de jeu. Un tour de jeu est donc l'étape d'intégration d'une nouvelle donnée dans le processus. Il débute par la demande d'une information par le joueur, se poursuit par son analyse et se termine par l'évaluation de l'influence de cette donnée sur son processus de décision. Pour que le cadre proposé soit réaliste, les données créées pour les scénarios de jeu sont inspirées d'événements du passé. Elles impliquent les critères d'appréciation d'analyse de risque définis avec les experts, et elles sont associées à un niveau de qualité, dans l'idée de reproduire les contextes incertains de décision, fréquents en matière de gestion des risques.

Une fois que le jeu sérieux est en place, il permet la capture des processus de décision des joueurs. L'analyse de ces processus et celle des évaluations de contexte des joueurs peuvent amener à identifier des composants qui ont eu une influence importante, et à modifier la formalisation du processus de décision en conséquence. La traçabilité des informations mise en place permet d'envisager des recherches sur l'influence de la qualité des informations dans les processus de décision.

Un jeu sérieux pour approcher la validation du processus de décision

L'existence d'une solution optimale et unique dans des contextes complexes de décision a été fortement contestée. Ceci a conduit à remettre en cause l'optimisation et le développement de méthodes d'aide multicritère à la décision [Schärli, 1985]. La validation d'une décision reste une problématique délicate. Notre approche est basée sur l'hypothèse qu'une décision dont le processus est bien décrit et documenté sur la base de critères choisis et hiérarchisés avec des spécialistes d'un domaine, a plus de chances d'être considérée comme valide. C'est donc une forme de validation relative ou indirecte qui est proposée.

Les systèmes d'information permettent de décrire et de stocker des séries de données connectées entre elles par un lien logique ou temporel afin d'en construire une traçabilité. Dans le cas présent,

nous avons pris le parti, peu commun, de considérer un contexte de décision réel avec les difficultés que cela engendre pour trouver un équilibre entre la diversité et la complexité des données que les joueurs doivent manipuler, et la nécessité de simplification des concepts pour proposer un cadre, qui reste un jeu. Le recours à un jeu sérieux a obligé à considérer la nature et la pertinence de la décision pour que le résultat soit crédible et présente aussi un intérêt pour les joueurs et le domaine applicatif. Au final, notre choix de jeu sérieux a donc un double intérêt et permet une double approche de validation :

- Le jeu sérieux constitue une décision de laboratoire dont toutes les étapes et données peuvent être collectées et exploitées dans l'optique de capitaliser les processus de décision. Ceci répond à la question de la possibilité de décrire l'enchaînement des actions, de les stocker mais aussi de concevoir et faire évoluer le jeu support rapidement ;
- La décision prise dans le jeu est basée sur la formalisation de données réellement utilisée par les experts. Une référence externe basée sur le principe d'un modèle d'aide multicritère à la décision est proposée pour apporter une suggestion de réponse au joueur ayant pris une décision. Ceci permet quelque part de partager des avis et le cas échéant de faire progresser sa pratique en étant mieux préparé à une véritable situation de décision et de gestion de crise.

L'application au processus de décision pour fermer une route (ou non) exposée à un phénomène d'avalanche : le jeu sérieux DecisionTrace

Le jeu sérieux, DecisionTrace, est dédié à l'étude du processus de décision pour fermer une route (ou non) exposée à un phénomène d'avalanche. Il met en situation des joueurs dans des scénarios où une prise de décision est nécessaire dans des délais très courts et sur la base d'informations plus ou moins fiables arrivant une à une. Les joueurs demandent eux-mêmes les types d'information qu'ils souhaitent pour avancer dans leur cheminement mais ne maîtrisent pas la qualité de l'information qui leur est proposée. La collecte de cette qualité de l'information est par contre réalisée pour analyser par la suite son influence sur la décision.

Dans cette démarche, le jeu RiskGame (Sec. 6.4.2, p. 166) nous a servi d'exemple et a inspiré nos développements. Les principes de décomposition du processus de décision en étapes ainsi que l'intégration d'un niveau de qualité des données ont été conservés. Nous avons cependant fait évoluer le concept pour qu'il réponde à plus de nos attentes, notamment en abordant un aspect dynamique, en allant plus loin que le principe d'un scénario s'intéressant à un seul paramètre. Le cadre de la décision considérée intègre plusieurs volets alors que le jeu modèle initial s'intéressait uniquement à une décision relative à la position d'un navire, celle-ci déclenchant mécaniquement, le cas échéant, la décision de contrôle. Dans notre approche, le processus de décision est décomposé de façon séquentielle mais il comprend des options qui permettent de prendre en compte des évolutions du contexte global de décision. Les deux jeux permettent d'envisager la façon dont la décision est prise.

Nous avons imaginé de nouvelles fonctionnalités par rapport au concept de jeu initial. Elles comprennent notamment la prise en compte de la fiabilité des sources, la traçabilité des données de jeu en cohérence avec celles utilisées en réalité et enfin, la proposition d'une référence experte d'analyse de risque permettant de fournir un retour au joueur quant à la pertinence de la décision qu'il aurait prise.

En pratique, le jeu est accompagné de deux scénarios complets. Un guide d'élaboration de scénarios pour le jeu DecisionTrace est également proposé (Cf. Annexe A, p. 211). Le développement d'un

scénario s'avère en effet complexe car les données, certes inspirées de faits réels, doivent être adaptées et simplifiées. Elles sont d'abord collectées puis manipulées (principe d'association du niveau de qualité essentiellement) ou adaptées en concertation avec de vrais acteurs du terrain pour conserver un maximum de réalisme. Un scénario abouti comprend environ 200 données dont certaines sont très élaborées (rédaction d'un contexte de scénario, par exemple). Certaines données ont été conçues pour être réutilisables d'un scénario à l'autre. Certaines parties restent très spécifiques et liées à un scénario notamment toutes les informations qui ont trait à l'identification de la zone, les cartes ou les témoignages.

Pour expérimenter le concept, la version plateau (un support physique, des cartes, des dés, etc.) du jeu sérieux DecisionTrace a fait l'objet de sessions de tests, organisés dans le cadre de la thèse, avec un panel de joueurs représentatifs de divers niveaux de compétence dans le domaine de l'analyse du risque d'avalanche ou de la prise de décision pour la gestion des infrastructures exposées aux phénomènes naturels. Ceci a constitué un premier jeu de données (Cf. section 5.5.3).

7.2.1.2 Les limites de l'approche basée sur les jeux sérieux, des développements de formalisation, de capture des flux de données et des raisonnements, et de validation des décisions

Les limites de l'approche et des développements sont envisagés sur les plans opérationnels et méthodologiques.

Les limites de l'approche pour formaliser et capturer le processus de décision

Lorsqu'un joueur prend en compte une information pour prendre une décision, on considère que cette information est importante et que ses différentes composantes le sont également. L'intégration de ces données est réalisée séquentiellement mais repose sur une hypothèse préalable relative à la caractérisation de la complexité d'une donnée. Par exemple, le contexte de jeu présenté en début de scénario est un dossier d'informations, ce qui implique que la première évaluation de contexte, demandée au joueur, concerne finalement plutôt un lot de données ou une donnée composite. Dans notre cas, un autre exemple est l'analyse d'une carte géographique. C'est un type de donnée qui contient plusieurs informations pouvant être associées à des niveaux de qualité variables. Une carte peut décrire les surfaces de la zone de départ et d'arrivée, ainsi que leurs pentes respectives, alors que chacune de ces informations considérée isolément pourrait avoir une importance spécifique dans l'analyse de risque.

Les sessions de jeu se déroulent à plusieurs et la décision peut être assimilée à une décision de groupe. Dans ce cadre, l'influence des autres joueurs est difficilement mesurable. En pratique, chaque joueur évalue le nouveau contexte de jeu sur la base de la nouvelle donnée fournie. Ensuite, une concertation en équipe est réalisée pour produire une évaluation de contexte au nom de l'équipe. En théorie, les joueurs ne sont donc pas influencés lors de leur évaluation personnelle mais la succession de tours de jeu et les échanges réguliers avec les autres joueurs ont forcément une certaine influence. La personnalité, le niveau de connaissance d'un participant peut également modifier la perception des autres joueurs. Ce genre de biais connu dans les processus d'expertise n'est pas géré par le jeu dans sa version actuelle.

Les limites de l'approche envisagée pour valider un processus de décision

L'approche de validation du processus de décision que nous proposons repose sur une comparaison du processus de décision du joueur avec une référence experte d'analyse de risque. Actuellement, cette proposition pourrait être améliorée en tenant compte d'une plus grande diversité de critères. Les critères qui influencent le processus de décision et qui sont comparables à la référence experte ne traitent que des aspects techniques liés à l'analyse de risque. Des critères externes (sociaux ou économiques par exemple) ne sont pas pris en compte dans l'analyse experte et manquent d'un référentiel de comparaison qui leur serait dédié. Les éléments (critères) essentiels sont identifiés pour permettre l'implémentation des modèles d'aide multicritère à la décision.

Une autre limite de l'approche est la finesse d'interprétation du processus de décision du joueur. Le lien entre une donnée de jeu et les critères d'appréciation qui font partie du processus de décision du joueur est supposé. Pour reprendre l'exemple de la carte, précédemment évoquée et en supposant que sa qualité soit suffisante, elle constitue une donnée unique qui permet d'apprécier au moins quatre critères (les surfaces de la zone de départ et de la zone d'arrêt, les pentes moyennes de ces deux zones). Éventuellement, elle peut permettre l'évaluation d'un cinquième critère avec la présence d'un ouvrage de protection (ou son absence). A aucun moment, la question des critères réellement pris en compte par le joueur n'est formulée. Le jeu repose donc de façon implicite sur les hypothèses faites sur la base d'avis d'experts mobilisés pour sa conception. Cette analyse préalable ne constitue pas la vérité absolue, elle pourrait être enrichie, complétée, confrontée à d'autres points de vue. On fait également l'hypothèse que le joueur a perçu et considéré toutes les informations qu'une donnée composite pourrait apporter, ce qui peut ne pas être le cas dans des situations réelles.

Pour conserver un aspect ludique et réaliste dans le fonctionnement du modèle de jeu sérieux que nous proposons, nous avons choisi d'introduire une part de hasard dans le jeu. Une fois une session de jeu lancée, l'ordre et le type de donnée vont dépendre des choix des joueurs. La séquence n'est donc pas prévue à l'avance. La mise en place de la traçabilité en est d'autant plus nécessaire. Ceci empêche par contre la comparaison de deux sessions de jeu par deux équipes sur le point de vue strict de la séquence de données manipulées.

Actuellement, l'exploitation des données obtenues par le joueur dans le cadre d'un modèle d'aide multicritère (type AHP) n'est pas réalisée de manière dynamique, c'est à dire avec une mise à jour de la décision idéale à chaque tour de jeu. Rappelons ici qu'il s'agit d'être capable de dire au joueur si, sur la base des informations dont il disposait, la décision qu'il a prise de fermer la route ou de la laisser ouverte était une "bonne" décision. Elle peut être réalisée a posteriori une fois la séquence intégrale des données connue. La proposition qui est faite est de tendre vers une telle solution sans l'avoir formellement mise en œuvre et associée aux développements. Cette étape complémentaire consisterait à envisager l'intégration de critères de nature économiques ou sociales car le jeu DecisionTrace intègre ces formes de pression au travers de cartes de jeu mais ne prévoit pas d'évaluation spécifique de critères associés à ces domaines. Enfin, une dernière étape consisterait à prendre en compte l'imperfection des données dans le modèle multicritère d'aide à la décision, en implémentant une méthode multicritère gérant les différentes formes d'imperfection identifiées (imprécision, incomplétude, conflit, incertitude). Ceci est possible mais compliquera aussi la compréhension du mode d'analyse par les joueurs. Un modèle multicritère hiérarchique de type AHP est facilement explicable, un modèle qui tient compte de l'imperfection l'est moins.

Les limites du jeu sérieux DecisionTrace

Malgré son intérêt, le jeu sérieux DecisionTrace présente un certain nombre de limites. Dans sa version actuelle, le jeu de plateau DecisionTrace, ne contient que deux scénarios de jeu. Ils sont très spécifiques (localisation, contexte initial de scénario). Ainsi, lorsque les scénarios sont rejoués plusieurs fois, les joueurs peuvent facilement mémoriser une partie des informations. Cette localisation très spécifique peut aussi poser problème si des joueurs connaissent déjà la zone. Ils peuvent ainsi avoir une connaissance de son historique, voire connaître précisément l'événement dont est issu le scénario. Dans ce cas, ils pourraient se souvenir de la décision prise. La diversité des cas de simulation est donc limitée et s'en tient à un seul type de décision (celui de la fermeture ou non d'une route exposée à un phénomène avalanche). Les modèles d'aide multicritère à la décision, qui peuvent contribuer à une forme de validation du raisonnement expert, sont partiellement développés.

7.2.2 Dans le domaine de la conception de systèmes d'information

Sur le plan informatique, notre proposition principale qui s'inscrit dans le cadre fixé par l'IDM consiste à définir une méthodologie de conception de jeux sérieux dédiés à l'étude des processus de décision. L'approche est basée sur le principe d'extension d'UML qui est à l'origine un langage de modélisation à usage général. Notre but a été de personnaliser le langage pour modéliser des jeux sérieux spécifiques. Nous utilisons les profils UML comme des mécanismes d'extension qui incluent des stéréotypes pour organiser les éléments des modèles. Nous mettons à disposition des modélisateurs quatre profils UML qui structurent la formalisation des concepts principaux : la mécanique du jeu sérieux, la traçabilité du processus de décision, la prise en compte d'un niveau de qualité des informations et la référence à une analyse de risque experte.

7.2.2.1 Les apports dans le domaine de la conception de systèmes dédiés à la traçabilité des processus de décision

Les grandes lignes de la méthodologie que nous proposons sont présentées dans le chapitre 6. Elles permettent de modéliser de manière uniforme des jeux sérieux, que nous considérons dans notre approche comme des systèmes de traçabilité des processus de décision. Les stéréotypes des profils UML permettent de représenter les éléments communs et réutilisables dans les modélisations de différents jeux. Les éléments spécifiques à chaque jeu sérieux apparaissent directement dans les modélisations. Le déroulement de la méthodologie aboutit à une structure de données qui stocke les données de traçabilité des processus de décision observés dans le jeu. Les données collectées permettent alors de reconstituer le processus de décision. La phase de modélisation d'un système est toujours délicate et compliquée de par la diversité des acteurs qui interviennent (différences de vocabulaires, points de vue). La proposition de profils UML constitue une base pour aider à la compréhension et offre un cadre unifié de modélisation.

Le principe d'utilisation des profils UML et de leur combinaison permet l'usage complémentaire de profils disponibles dans la littérature, si besoin (un profil pour gérer des données géoréférencées par exemple). L'utilisation de ces profils permet de produire des diagrammes de classes pour décrire les aspects statiques et structurels des jeux sérieux attendus. Il est ensuite facile de générer de manière automatique (ou semi-automatique) les structures statiques (par exemple, les bases de données relationnelles) utiles pour stocker et analyser les données collectées lors des sessions de jeu. Afin d'expérimenter notre approche, nous avons utilisé deux applications. La première concerne le jeu que nous avons conçu et, qui est dédié au processus de décision, porte sur le risque d'avalanche. La seconde application concerne le jeu RiskGame [Jousselme et al., 2015] qui est destiné au processus

de décision amenant à lancer une flotte de surveillance maritime. Nous avons montré les possibilités d'analyses qu'offraient les structures de données produites.

L'utilisation de nos profils UML garantit une représentation commune pour tous les jeux sérieux modélisés. Grâce à la méthodologie que nous proposons, il est donc possible de modéliser les concepts de façon unifiée, ce qui facilite leur réutilisation. Nous proposons un outil évolutif et flexible de capitalisation de la connaissance, défini à un niveau *méta* qui structure les niveaux inférieurs de modélisation. Il est dédié à la formalisation des données, des processus de décision et des raisonnements.

7.2.2.2 Les limites concernant la méthodologie de combinaison de profils UML pour concevoir des jeux sérieux

Nous avons identifié les limites suivantes dans la méthodologie de conception.

La proposition que nous faisons fixe les grandes lignes d'une méthodologie de conception. Dans le cadre de cette thèse, il s'agit de premières propositions. Nos expérimentations nous ont permis d'obtenir un premier niveau de validation sur des cas concrets, mais notre approche pourra bien sûr être améliorée et raffinée au fil d'expérimentations futures. Notre approche est basée sur l'utilisation du langage de modélisation UML (qui est un formalisme et non une méthode) et du mécanisme de profils. L'utilisation des profils nécessite l'appropriation du langage UML et des environnements logiciels associés pour le manipuler. Nous proposons aussi une chaîne logicielle pour notre approche qui pourra être automatisée par la suite.

Les expérimentations réalisées sur la conception des deux jeux sérieux gagneront à être complétées. Les profils UML devraient être réinterrogés avec la conception de la structure de données d'un nouveau jeu sérieux aussi complexe que DecisionTrace, notamment avec la prise en compte d'une référence experte et l'utilisation de la méthode AHP.

La validation de la méthodologie proposée est approchée sans être formelle. Elle nécessite des itérations de déroulement de la méthodologie dans des cas divers et réels de conception de structure de données pour les jeux sérieux. Tout comme pour le jeu sérieux DecisionTrace, il est important de travailler sur la base de jeux sérieux construits avec des données réelles, seule manière, selon nous, de se confronter aux difficultés liées à l'hétérogénéité et aux spécificités des types de données. Elle peut passer par des confrontations à de nouveaux jeux sérieux de façon itérative comme peuvent le proposer les travaux de [Hevner et al., 2004] et permettre de détecter les incohérences de modélisation. Le but, une fois ces incohérences détectées, est d'apprendre, mettre à jour et itérer sur la modélisation. Il fournit des lignes directrices pour aider à la création et à l'évaluation d'artefacts, comme un modèle, une méthode ou une instanciation (telle qu'une application prototype). Cela en admettant que la conception optimale est souvent insoluble pour des problématiques de systèmes d'information réalistes.

7.3 Les perspectives

Les apports et les limites précédemment décrites constituent autant de pistes de perspectives que nous décrivons ci-dessous sur les plans opérationnels et méthodologiques.

7.3.1 Développer l'outil de recherche que représente le jeu sérieux DecisionTrace

Aujourd'hui, le jeu DecisionTrace peut être exploité, questionné et remodelé pour développer les recherches qu'il peut alimenter.

7.3.1.1 Les évolutions qui peuvent être envisagées sur les fonctionnalités et la portée du jeu DecisionTrace

Sur la base du jeu actuel, plusieurs évolutions peuvent être envisagées pour affiner la formalisation du processus de décision tant au niveau du contexte thématique d'analyse que du cadre de déroulement du jeu. Les pistes d'amélioration consisteraient à :

- Améliorer la connaissance du type de processus de décision "*Acter la fermeture (ou non) d'une route exposée à un phénomène d'avalanche*" en multipliant les scénarios de jeux;
- Diversifier des types de processus de décision qui peuvent s'appuyer sur la même analyse du risque d'avalanche que celle dans le jeu. Il s'agit, par exemple, des décisions opérationnelles comme l'évacuation d'une zone ou le confinement de personnes ou encore de décisions techniques comme le tracé d'une carte de risque;
- Affiner la formalisation du processus de décision en envisageant que les joueurs indiquent factuellement les critères d'appréciation qu'ils utilisent lorsqu'ils analysent une donnée composée. Le niveau d'appréciation deviendrait plus fin.
- Traiter des types de processus de décision plus techniques en proposant des niveaux de difficulté dans le jeu, comme par exemple, des scénarios plus complexes pouvant donner lieu à des profils de joueur "expert" et "débutant". Les tracés de cartes d'aléa ou de risque sont, par exemple, des formes de processus de décision très techniques.

Pour contribuer à la formalisation du processus de décision, les fonctionnalités du jeu sérieux pourraient évoluer soit en perfectionnant l'existant, soit en développant de nouvelles fonctionnalités.

Sur la base de l'existant, les évolutions possibles sans nouveau développement pourraient être de :

- Proposer une alternative à la référence experte d'analyse de risque, pour avoir un (ou plusieurs) autre(s) moyen(s) de comparaison du processus de décision du joueur;
- Intégrer une nouvelle façon d'évaluer et d'affecter la qualité des informations et/ou un la fiabilité des sources de données pour développer la recherche sur la prise en compte des imperfections dans les processus de décision;
- Modifier les échelles d'évaluation des contextes de décision pour que le joueur puisse, par exemple, être plus précis dans les retours qu'il fait au jeu sur l'évolution de son raisonnement.

S'agissant de nouvelles pistes d'évolutions, nous pourrions :

- Ajouter de nouvelles pressions de type économique sur la prise de décision, notamment, l'évaluation financière des conséquences (par exemple, le coût de la fermeture d'une route si cela occasionne de condamner le seul accès à une station de ski) ;
- Provoquer des conséquences en cascade (coupure des réseaux d'électricité, d'eau, téléphoniques, etc.). Le décideur se trouve alors confronté à un problème plus large : un maire qui aurait à se positionner sur la fermeture possible d'une route communale ne peut occulter pendant ce temps les autres sources de problèmes qui entrent alors en jeu dans son processus de décision.

7.3.1.2 Les évolutions qui peuvent être envisagées pour faciliter les analyses de données collectées par le jeu

À l'heure actuelle, la démarche aboutit à une structure de données qui permet de stocker les données collectées sur les processus de décision opérés par les joueurs dans les différentes sessions de jeu. Les données brutes sont donc interrogeables directement dans la base de données et, il est possible d'extraire, d'exporter et de mettre en forme ces données pour des traitements statistiques ad-hoc.

Au-delà de l'interrogation directe de la base de données (par exemple en SQL), différents types d'interfaces utilisateurs peuvent être envisagées :

- Une sortie graphique des résultats fondée sur des requêtes prédéfinies. L'utilisateur final peut consulter les données collectées sous une forme tabulaire ou graphique, à partir de certains types de requêtes proposés par le concepteur ;
- La proposition d'une interface spécifique de visualisation et de manipulation des données, grâce au développement d'un nouveau DSML, avec des outils comme Eclipse Sirius. Il sera ainsi possible de personnaliser la visualisation de certaines données en utilisant une représentation sous forme de graphes ou de diagrammes interactifs, qui permettront d'afficher, par exemple, les joueurs, les données qu'ils ont obtenues, leurs évaluations, etc.

Des méthodes devront aussi être précisées pour :

- Comparer les processus de décision des joueurs entre eux ou avec le processus de décision de l'équipe, au sein d'une même session de jeu ;
- Comparer les processus de décision suivis par les joueurs à la référence experte, pour une même session ;
- Comparer les processus de décision, les données utilisées, les niveaux d'imperfections des données impliquées, pour des sessions de jeu différentes mais basées sur le même scénario de jeu.

7.3.1.3 Développer l'utilisation opérationnelle du jeu sérieux DecisionTrace en version plateau

Dans le cadre des formations qu'elle propose, l'ANENA (Association Nationale pour l'Etude de la Neige et des Avalanches), qui a contribué à la conception du jeu, souhaite utiliser la version plateau du jeu sérieux DecisionTrace comme outil de sensibilisation à l'importance de la prise en compte de l'imperfection des données sur la prise de décision. Ceci pourrait permettre de collecter des volumes importants de données de jeux. Il faudra, dans ce cas, envisager d'étendre le catalogue de scénarios que cette version propose.

7.3.2 Développer un observatoire du processus de décision pour améliorer sa formalisation et approcher une forme de validation

A l'échelle d'un jeu sérieux donné, nous avons identifié le potentiel de nos recherches, ainsi que leurs limites. A une échelle plus intégratrice, nous pouvons imaginer une forme d'observatoire des processus de décision qui s'appuierait sur plusieurs jeux sérieux. L'objectif ultime serait l'étude du processus de décision, les jeux sérieux n'étant que les moyens pour les observer. Cet observatoire contribuerait à formaliser et à capturer les processus de décision ainsi qu'à définir de nouvelles approches de validation.

7.3.2.1 Améliorer les méthodes de conception et les outils de capture des processus de décision pour affiner la formalisation de ces processus

Notre méthodologie et nos profils [UML](#) ont été expérimentés sur deux jeux. Néanmoins, nos profils et nos méthodes pourront être étendus au fil des expérimentations sur de nouveaux jeux, toujours avec un objectif de capture de processus de décision. Confronter notre méthodologie à de nouveaux cas permettra d'améliorer nos profils et de détailler certaines étapes de notre démarche. Les profils UML devraient être en effet expérimentés avec la conception de nouveaux jeux sérieux au moins aussi complexes que DecisionTrace, et intégrant par exemple la prise en compte d'une référence experte et l'utilisation de la méthode AHP ou d'une autre méthode équivalente. Il est par exemple possible de tester notre approche avec de nouveaux jeux sérieux de façon itérative, comme proposé par [Hevner et al., 2004](#). Il est important de noter que la production de scénarios de jeux est coûteuse, en raison des nombreuses données qu'il faut collecter et manipuler.

7.3.2.2 Contribuer à la validation du processus de décision

Pour soutenir le décideur dans son choix, l'aide à la décision propose l'évaluation d'une alternative. Notre travail suppose l'application d'une méthode de type [AHP](#) pour compléter la démarche. Elle pose d'abord les problèmes de décision en déterminant les critères impliqués dans les processus et en les hiérarchisant en fonction de leur importance. C'est déjà une étape de formalisation importante. Elle détermine ensuite le poids d'une alternative pour trouver celle à privilégier. Pour intégrer à cette approche la prise en compte d'évaluations imprécises, on envisage l'utilisation du framework [ER MCDA](#).

L'approche pourrait prendre en compte les critères qui dépassent le cadre strict de l'analyse de risque et qui touchent aux aspects économiques ou sociaux. Un travail de formalisation et d'interprétation paraît encore nécessaire pour pouvoir les hiérarchiser.

Nous imaginons aussi que le joueur puisse avoir un soutien immédiat grâce à l'aide à la décision dès qu'une nouvelle information est intégrée au jeu. Dans le jeu, cela tendrait vers une systématisation de la production d'un résultat de modèle d'aide à la décision. Les joueurs auraient à le considérer comme une nouvelle forme de donnée qui vient s'intégrer au processus de décision global. Dans le cadre de l'observatoire, le déploiement systématique de cette démarche, pour chaque processus de

décision traité par un jeu sérieux, participerait aux recherches sur la prise en compte des imperfections dans les modèles d'aide à la décision.

Toutefois, la validation des modèles d'aide à la décision est déjà une problématique connue. Elle repose sur l'idée qu'une meilleure alternative est connue (une meilleure décision), alors que le concept même de la meilleure décision n'est pas admis.

7.4 Conclusion finale

Comme beaucoup de travaux en conception de systèmes d'information, les résultats de cette thèse sont à l'interface de plusieurs domaines. Le choix a été fait de développer l'approche informatisée qu'elle présente en connexion forte avec l'ensemble de la chaîne d'analyse de risque et plus largement de gestion des risques naturels. Les processus de décision, les besoins de description et de formalisation évoluent dans le temps et les outils informatisés qui peuvent contribuer à améliorer leur élicitation doivent être suffisamment évolutifs. Cette thèse répond à cette exigence d'évolution en proposant un outillage singulier pour l'étude du processus de décision. La capitalisation des données associées, son exploitation et son enrichissement doivent être poursuivis. Les principes de construction des modèles, qu'ils soient informatiques ou d'aide à la décision, contribuent à l'explicitation des raisonnements dans les processus de décision. Ce travail montre que leur intérêt tient tout autant dans la phase de construction que dans l'utilisation qui peut en être faite. Pour que les auteurs des expertises et les décideurs s'approprient le point de vue alternatif qui est proposé, ils doivent être co-construits. Le lien entre l'information, sa qualité et la décision était connu mais il restait à le matérialiser en pratique, dans des contextes de décision réels pour démontrer l'influence de la qualité des informations sur la décision. Ce travail de thèse a contribué à améliorer l'observation des processus et à sensibiliser formellement ce point. Il propose un outillage pour observer et sensibiliser les acteurs à leur prise en compte de façon intégrée dans la gestion des risques naturels.

- Philippe, F., Jonas, E., Vidaud-Barral, L., Piazza-Morel, D., Arlot, M. P., Maldonado, E., and Tacnet, J. M. (2019). Maia, un modèle de données support de la démarche d'adaptation. *Sciences Et Territoires*, (166). [193](#)
- Vidaud-Barral, L., Pinet, F., and Tacnet, J.-M. (2019a). Uml-based modelling of information systems for serious game traceability : Application to decision support for avalanche risk. In *EWG-DSS 5th International Conference on Decision Support System Technology, Madeira, Portugal, May 27 - 29, 2019*. [193](#)
- Vidaud-Barral, L., Pinet, F., Tacnet, J.-M., and Joussetme, A.-L. (2020). Combining uml profiles to design serious games dedicated to trace information in decision processes. *International Journal of Information System Modeling and Design (IJISMD)*, 11(2) :1-27. [193](#)
- Vidaud-Barral, L., Tacnet, J. M., Pasquier, X., Pinet, F., and Joussetme, A. L. (2019b). Decisiontrace : un jeu sérieux d'immersion dans la prise de décision lors d'une situation de risque avalanche. *Neige et Avalanches*, (166). [193](#)
- Vidaud-Barral, L., Tacnet, J.-M., and Pinet, F. (2016). Modeling information quality and traceability in risk management and decision processes : Application to mountain natural hazards. In *ESREL, Glasgow, Scotland, UK, September 25 - 29, 2016*, page 276. CRC Press. [193](#)
- Vidaud-Barral, L., Tacnet, J. M., Pinet, F., Pasquier, X., Escande, S., Duclos, A., and Joussetme, A. L. (2018). How can (serious) gaming help to trace and improve snow avalanche expertise process? an innovative methodology and application to roads risk management. In *ISSW 2018 International Snow Science Workshop*. [193](#)

- Abdellaoui, M. and Gonzales, C. (2006). Théorie de l'utilité multiattribut. In *Concepts et méthodes pour l'aide à la décision (Vol. 3) : analyse multicritère*, pages 25–62. Hermes Lavoisier, Paris. 52
- Abt, C. C. (1987). *Serious games*. University press of America. 71
- AFNOR (2003). Norme française NF X 50-110 - qualité en expertise : Prescriptions générales de compétence pour une expertise. Technical report, AFNOR (Association Française de Normalisation), Saint-Denis La Plaine. 18, 45, 46, 205
- Albinet, A., Boulanger, J., Dubois, H., Peraldi Frati, M., Sorel, Y., and Quang Dao, V. (2007). Model-based methodology for requirements traceability in embedded systems. In *Proceedings of 3rd European Conference on Model Driven Architecture® Foundations and Applications, ECMDA'07*. 54
- Altunbay, D., Metin, M.-G., and Çetinkaya, M.-E. (2009). Model-driven approach for board game development. In *First Turkish Symposium of Model-Driven Software Development (TMODELS), Ankara, Turkey*. 82, 83, 135, 206
- Alvarez, J. (2007). *From Video Games to Serious Game*. Theses, Université Toulouse. 71
- Alvarez, J., Djaouti, D., and Rampnoux, O. (2012). *Introduction au Serious Game - Serious Game an Introduction (French and English)*. 81
- Amar, B., Falleri, J.-R., Huchard, M., Nebut, C., and Leblanc, H. (2008). Un framework de traçabilité pour des transformations à caractère impératif. In *LMO*, pages 139–152. 54
- Ansoff, H. I. (195). *Corporate strategy, an analytic approach to business policy for growth and expansion*. 35
- Aouadi, N., Pernelle, P., Amar, C. B., and Carron, T. (2016). Mda approach for reusability in serious game and e-learning design. In *International Conference on Web-Based Learning*, pages 206–212. Springer. 82, 85, 143, 206
- Arduin, P.-E. and Tounkara, T. (2014). Évaluer les contextes favorables à l'utilisation d'un système d'information pour supporter le transfert de connaissances. In *INFORSID 2014 : Informatique des Organisations et Systèmes d'Information et de Décision*, Paris, France. 66, 68, 206
- Arnaud, A. and Davoine, P.-A. (2009). Approche cartographique et géovisualisation pour la représentation de l'incertitude. 53, 206
- Bendaoud, M. (2008). *Contributions méthodologiques et conceptuelles à la conception, la Gestion et l'Amélioration des Systèmes de Tracabilité des Produits Alimentaires : Application à l'industrie d'abattage et transformation de la volaille*. PhD thesis, Ecole Centrale Paris. 43, 44, 45, 54, 205
- Boubaker, L., Djebabra, M., and Gondron, N. (2006). Contribution à la capitalisation de la connaissance environnementale. *Revue RIST*, 16(2) :105–112. 66, 67, 206

- Bouchon, S. (2006). L'application du concept de vulnérabilité aux infrastructures critiques : quelles implications pour la gestion territoriale des risques? In *Annales des Mines-Responsabilité et Environnement*, volume 43, pages 35–41. 26, 205
- Browning, T. R., Fricke, E., and Negele, H. (2006). Key concepts in modeling product development processes. *Systems Engineering*, 9(2) :104–128. 76
- Carladous, S. (2017). *Approche intégrée d'aide à la décision basée sur la propagation de l'imperfection de l'information - application à l'efficacité des mesures de protection torrentielle*. PhD Thesis. PhD thesis, Université de Lyon, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, France. 45
- Chan Hew Wai, A., Moutel, E., Borel, C., Ait Aissa, T., and Le Jouan, M. and Le Gonidec, P. (2016). Traçabilité sanitaire des dispositifs médicaux implantables : Etat des lieux des organisations au sein des établissements d'ile-de-france. *Le Pharmacien Hospitalier et Clinicien*, pages -. 54
- Charlet, J. (2005). L'ingénierie des connaissances, une science de gestion. *Teulier R. et Lorino P, coordinateurs, Entre la connaissance et l'organisation, l'activité collective, chapitre*, 11. 69
- Chengalur-Smith, I. N., Ballou, D. P., and Pazer, H. L. (1999). The impact of data quality information on decision making : an exploratory analysis. *IEEE transactions on knowledge and data engineering*, 11(6) :853–864. 55
- Combemale, B. (2008a). *Approche de métamodélisation pour la simulation et la vérification de modèle-Application à l'ingénierie des procédés*. PhD thesis, Institut National Polytechnique de Toulouse-INPT. 213
- Combemale, B. (2008b). Ingénierie dirigée par les modèles. état de l'art. *Management*, pages 1–19. 76
- Dai, H., Tseng, M.-M., and Zipkin, P.-H. (2015). Design of traceability systems for product recall. *International Journal of Production Research*, 53(2) :511–531. 54
- De Oliveira, M. (2010). *La gestion des connaissances territoriales au service de l'élaboration d'un Plan de Prévention des Risques d'Inondation : le cas du bassin de thau*. PhD thesis, Université Paul Cézanne - Aix Marseille III. Institut de Management Publis et Gouvernance Territoriale. 29, 205
- Dempster, A. P. et al. (1968). Upper and lower probabilities generated by a random closed interval. *The Annals of Mathematical Statistics*, 39(3) :957–966. 49
- Dermeval, D., Castro, J., Silva, C., Pimentel, J., Bittencourt, I. I., Brito, P., Elias, E., Tenório, T., and Pedro, A. (2013). On the use of metamodeling for relating requirements and architectural design decisions. In *Proceedings of the 28th Annual ACM Symposium on Applied Computing*, pages 1278–1283. ACM. 54
- Dezert, J. and Smarandache, F. (2004-2009). *Advances and applications of DSmT for Information Fusion - Collected works - Volumes 1-3*. American Research Press, Rehoboth, USA. 50
- Diattara, A. (2017). *Issue of knowledge acquisition in intelligent tutoring systems : towards an authoring tool for AMBRE project*. Theses, Université Grenoble Alpes. 66
- Diaz, D., Seinturier, L., Duchien, L., and Flament, P. (2007). Une aide à la réalisation des évolutions logicielles grâce aux modèles de traçabilité des fonctionnalités. *Revue des Sciences et Technologies de l'Information-Série L'Objet : logiciel, bases de données, réseaux*, 13(1) :117–145. 54
- Dubois, D. (2006). Possibility theory and statistical reasoning. *Computational Statistics & Data Analysis*, 51(1) :47 – 69. The Fuzzy Approach to Statistical Analysis. 55
- Dubois, D. and Prade, H. (1988). Default reasoning and possibility theory. *Artificial Intelligence*, 35(2) :243–257. 49
- Fuentes-Fernández, L. and Vallecillo-Moreno, A. (2004). An introduction to uml profiles. *UML and Model Engineering*, 2. 80

- Gleyze, J.-F. (2001). B. 5 apport de l'information géographique dans l'analyse des risques. application à l'étude des perturbations du réseau routier à la suite de catastrophes. *Bulletin d'Information de l'IGN n, 72(3)* :69. 27, 205
- Guardiola, E., Natkin, S., Soriano, D., Loarer, E., Vrignaud, P., Boy, T., Dosnon, O., et al. (2012). Du jeu utile au jeu sérieux (serious game). *Hermès, La Revue*, (1) :85–91. 71, 72, 206
- Guitouni, A. and Martel, J.-M. (1998). Tentative guidelines to help choosing an appropriate mcdm method. *European journal of operational research*, 109(2) :501–521. 48
- Harding, T., Romerio-Giudici, F., Rossiaud, J., Wagner, J.-J., Bertrand, S., Frischknecht, C., and Laporte, J.-D. (2001). Management des risques majeurs : Des disciplines à l'interdisciplinarité. 24, 30, 32
- Hevner, A. R., March, S. T., Park, J., and Ram, S. (2004). Design science in information systems research. *MIS quarterly*, pages 75–105. 189, 192
- Holopainen, J. (2011). *Foundations of gameplay*. PhD thesis, Blekinge Institute of Technology. 81, 82, 139
- Humphrey, W. S. (1995). *A discipline for software engineering*. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc. 122
- Hunicke, R., LeBlanc, M., and Zubek, R. (2004). Mda : A formal approach to game design and game research. In *Proceedings of the AAAI Workshop on Challenges in Game AI*, volume 4, pages 1–5. AAAI Press San Jose, CA. 82, 206
- ISO11915 (2014). Iso 19115 :2014 geogaphic information - metadata. Va être remplacé par ISO/FDIS 19107 en cours de développement en 2019. 52
- ISO9000 (2015). Iso 9000 :2015 systèmes de managment de la qualité - principes essentiels. 43
- Jézéquel, J.-M., Combemale, B., and Vojtisek, D. (2012). *Ingénierie des modèles : du concept à la pratique*. Ellipses. 78, 182, 213, 214
- Jouault, F. (2005). Loosely coupled traceability for atl. In *Proceedings of the European Conference on Model Driven Architecture (ECMDA) workshop on traceability, Nuremberg, Germany*, volume 91, page 2. 54
- Jousselme, A.-L., Pallotta, G., and Locke, J. (2015). A risk game to study the impact of information quality on human threat assessment and decision making. *CMRE-FR-2015-009, NATO Unclassified, La Spezia*. 166, 188
- Jousselme, A.-L., Pallotta, G., and Locke, J. (2018). Risk game : Capturing impact of information quality on human belief assessment and decision making. *International Journal of Serious Games*, 5(4) :23–44. 7, 10, 112, 166, 167, 168, 208
- Juul, J. (2003). The game, the player, the world : Looking for a heart of gameness. In *Level Up 2003 : Digital Games Research Conference Proceedings, Utrecht University (Netherlands), November 4th-6th 2003*, volume 1. 70
- Juul, J. (2010). *A casual revolution : Reinventing video games and their players*. MIT press. 81
- Kahneman, D. and Tversky, A. (2013). Prospect theory : An analysis of decision under risk. In *Handbook of the fundamentals of financial decision making : Part I*, pages 99–127. World Scientific. 35
- Lacroix, E. (2005). Risques naturels en montagne : aspects juridiques de l'affichage de l'incertitude dans les expertises. *Master 2 Professionnel Droit et développement de la montagne*. 18, 45
- Lagadec, P. (1981). *La Civilisation du risque*. 39
- Lee, D. and Park, J. (2008). (rfid-based) traceability in the supply chain. *Industrial Management and Data Systems*, 108(6) :713–725. 54

- Lisboa, J., Iochpe, C., and Beard, K. (1998). Applying analysis patterns in the gis domain. In *10th Colloquium of the Spatial Information Research Centre, University of Otago, New Zealand*, pages 16–19. Citeseer. 80, 206
- Marne, B. (2014). *Modèles et outils pour la conception de jeux sérieux : une approche meta-design*. PhD thesis, Université Pierre et Marie Curie-Paris VI. 122
- Martin, A. (2005). La fusion d'informations. 213
- Maystre, L. Y., Pictet, J., and Simos, J. (1994). *Méthodes multicritères ELECTRE : description, conseils pratiques et cas d'application à la gestion environnementale*, volume 8. PPUR presses polytechniques. 48
- Mena, S. B. (2000). Introduction aux méthodes multicritères d'aide à la décision. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 4(2) :83–93. 47, 48
- Merad, M. M. (2003). *Apport des méthodes d'aide multicritère à la décision pour l'analyse et la gestion des risques liés aux mouvements de terrains induits par les ouvrages souterrains*. PhD thesis, Université Paris Dauphine. 47, 48, 51, 52, 56, 206
- Michael, D. R. and Chen, S. L. (2005). *Serious games : Games that educate, train, and inform*. Muska & Lipman/Premier-Trade. 81
- Mintzberg, H., Raisinghani, D., and Theoret, A. (1976). The structure of "unstructured" decision processes. *Administrative science quarterly*, pages 246–275. 35, 39, 40
- Montero Reyno, E. and Cubel Carsì, J. (2009). A platform-independent model for videogame gameplay specification. 83, 86, 141, 143, 206
- Nguyen, T.-H., Abran, A., Bayard, R., and DeChantal, O. (1997). Les concepts de la réutilisation du logiciel et la pratique institutionnelle dans les entreprises québécoises. *GENIE LOGICIEL-TOULOUSE THEN PARIS-*, pages 40–48. 78
- Nystrom, R. (2014). *Game programming patterns*. Genever Benning. 81
- Philippe, F., Carlados, S., Tacnet, J.-M., and Bouvet, P. (2016). Taking into account protective works in land-use planning for mountain torrential floods : state of the art of present french practices. In *E3S Web of Conferences*, volume 7, page 12003. EDP Sciences. 45
- Philippe, F., Jonas, E., Vidaud-Barral, L., Piazza-Morel, D., Arlot, M. P., Maldonado, E., and Tacnet, J. M. (2019). Maia, un modèle de données support de la démarche d'adaptation. 77
- Pinet, F. (2012). Entity-relationship and object-oriented formalisms for modeling spatial environmental data. *Environmental Modelling & Software*, 30 :80–91. 80, 135, 206
- Raghunathan, S. (1999). Impact of information quality and decision-maker quality on decision quality : a theoretical model and simulation analysis. *Decision support systems*, 26(4) :275–286. 52, 55
- Rapin, F. (2009). Hazard levels warning for avalanche danger on dwellings proposal. *ISSW, Davos, Switzerland*. 101, 102, 206
- Rapin, F., Belanger, L., Hurand, A., and Bernard, J.-M. (2006). Sensitive avalanche paths : using a new method for inventory and classification of risk. In *International Snow Science Workshop Proceedings (ISSW) 2006*. 38
- Rapin, F., Meunier, M., and Bolognesi, R. (2004). Une nouvelle méthode d'identification des sites à haut risque d'avalanche. 38
- Roy, B. (1985). *Méthodologie multicritère d'aide à la décision*. Economica. 48
- Roy, B. (1993). Decision science or decision-aid science? *European journal of operational research*, 66(2) :184–203. 47

- Saaty, T. L. (1980). The analytical hierarchy process, planning, priority. *Resource allocation. RWS publications, USA*. 48, 49, 89, 213
- Schärlig, A. (1985). *Décider sur plusieurs critères : panorama de l'aide à la décision multicritère*, volume 1. PPUR presses polytechniques. 48, 184
- Schneider, D. K. (1996). *Modélisation de la démarche du décideur politique dans la perspective de l'intelligence artificielle*. PhD thesis, éditeur non identifié. 39, 40, 205
- Selic, B. (2007). A systematic approach to domain-specific language design using uml. In *10th IEEE International Symposium on Object and Component-Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC'07)*, pages 2–9. IEEE. 79
- Shafer, G. (1976). *A mathematical theory of Evidence*. Princeton University Press. 50
- Siskos, Y., Spyridakos, A., and Yannacopoulos, D. (1993). Minora : A multicriteria decision aiding system for discrete alternatives. *Journal of Information Science and Technology*, 2(2) :136–149. 48
- Smarandache, F. and Dezert, J. (2006). *Advances and Applications of DSMT for Information Fusion (Collected works), second volume : Collected Works*, volume 2. Infinite Study. 50
- Smarandache, F. and Dezert, J. (2015). *Advances and Applications of DSMT for Information Fusion, Vol. IV : Collected Works*. Infinite Study. 106
- Smets, P. (1997). Imperfect information : Imprecision and uncertainty. In *Uncertainty management in information systems*, pages 225–254. Springer. 41, 213
- Sobernig, S., Hoisl, B., and Strembeck, M. (2016). Extracting reusable design decisions for uml-based domain-specific languages : A multi-method study. *Journal of Systems and Software*, 113 :140 – 172. 58
- Tacnet, J.-M. (2009). *Prise en compte de l'incertitude dans l'expertise des risques naturels en montagne par analyse multicritères et fusion d'information*. PhD thesis, Ecole Nationale Supérieure des Mines Saint-Etienne. 18, 25, 30, 31, 33, 37, 41, 42, 49, 50, 56, 58, 66, 68, 110, 205, 206
- Tacnet, J.-M. (2018). Décider dans le contexte de la gemapi : exemple de méthodologie d'une approche intégrée d'aide à la décision et application aux projets d'aménagements. *Sciences Eaux Territoires*, 1(2) :48–53. 50
- Tacnet, J.-M., Batton-Hubert, M., Dezert, J., and Richard, D. (2010a). Applying new uncertainty related theories and multicriteria decision analysis methods to snow avalanche risk management. In *International snow science workshop 2010 (ISSW)*, pages 8–p. 50
- Tacnet, J.-M. and Burnet, R. (2007). Risques naturels : organisation de la gestion et de la prévention en france. 26
- Tacnet, J.-M., Carladou, S., Curt, C., Legat, Y., Rulleau, B., and Wery, C. (2016). Combiner les modèles d'aide à la décision pour la gestion patrimoniale des infrastructures. 49, 50, 55, 205, 206
- Tacnet, J.-M., Carladou, S., Dezert, J., Han, D., and Batton-Hubert, M. (2017). New MCDM Methods Under Uncertainty applied to Integrated Natural Risks Management. In *IEEE International Conference on CIVEMSA*, Annecy, France, 6 p. 106
- Tacnet, J.-M., Dezert, J., and Batton-Hubert, M. (2011). Ahp and uncertainty theories for decision making using the er-mcda methodology. 213
- Tacnet, J.-M., Dezert, J., Curt, C., Batton-Hubert, M., and Chojnacki, E. (2014). How to manage natural risks in mountain areas in a context of imperfect information? new frameworks and paradigms for expert assessments and decision-making. *Environment Systems and Decisions*, 34(2) :288–311. 32, 34, 40, 56, 205
- Tacnet, J.-M., Escande, S., Rapin, F., Burnet, R., and Batton-Hubert, M. (2006). Methodology of snow avalanche post-event field investigations : tools, difficulties and perspectives. In *International Snow Science Workshop Proceedings (ISSW), Telluride, Colorado, october 1-6 2006*, volume 6, pages 530–539. 55

- Tacnet, J. M., November, V., Richard, D., and Batton-Hubert, M. (2010b). Expertise, décision et incertitude : jusqu'ou une approche interdisciplinaire est-elle possible dans le cadre de la gestion intégrée des risques naturels en montagne? In *Conférence Outils Pour Décider Ensemble 2010 (OPDE)*, pages 18–p. 49
- Tang, S. and Hanneghan, M. (2011). Game content model : an ontology for documenting serious game design. In *Developments in E-systems Engineering (DeSE), 2011*, pages 431–436. IEEE. 84, 206
- Thompson, J., Berbank-Green, B., and Cusworth, N. (2007). *The computer game design course : principles, practices and techniques for the aspiring game designer*. Thames & Hudson. 81, 141
- Tsoukiàs, A. (2006). De la théorie de la décision à l'aide à la décision. *D. Bouyssou, D. Dubois, M. Pirlot, & H. Prade, Concepts et méthodes pour l'aide à la décision*, 1. 37
- Utasse, M. (2015). *Les réseaux de transport routiers face aux laves torrentielles, contribution à l'évaluation du risque : l'exemple des Alpes Françaises*. PhD thesis, Université Paris 1 - Panthéon Sorbonne. 26, 205
- Vanderpooten, D. (2008). Aide multicritère à la décision : concepts, méthode et perspectives. 47, 48
- Vidaud-Barral, L., Pinet, F., and Tacnet, J.-M. (2019a). Uml-based modelling of information systems for serious game traceability : Application to decision support for avalanche risk. In *EWG-DSS 5th International Conference on Decision Support System Technology, Madeira, Portugal, May 27 - 29, 2019*. 131
- Vidaud-Barral, L., Pinet, F., Tacnet, J.-M., and Joussetme, A.-L. (2020). Combining uml profiles to design serious games dedicated to trace information in decision processes. *International Journal of Information System Modeling and Design (IJISMD)*, 11(2) :1–27. 131
- Vidaud-Barral, L., Tacnet, J.-M., Deschâtres, M., Bonnefoy, M., and Richard, D. (2010). Improving the interoperability and user-friendliness of the french snow avalanche information systems. In *International Snow Science Workshop, ISSW2010*. 56, 66
- Vidaud-Barral, L., Tacnet, J. M., Pasquier, X., Pinet, F., and Joussetme, A. L. (2019b). Decisiontrace : un jeu sérieux d'immersion dans la prise de décision lors d'une situation de risque avalanche. *Neige et Avalanches*, (166). 110
- Vidaud-Barral, L., Tacnet, J.-M., and Pinet, F. (2016). Modeling information quality and traceability in risk management and decision processes : Application to mountain natural hazards. In *ESREL, Glasgow, Scotland, UK, September 25 - 29, 2016*, page 276. CRC Press. 77
- Vidaud-Barral, L., Tacnet, J. M., Pinet, F., Pasquier, X., Escande, S., Duclos, A., and Joussetme, A. L. (2018). How can (serious) gaming help to trace and improve snow avalanche expertise process? an innovative methodology and application to roads risk management. In *ISSW 2018 International Snow Science Workshop*. 105, 118, 207
- Vincke, P., Roy, B., et al. (1989). *L'aide multicritère à la décision*. Ed. de l'Université de Bruxelles. 48
- Wu, X.-W. and Sattar, A. (2011). A new class of traceability schemes for protecting digital content against illegal re-distribution. *IJCSNS*, 11(12) :91. 54
- Xiao, J., Pinel, P., Pi, L., Aranega, V., and Baron, C. (2008). Modeling uncertain and imprecise information in process modeling with uml. In *Fourteenth International Conference on Management of Data (COMAD), Mumbai*. 135
- Yang, G., Yu, J., Shen, W., Su, Q., Fu, Z., and Hao, R. (2016). Enabling public auditing for shared data in cloud storage supporting identity privacy and traceability. *Journal of Systems and Software*, 113 :130 – 139. 54
- Ysebaert, R., Salmon, I., Rubrus, B. L., and Bernard, C. (2017). Recueil, traçabilité et restitution des données territoriales du programme espon. *Mappemonde. Revue trimestrielle sur l'image géographique et les formes du territoire*, 1(120). 52

- Yusoff, A. (2010). *A conceptual framework for serious games and its validation*. PhD thesis, University of Southampton. 82, 85, 206
- Zadeth, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and control*, 8 :338–353. 49
- Ziv, H., Richardson, D., and Klösch, R. (1997). The uncertainty principle in software engineering. In *submitted to Proceedings of the 19th International Conference on Software Engineering (ICSE'97)*. 122

1.1	Plan de la thèse.	19
2.1	Définition du risque [Tacnet, 2009].	25
2.2	Les niveaux de vulnérabilité des infrastructures critiques [Bouchon, 2006].	26
2.3	La vulnérabilité directe/indirecte du réseau routier [Utasse, 2015].	26
2.4	Classification des risques proposée par [Gleyze, 2001].	27
2.5	Les phases principales de la vie d'un Plan de Prévention des Risques selon [De Oliveira, 2010].	29
2.6	L'expertise (et les processus de décision qui lui sont associés) sont indissociables des différentes phases du cycle de gestion du risque naturel, selon [Tacnet, 2009].	31
2.7	Les informations impliquées dans les expertises et les décisions présentent une grande diversité et sont sources d'incertitudes qui se propagent tout au long du processus, [Tacnet, 2009].	31
2.8	Les éléments de la gestion intégrée des risques 9.	32
2.9	Approche intégrée globale pour l'expertise en exemple pour le risque d'avalanche, [Tacnet, 2009].	33
2.10	De l'analyse de risque à la gestion du risque, [Tacnet et al., 2014].	34
2.11	Le processus d'expertise dans l'analyse de risque n'est qu'une partie du contexte global de décision, [Tacnet et al., 2014].	34
2.12	Les trois niveaux de la prise décision de la pyramide d'Anthony et les trois variables déterminantes des niveaux.	36
2.13	Influence des profils d'acteurs dans le processus de décision global, apport potentiel de l'aide à la décision.	40
2.14	La complexité de la décision politique [Schneider, 1996].	40
2.15	Traçabilité nécessaire dans le processus de décision, adapté de [Tacnet, 2009].	41
2.16	L'imperfection de l'information conditionne la décision [Tacnet, 2009].	42
2.17	Compilation d'un ensemble de définition de la traçabilité proposées à travers la littérature [Bendaoud, 2008].	43
2.18	Synthèse des typologies de traçabilité proposées en fonction des objectifs attendus par [Bendaoud, 2008].	44
2.19	Les exigences de traçabilité dans la norme NF-X-50-110, AFNOR [2003].	46
2.20	Les exigences de traçabilité dans le Plan Qualité pour l'expertise du collectif RECOVER/G2DR - ETNA, INRAE édition 2020.	46
2.21	Principes d'analyse, de synthèse et de calcul de l'analyse multicritères hiérarchique (AHP) [Tacnet et al., 2016].	49

2.22	Échelle des préférences de l'AHP adapté par [Tacnet, 2009].	50
2.23	Principe de mise en œuvre de la méthodologie ER-MCDA : Un principe de validation utilisant l'analyse de décision multicritère et l'évaluation des imperfections de l'information.	51
2.24	Le niveau d'information disponible permet de définir les contextes de prise de décision en univers incertain ou risqué [Merad, 2003].	51
2.25	Interrelations entre les facteurs d'incertitude dans l'information descriptive d'événements en risque naturel, selon [Arnaud and Davoine, 2009].	53
2.26	Exemples de méthodes mises en œuvre dans le cadre d'approches intégrées de la gestion des risques naturels, selon [Tacnet et al., 2016].	55
2.27	Positionnement des besoins identifiés dans problématique étudiée dans notre travail : schématisation de la traçabilité nécessaire dans les processus de décision.	62
2.28	Les trois objectifs de ce travail de thèse : à l'interface entre des systèmes d'information, des sciences de l'information et de la gestion de la connaissance.	62
3.1	Liens entre les données, les connaissances et les informations pour la capitalisation de la connaissance selon [Boubaker et al., 2006].	67
3.2	Mise en lien du modèle proposé par [Boubaker et al., 2006] avec les actions de capitalisation de la connaissance environnementale.	67
3.3	Le transfert de connaissances tacites illustré par [Arduin and Tounkara, 2014].	68
3.4	Intérêts des systèmes d'information pour supporter les décideurs dans la gestion des risques naturels [Tacnet, 2009].	68
3.5	Méthodes classiques de collecte de données et inconvénients relevés pour l'acquisition de connaissances sur le processus de décision en risques naturels.	69
3.6	Illustration de l'utilité des jeux utiles, adapté de [Guardiola et al., 2012].	72
4.1	Les diagrammes de description proposés par le langage UML 2.0.	77
4.2	Interprétation de la pile de modélisation de la norme Meta-Object Facility (MOF) proposée par l'Object Management Group (OMG).	78
4.3	Un exemple de valeur étiquetée sur un stéréotype de profil UML	80
4.4	Un exemple de profil UML (profil UML-GeoFrame) selon [Lisboa et al., 1998] et [Pinet, 2012].	80
4.5	Principe d'utilisation d'un stéréotype de profil UML	81
4.6	Framework généraliste de conception de jeu de [Hunicke et al., 2004].	82
4.7	Framework généraliste de conception et proposition de profil UML possible, dédié aux jeux d'échecs, selon [Altunbay et al., 2009].	83
4.8	Ontologie de jeux sérieux selon [Tang and Hanneghan, 2011].	84
4.9	Framework conceptuel des jeux sérieux présenté sous forme de diagramme de classe [Yusoff, 2010].	85
4.10	Métamodèle pour la réutilisation du concept de composants de scénario de jeux sérieux selon [Aouadi et al., 2016].	85
4.11	Modèle de règles de jeu pour les jeux vidéo selon [Montero Reyno and Cubel Carsi, 2009].	86
4.12	Principaux concepts de modélisation des jeux formalisés dans les travaux.	86
4.13	Le jeu sérieux est un objet intermédiaire pour aider à la compréhension et la communication pluridisciplinaire et pour expliciter, transférer et tester les processus de décision.	90
4.14	Synthèse des développements et objectifs présentés dans les chapitres 5 et 6.	91
5.1	Synthèse des développements et objectifs du chapitre 5.	99
5.2	Principe de conception des jeux pour la traçabilité du processus de décision.	100
5.3	Présentation des catégories et des points d'observation pour analyser l'aléa avalanche, proposition ANENA, base de travail établie par Rapin [2009].	102

5.4	Grille des critères d'évaluation du risque d'avalanche, proposition de l'ANENA.	103
5.5	Problématiques associées à la prise de décision dans un contexte d'informations imparfaites.	104
5.6	Exemple de modèle hiérarchique incluant des critères d'analyse du risque d'avalanche exprimés par des experts.	104
5.7	Les connaissances d'experts sont dérivées en critères, les indicateurs dont la plage de valeurs correspond aux classes de décision / évaluation [Vidaud-Barral et al., 2018]. . .	105
5.8	Passage d'une formulation linguistique de l'évaluation d'un critère à des grandeurs quantitatives d'évaluation et une représentation graphique.	107
5.9	Table de vérité pour caractériser des critères croisés, exemple de la durée du vent et de la force du vent.	108
5.10	Principe de mise en œuvre possible de la méthodologie ER-MCDA sur la base du jeu sérieux.	109
5.11	Plateau de jeu du jeu DecisionTrace.	111
5.12	Illustration de la mécanique du jeu DecisionTrace.	111
5.13	Types de données de jeu et de cartes de jeu dans DecisionTrace.	113
5.14	Traçabilité des étapes du processus de décision des joueurs ou de l'équipe : une fiche de saisie en support au jeu.	114
5.15	Illustration des processus de décision des joueurs en fonction des données obtenues et de leurs sources.	116
5.16	Les processus de conception et les méthodologies d'évaluation du jeu sérieux ne sont pas tous visibles [Vidaud-Barral et al., 2018].	118
5.17	Le jeu sérieux, objet intermédiaire, support à toutes les étapes de la démarche.	119
6.1	Synthèse des développements et objectifs du chapitre 6.	123
6.2	Positionnement de l'analyste informatique dans la conception de jeu sérieux.	124
6.3	Capture de la traçabilité du processus de décision par le jeu sérieux pour l'amélioration de sa pratique.	125
6.4	Composants de base du type de jeu sérieux proposé.	126
6.5	Gestion des types de données pour le jeu sérieux : intégration lors de l'initialisation du jeu, collecte pendant les sessions de jeu, export de données a posteriori.	128
6.6	Principe de traçabilité des évaluations de contexte de jeu réalisées par les joueurs au cours d'une session de jeu.	129
6.7	Principe d'utilisation des profils UML dans la démarche de conception.	132
6.8	Flexibilité d'utilisation des profils UML	133
6.9	Étapes de la démarche de conception basée sur l'utilisation de profils UML	134
6.10	Environnements applicatifs possibles pour utiliser la démarche de conception.	136
6.11	Zoom sur le principe d'utilisation stéréotypes dans les profils UML	138
6.12	Stéréotypes pour décrire les composants holistiques et les composants de cadrage des jeux sérieux du profil UML pour la conception des jeux sérieux.	140
6.13	Stéréotypes pour décrire les composants structurels et temporels des jeux sérieux du profil UML pour la conception des jeux sérieux.	142
6.14	Utilisation des associations (stéréotypées ou non) présentes dans les métamodèles. . .	144
6.15	Stéréotypes du profil UML dédié la traçabilité du processus de décision.	145
6.16	Stéréotypes du profil UML dédié à l'évaluation d'un risque.	146
6.17	Stéréotypes du profil UML dédié à l'imperfection des données et la fiabilité des sources. .	150
6.18	Vers une validation des profils UML via le développement de bases de données support à deux jeux sérieux.	153
6.19	DecisionTrace : partie du diagramme de classes dédiée au stockage des données de jeu et de leur traçabilité.	156

6.20 DecisionTrace : partie du modèle logique de données dédiée au stockage des données de jeu et de leur traçabilité.	156
6.21 DecisionTrace : partie du diagramme de classes dédiée à l'imperfection des données et la partie du modèle logique de données correspondante.	157
6.22 DecisionTrace : partie du diagramme de classes dédiée à la traçabilité des sources de données et la partie du modèle logique de données correspondante.	158
6.23 DecisionTrace : partie du diagramme de classes UML dédiée au stockage de la grille experte d'analyse de risque et des critères d'évaluation associés.	159
6.24 DecisionTrace : partie du modèle logique de données dédiée au stockage de la grille experte d'analyse de risque et des critères d'évaluation associés.	159
6.25 DecisionTrace : partie du diagramme de classes UML dédiée à l'établissement des classes floues d'évaluation.	160
6.26 DecisionTrace : partie du modèle logique de données dédiée à l'établissement des classes floues d'évaluation.	161
6.27 DecisionTrace : partie du diagramme UML dédiée aux tours de jeu et évaluations de contextes de jeu.	162
6.28 DecisionTrace : partie du modèle logique de données dédiée aux tours de jeu et évaluations de contextes de jeu.	163
6.29 DecisionTrace : partie du diagramme de classes dédiée à la gestion de la mécanique du jeu sérieux.	164
6.30 DecisionTrace : partie du modèle logique de données dédiée à la gestion de la mécanique du jeu sérieux.	165
6.31 Jeu sérieux RiskGame : la décision à prendre est représentée par deux options - un bateau allié (bateau A) et un bateau ennemi (bateau B), le plateau de jeu est de forme matricielle pour localiser les bateaux [Jousselme et al., 2018].	167
6.32 Jeu sérieux RiskGame : les types de données accessibles au joueur, introduites via des cartes de jeu [Jousselme et al., 2018].	167
6.33 Jeu sérieux RiskGame : trois dimensions considérées dans la qualité des informations [Jousselme et al., 2018].	168
6.34 RiskGame : liste des exigences principales du jeu sérieux.	169
6.35 RiskGame : partie du diagramme de classes dédiée à la gestion des données, de leurs sources et de leur niveau de qualité.	170
6.36 RiskGame : partie du diagramme de classes dédiée au suivi des évaluations de la confiance du joueur envers sa future décision.	170
6.37 RiskGame : une possibilité de modèle logique de données pour le jeu sérieux RiskGame.	171
6.38 Étape n° 1 de la chaîne logicielle : définition des profils UML sous Eclipse Modeling Tools avec Papyrus.	173
6.39 Étape n° 2 de la chaîne logicielle : définition de diagramme de classes à partir des des profils UML sous Eclipse Modeling Tools avec Papyrus.	173
6.40 Étape n° 3 de la chaîne logicielle : choix de conception entre diagramme de classes et modèle logique de données avec SQL Power Architect.	174
6.41 Étape n° 4 de la chaîne logicielle : manipulation des bases de données PostGreSQL, schémas, données, requêtes et scripts SQL avec PgAdmin.	175

2.1	Exemples d'objectifs et de contexte de décision en gestion des risques naturels.	33
5.1	Principe d'introduction de niveaux de qualité sur les données de jeu, fonctionnement du code qualité associé à chaque donnée de jeu	113
6.1	Descriptif des stéréotypes holistiques du profil UML dédié au jeu sérieux.	140
6.2	Descriptif des stéréotypes de cadrage du profil UML dédié au jeu sérieux.	141
6.3	Descriptif des stéréotypes structurels du profil UML dédié au jeu sérieux.	143
6.5	(Suite) Descriptif des stéréotypes temporels du profil UML dédié au jeu sérieux.	144
6.4	Descriptif des stéréotypes temporels du profil UML dédié au jeu sérieux.	147
6.6	Descriptif des stéréotypes du profil UML dédié à la traçabilité des décisions.	148
6.7	Descriptif des stéréotypes du profil UML dédié à l'évaluation du risque d'avalanche. . .	149
6.8	(Suite) Descriptif des stéréotypes du profil UML dédié à l'évaluation du risque d'avalanche.	150
6.9	Descriptif des stéréotypes du profil UML dédié à la qualité des informations.	151

Aléa naturel Manifestation d'un phénomène naturel (inondation, mouvement de terrain, séisme, avalanche, etc.) d'occurrence et d'intensité données¹. p. 209

CLPA Carte de Localisation des Phénomènes d'Avalanche. Base de données qui recense les extensions maximales des avalanches connues par le passé en France. INRAE est en charge de cette base de données pour le compte du ministère de l'Environnement. p. 38, 112, 155, 158, 209

Enjeux Les enjeux représentent les biens, les personnes, l'environnement qui peuvent être concernés par un aléa. p. 209

EPA Enquête Permanente sur les Avalanches. Base de données sous forme de chronique historique d'événements observés sur des sites sélectionnés en France. INRAE est en charge de cette base de données pour le compte du ministère de l'Environnement. p. 38, 72, 209

INSPIRE La directive INSPIRE a été élaborée en 2007 par la Direction Générale de l'environnement de la Commission Européenne. Elle vise à établir en Europe une infrastructure de données géographiques pour assurer l'interopérabilité entre bases de données et faciliter la diffusion, la disponibilité, l'utilisation et la réutilisation de l'information géographique numérique en Europe détenue par les autorités publiques. Elle propose aujourd'hui un portail européen pour accéder à tous les services mis en place. p. 52, 209

PIDA Le Plan d'intervention de déclenchement des avalanches (PIDA) est un document administratif qui fait l'objet d'un arrêté municipal et qui présente un document opérationnel de planification pour des zones où une commune peut organiser des déclenchements préventifs d'avalanche. Voir www.anena.org pour plus d'informations. p. 209

Risque En gestion des risques naturels, le risque est défini par une combinaison entre l'aléa et la vulnérabilité. p. 209

SSA Sites habités Sensibles aux Avalanches. Base de données qui inventorie les sites habités en hiver et accessibles avec un itinéraire sécurisé vis à vis des avalanches. Elle propose une classification en 3 groupes selon leur sensibilité au risque d'avalanche. INRAE est en charge de cette base de données pour le compte du ministère de l'Environnement. p. 38, 209

Traçabilité Dans le langage commun : Possibilité de suivre un produit aux différents stades de sa production, de sa transformation et de sa commercialisation, notamment dans les filières alimentaires. p. 209

1. <https://ree.developpement-durable.gouv.fr/>

Vulnérabilité La vulnérabilité représente le potentiel de dommages sur les enjeux. p. 209

AHP *Analytic Hierarchy Process* (AHP) ou méthode hiérarchique multicritère est une méthode multicritère d'aide à la décision développée par [Saaty, 1980]. p. 48–50, 89, 105, 192, 209

Aide à la décision L'aide à la décision est l'activité de celui qui, en prenant appui sur des modèles, aide à obtenir des éléments de réponse aux questions que se pose un intervenant dans un processus de décision, éléments concourant à éclairer le décision et à recommander un comportement de nature à accroître la cohérence entre l'évolution du processus et les objectifs de cet intervenant. p. 209

Diagramme de classes Le diagramme de classes est un des diagrammes majeurs proposés par le langage UML 2.0, il fait partie des diagrammes statiques. Il permet de représenter une structure informatique au travers des objets qui la composent, appelés *classes*, et des relations entre elles, appelées *associations*. p. 135, 209

Encapsulation L'encapsulation désigne, en programmation orientée objet, le principe de regrouper des données pour pouvoir les manipuler. Le regroupement des données peut être considéré comme une boîte pour laquelle on définit des propriétés et un comportement. La boîte porte ainsi la connaissance qu'on a des propriétés et du comportement du sujet traité dans la réalité. Le concepteur qui utilise ce principe décide des relations de cet objet avec les autres objets. p. 209

Encapsuler voir encapsulation. p. 153, 209

ER MCDA *Evidential Reasoning for Multi Criteria Decision Analysis* (ER MCDA) est un framework qui associe l'aide multicritère à la décision, au travers de la méthode AHP, avec la fusion d'information développée par [Tacnet et al., 2011]. p. 192, 209

IDM L'Ingénierie des Modèles est une forme d'ingénierie logicielle dans laquelle tout ou partie d'une application est engendrée via des modèles, [Combemale, 2008a]. p. 14, 61, 75, 76, 79, 131, 172, 183, 188, 209

Imprecision Mesure par rapport à la vraie information, [Smets, 1997]. p. 209

Incertitude Degré de confiance accordé par rapport à la vraie information, [Smets, 1997]. p. 209

Incomplétude Mesure du manque d'information apporté par une source, [Martin, 2005]. p. 209

Inconsistance Forme d'erreur lorsque l'information est représentée plusieurs fois sans que ces représentations ne soient conciliables, [Smets, 1997]. p. 209

Méta-modélisation La métamodélisation est l'activité qui consiste à définir le métamodèle d'un langage de modélisation. Elle vise donc à modéliser un langage, qui joue alors le rôle de système à modéliser [Jézéquel et al., 2012]. p. 209

- Micro-décisions** On considère qu'un processus de décision est une suite de décisions intermédiaires qui concourent tous à une décision finale. On les appelle micro-décisions. p. 110, 209
- Modélisation** La modélisation est l'activité qui consiste à définir le modèle d'un système. p. 209
- Modèle** Un modèle est une abstraction, une simplification d'un système qui est suffisante pour comprendre le système modélisé et répondre aux questions que l'on se pose sur lui. [Jézéquel et al., 2012] le définit comme un ensemble de faits caractérisant un aspect d'un système dans un objectif donné. Un modèle représente donc un système selon un certain point de vue, à un niveau d'abstraction facilitant par exemple la conception et la validation de cet aspect particulier du système. p. 209
- MOF** Meta Object Facility est une norme fournie par l'OMG (Object Management Group). Elle définit la base de la définition du métamodèle dans les langages MDA et est basée sur une simplification des capacités de modélisation de classe UML2. p. 77, 79, 131, 135, 137, 209
- OMG** *Object Management Group*, consortium international de normes technologiques à but non lucratif et à participation ouverte, fondé en 1989. Les groupes de travail de l'OMG développent des normes d'intégration d'entreprise pour un large éventail de technologies et un éventail encore plus large d'industries². p. 76, 77, 131, 135, 137, 209
- Profil UML** Un profil UML est un mécanisme d'extension de métamodèles défini dans le standard Meta-Object Facility (MOF). Le plus souvent associé au langage de modélisation UML, il permet de définir de nouveaux éléments du métamodèle, mieux adaptés à la modélisation de domaines d'application particuliers. p. 209
- SBC** Les Systèmes informatiques à Base de Connaissances comprennent les systèmes experts et font partie du domaine vaste de l'Intelligence Artificielle. Ce sont des systèmes conçus pour approcher les performances d'experts humains dans des domaines identifiés à partir d'un ensemble de connaissances acquises pour l'essentiel auprès de ces experts. Le plus souvent ce sont des auxiliaires d'aide à la décision. Voir www.techniques-ingenieur.fr pour plus d'informations. p. 209
- Stéréotype** Les stéréotypes sont un des mécanismes d'extensibilité de l'UML avec les contraintes et les valeurs étiquetées. Ils permettent aux modélisateurs d'étendre le vocabulaire de l'UML pour un usage spécialisé en permettant de définir de nouveaux éléments normalisés au sens de l'UML. p. 79, 209
- Système d'information** Un système d'information est un ensemble organisé de ressources qui permet de collecter, stocker, traiter et distribuer de l'information. Il englobe les technologies (infrastructure matérielle, logicielle et de communication), les processus liés à la gestion organisationnelle et les personnes concernées par ces processus. p. 66, 130, 209
- UML** *Unified Modeling Language*, langage graphique proposé par l'OMG, permettant de visualiser, de spécifier et de construire les artefacts d'un système logiciel complexe. Le langage de modélisation unifié offre un moyen standard de décrire l'architecture d'un système, y compris des éléments conceptuels tels que des processus métier et des fonctions système, ainsi que des éléments concrets tels que des instructions de langage de programmation, des schémas de base de données et des composants logiciels réutilisables³. p. 14, 18, 61, 75–77, 79–82, 87, 91, 96, 121, 122, 130–154, 156, 158–160, 162, 164, 166, 170, 172, 173, 178, 188, 192, 206–209
- Valeur étiquetée** Dans le cadre d'un profil UML, un stéréotype peut être décrit par des attributs. Ils sont appelés étiquettes (*tag* en anglais). Lorsqu'une valeur est fixée pour un attribut, on l'appelle valeur étiquetée (*tagged value* en anglais). p. 79, 209

2. <https://www.omg.org/>

3. <https://www.uml.org/>

Vues Les vues sont des requêtes préparées à l'avance dont les paramètres (mais pas les résultats) sont stockés dans la base de données. Les interrogations complexes sont ainsi optimisées : en enregistrant un modèle plutôt qu'en le préparant de A à Z à chaque fois, l'utilisateur va plus vite et fait moins d'erreurs⁴. p. 209

4. <https://www.base-de-donnees.com>

LISTE DES ACRONYMES

- ANENA** Association Nationale pour l'Etude de la Neige et des Avalanches. p. 28, 101–103, 110, 206, 207, 209
- ANRN** Assises Nationales des Risques Naturels. p. 29, 209
- BRA** Bulletin d'estimation du Risque d'Avalanches. Il est émis par MétéoFrance. p. 112, 209
- CMRE** Centre for Maritime Research and Experimentation. p. 166, 209
- CNIG** Conseil National de l'Information Géographique. p. 52, 209
- Data Avalanche Org** Association pour l'amélioration et le partage de connaissances sur les avalanches. p. 110, 209
- DDL** Data Definition Language. 209
- DGPR** Direction Générale de la Prévention des Risques. p. 110, 209
- DICRIM** Dossier d'Information Communal sur les Risques Majeurs. p. 29, 209
- DSML** Domain Specific Modeling Langage. 78, 79, 209
- EPCI** Établissements Publics de Coopération Intercommunale. p. 28, 209
- ERP** Entreprise Resource Planing. 53, 209
- ETNA** Érosion Torrentielle Neige et Avalanches. p. 38, 209
- HDF5** Hierarchical Data Format 5. 135, 209
- IA** Intelligence Artificielle. 209
- IC** Ingénierie des connaissances. p. 68, 69, 209
- IGN** Institut National de l'Information Géographique et Forestière. p. 52, 112, 154, 209
- INRAE** Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement. p. 38, 72, 209
- IT** Information Technology. 209
- MTE** Ministère de la Transition Écologique. p. 28, 38, 52, 110, 209
- ONF** Office National des Forêts. p. 38, 209
- ONRN** Observatoire National des Risques Naturels. p. 28, 209

ORSEC Organisation de la Réponse de Sécurité Civile. p. 29, 209

OTAN Organisation du Traité de l'Atlantique Nord ou North Atlantic Treaty Organization (NATO). p. 166, 209

PCS Plan Communal de Sauvegarde. p. 29, 209

PGI Progiciel de Gestion Intégrée. 53, 209

PPR Plan de Prévention des Risques. p. 28, 209

PPRN Plan de Prévention des Risques Naturels. p. 28, 45, 46, 209

RN Risques naturels. p. 209

RTM Restauration des Terrains de Montagne. p. 38, 112, 209

SQL Structured Query Language. 178, 209

SRI Service Recherche et Innovation. p. 52, 209

XML Extensible Markup Language. 135, 209

Annexes

ANNEXE A : GUIDE D'ÉLABORATION DES SCÉNARIOS DU JEU
DECISIONTRACE AVEC L'EXEMPLE DU SCÉNARIO DU QUEYRAS

Guide élaboration nouveau scénario

V 4 – 21/12/2020

Rédacteur : Laure Vidaud, Xavier Pasquier

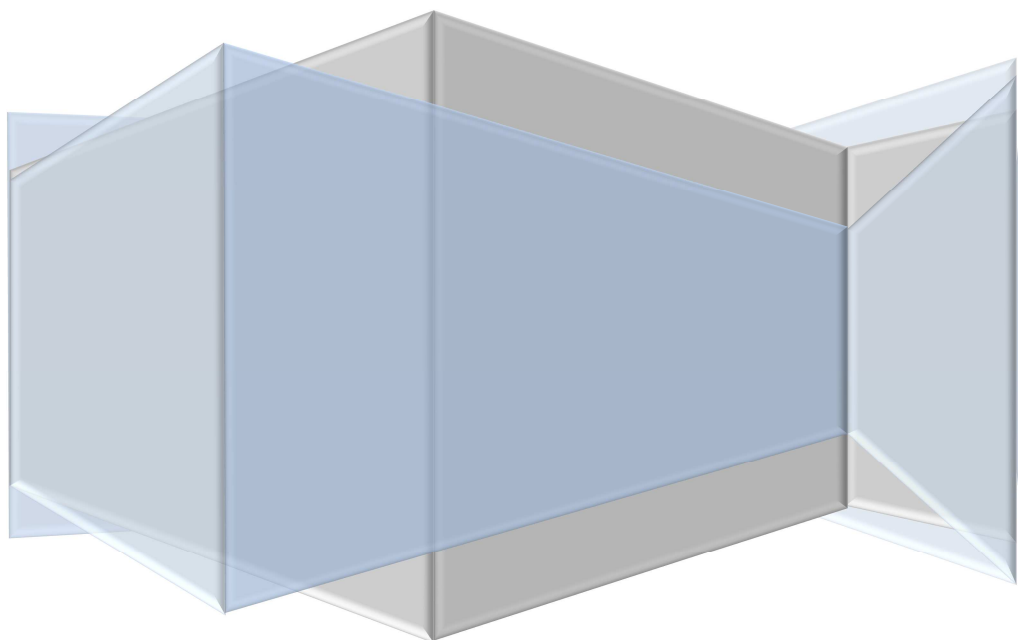


Table des matières

1	Méthodologie de développement d'un scénario de jeu.....	3
1.1	Liste du matériel nécessaire au déroulement du jeu.....	3
1.2	Les informations à produire/réunir pour développer un scénario de jeu	3
1.3	Conseils pour le stockage des données.....	3
2	Story-board général valable pour tous les scénarios	4
3	Story-board spécifique de mise en place du scénario.....	5
4	La production du matériel de jeu : données et cartes	5
4.1	Principes généraux sur les données de jeu et les cartes de jeu	6
4.2	Numérotation des données/cartes et attribution d'une qualité	6
4.2.1	Principe de numérotation des données/cartes.....	7
4.2.2	Principe d'attribution de la qualité à une donnée/carte	7
4.3	Constitution du dossier contexte (Situation et Morphologie)	9
4.4	Constitution du dossier d'expertise et des cartes de jeu de jeu qui le complètent.....	10
4.4.1	Les données/cartes qui concernent le site.....	10
4.4.2	Les données/cartes qui concernent la météo	13
4.5	Zoom sur les cartes de jeu.....	15
4.5.1	Les cartes de jeu qui complètent le dossier d'expertise	15
4.5.2	Les cartes de jeu qui modifient le contexte de jeu	15
4.5.3	Les cartes de jeu qui modifient le contexte social du jeu. Les cartes « Enjeux »	18
5	Enoncé des faits historiques et de leur issue sur le scénario joué.....	20

Ce guide définit les étapes nécessaires à la réalisation d'un scénario de jeu adapté au jeu **DecisionTrace**.

DecisionTrace est un jeu sérieux de mise en situation en amont d'une gestion de crise avalanche.

L'objectif du jeu est la prise de décision dans un contexte de données plus ou moins imparfaites. Cette décision pouvant aboutir sur une situation de crise ou non.

Il permet de faire endosser différents rôles aux joueurs : un décideur en charge de la sécurité d'une route, un gestionnaire de route ou un expert avalanche.

L'objectif pédagogique du jeu est d'observer les mécanismes de décision en traçant toutes les informations qui interviennent dans le jeu, leur niveau de qualité ainsi que leurs effets sur une prise de position vis-à-vis d'une décision.

Cf. 2018_10_26_DECISIONTRACE_ReglesJeu_0.8.doc pour de plus d'informations.

1 Méthodologie de développement d'un scénario de jeu

1.1 Liste du matériel nécessaire au déroulement du jeu

Le jeu **DecisionTrace** contient une trame générale de jeu et est décliné via plusieurs scénarios de jeu. Une partie nécessite un scénario.

La trame générale est fournie via les règles du jeu. Elle permet de comprendre l'utilisation du matériel :

- Un plateau de jeu
- Un dé
- Des cartes de jeu de différents types
- Des données de différents types
- Des documents support à l'expertise avalanche
- Des documents d'évaluation à remplir par les joueurs
- Un story-board général de déroulement du jeu

Bien qu'une partie des cartes et des données soit générique à plusieurs scénarios, l'essentiel sera décliné par scénario. Ce guide présente les différents points à développer pour construire un scénario cohérent.

1.2 Les informations à produire/réunir pour développer un scénario de jeu

Pour développer un scénario de jeu cohérent, il est nécessaire de suivre trois étapes en réunissant/produisant produire les informations suivantes, comme illustré en Figure 1 :

- Un story board spécifique au scénario que vous souhaitez développer. Il précise le contexte social du jeu et les données de contexte de jeu. Il est complémentaire au story-board général évoqué précédemment. Un exemple est donné en 3. Il est issu du scénario du Cas de la Fourche, Abriès(05)
- Les cartes de jeu, les données du dossier de contexte et du dossier d'expertise. Une méthodologie et un exemple sont donnés en **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**
- L'énoncé des faits historiques, ainsi que leur issue dans la vie réelle, qui ont servi d'inspiration au scénario développé. Un exemple est donné en 5.



Figure 1 : Etapes pour le développement d'un scénario de jeu

1.3 Conseils pour le stockage des données

Pour une organisation optimale des fichiers les informations/documents concernant le jeu en lui-même ont été stocké à part des données spécifiques à des scénarios. Illustration en Figure 2

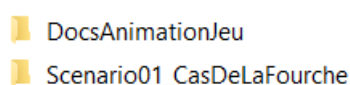


Figure 2 : Niveau 1 de l'arborescence de fichiers pour stocker les données

Chaque scénario fait l'objet d'une arborescence particulière illustrée en Figure 3

- 0.StoryBoard
- 1.ContexteSituationEtMorpho
- 2.MorphologieDuSite
- 3.HistoriqueDuSite
- 4.DispositifsProtectionDuSite
- 5.ConditionsNivoMeteorologiques
- 6.DonneesDePrevisions
- 7.EpilogueFaitsHistoriques
- 8.CartesDeJeu

Figure 3 : Contenu de l'arborescence de fichiers pour un scénario donné

2 Story-board général valable pour tous les scénarios

Le jeu prend place en zone de montagne où des avalanches de neige qui peuvent menacer les enjeux sont surveillées. De type « personnes » ou « structures » (maisons, bâtiments collectifs, voies de communication...), les enjeux font l'objet de mesures de protection dans cette zone.

Parmi eux, les routes sont des éléments essentiels et stratégiques pour les territoires, elles font partie des infrastructures critiques. En cas de risque avéré sur un tronçon de route, deux dispositifs de protection sont envisagés :

- Le déclenchement préventif de l'avalanche qui présente un danger
- La fermeture à la circulation sur le tronçon

Lors d'un événement, les usagers, les véhicules et les routes peuvent présenter des dommages qualifiés de directs mais l'altération ou la coupure d'une route peut avoir des conséquences indirectes. L'accès aux secours peut être rendu impossible, une coupure d'électricité peut avoir lieu, certains habitant peuvent être privés de leur logement, une station de ski peut être complètement inaccessible...)

La plus part du temps la décision se prend dans l'urgence et les informations à disposition ne sont pas toujours complètement disponibles. Par exemple, de mauvaises conditions météorologiques peuvent impacter la visibilité et certaines prises de mesure notamment. Ainsi, les informations qui vous parviennent peuvent être de plus ou moins bonne qualité et provenir de sources auxquelles vous pourrez accorder plus ou moins de crédit.

Le jeu vous met en situation de prise de décision, en amont d'une situation de crise, sur la base d'informations de niveau de qualité hétérogène dans un contexte d'urgence. Vous allez devoir prendre un des rôles du jeu ; élu, gestionnaire de routes ou expert avalanche. Mais seul le rôle d'élu ou le rôle de gestionnaire de route peuvent porter la casquette de « décideur ».

Vous serez sûrement amené à jouer sur plusieurs scénarios de jeu. Quel que soit le scénario de jeu, il a été établi sur des bases réelles. Les lieux, rôles des personnages et événements évoqués dans les scénarios sont réels et constituent le fond cohérent du jeu. Mais pour reproduire des contextes sociaux précis pouvant impacter la décision, des personnages imaginaires et des situations fictives ont été inventés.

3 Story-board spécifique de mise en place du scénario

Vous êtes soit :

- un élu local, sur place, sans visibilité directe du site, non spécialiste des risques
- un technicien gestionnaire de route, à Gap
- un spécialiste expert avalanche, en Savoie

Nous sommes le 10 décembre 2017. Météo France émet un flash spécial et le département des hautes Alpes passe en vigilance orange chutes de neige et risque d'avalanches. D'importants chutes sont prévues et des phénomènes avalanchieux sont attendus, parfois jusqu'en fond de vallée.

Nous sommes en pleine saison de ski, au milieu des vacances scolaires et un chassé-croisé des touristes est prévu demain en plus de la circulation classique des queyrassins. La commune accueille environ 1300 personnes cette semaine, censés repartir samedi 17, et un peu plus la semaine prochaine, cœur des vacances. Ristolas est un village de montagne dont les revenus proviennent en grande majorité du tourisme. Une journée en haute saison rapporte localement près de 90 000 euros, et les années précédentes ont été moyennes. Cette saison devrait permettre aux professionnels du tourisme de se renflouer.

Malheureusement, les conditions météorologiques sont telles que les connexions internet ne fonctionnent pas tout le temps. Les informations arrivent au compte-goutte au gré de votre connexion.

Vous allez devoir prendre une décision concernant la route entre Abriès et Ristolas, menacée par une avalanche, celle de la Fourche. La route doit-elle être coupée ou la circulation peut-elle continuer ?

Conseils :

Le story-board doit être réaliste et inspiré d'un ou plusieurs événements réels.

Le story-board du scénario doit comprendre les informations suivantes :

- Description des 3 rôles disponibles dans le jeu avec leur fonction et leur localisation.
Positionner les joueurs géographiquement est important pour créer des situations de perte de contact
- Description précise de la zone et de l'avalanche concernée
- Précision du niveau de risque
- Date précise à laquelle le jeu prend place
- Description du contexte social de mise en place du jeu
- Précision de la question posée aux joueurs

4 La production du matériel de jeu : données et cartes

4.1 Principes généraux sur les données de jeu et les cartes de jeu

Astuce :

Ne pas oublier de se référer aux règles du jeu pour comprendre les différences entre cartes, données, dossier d'expertise, dossier de contexte...

Différents types de données et de cartes sont à produire :

- Les données qui constituent le dossier de contexte
- Les données qui constituent le dossier d'expertise
- Les cartes de jeu. Il en existe trois types :
 - o Les cartes de données du dossier d'expertise. Elles complètent les données du dossier d'expertise. Elles sont développées sur la même logique d'appartenance à des catégories que les données du dossier d'expertise. Ce point est développé ci-après.
 - o Les cartes « Aléa et météo ». Elles sont développées pour modifier le phénomène et la météo du jeu.
 - o Les cartes « Enjeux ». Elles sont développées pour modifier le contexte social de jeu.

Les données de jeu, comme les cartes données du dossier d'expertise présentées ci-après, appartiennent à deux grandes catégories :

- Une catégorie qui concerne la description du site d'étude
 - Sa morphologie
 - Son historique
 - Les ouvrages et protections présents
- Une catégorie qui concerne toute la nivologie et la météo autour de l'événement
 - Les conditions nivo-météorologiques
 - Les prévisions

4.2 Numérotation des données/cartes et attribution d'une qualité

Toutes les informations du jeu (qu'elle soit de type donnée ou de type carte) doivent être numérotées de façon unique d'une part et être associée à un code qualité d'autre part.

Par exemple, cette numérotation peut donner : **#405Q100** ou encore **#584Q111**. Cette numérotation se décompose comme illustrée en Figure 4



Figure 4 : Décomposition de la numérotation des informations (donnée ou carte) utilisées dans le jeu

Les paragraphes suivants expliquent le principe de numérotation des informations et le principe d'attribution d'un niveau de qualité. Ces deux informations, concaténées, constitueront la numérotation attendue.

4.2.1 Principe de numérotation des données/cartes

Il est important que ce numéro soit unique pour toutes les données/cartes du jeu.

Point de vigilance :

La numérotation des informations est primordiale. L'objectif pédagogique du jeu est de tracer les informations qui sont distribuées au joueur et d'en observer l'impact potentiel sur sa décision. Cette numérotation est indispensable pour parvenir à cet objectif et doit être unique.

La première partie de la numérotation (avant la lettre « Q ») est attribuée selon les catégories d'information définies précédemment. Pour détecter d'un coup d'œil la catégorie à laquelle appartient une donnée/carte, une numérotation par centaine a été attribuée à chaque catégorie.

- Les catégories qui concernent la description du site d'étude
 - Sa morphologie : numérotation #100, #101, #102...
 - Son historique : numérotation #200, #201, #202...
 - Les ouvrages et protections présents : numérotation #400, #401, #402...
 -
- Les catégories qui concernent toute la nivologie et la météo autour de l'événement
 - Les conditions nivo-météorologiques : numérotation #300, #301, #302...
 - Les prévisions numérotation #500, #501, #502...

4.2.2 Principe d'attribution de la qualité à une donnée/carte

A titre informatif, le code qualité associé aux données (partie de la numérotation après la lettre « Q ») n'est pas révélée au joueur avant les parties.

Ce code comprend trois caractères qui vont chacun représenter trois composantes de la qualité (l'exactitude, la certitude et la précision dans cet ordre). Sur le principe binaire informatique, chaque caractère ne contient que deux choix possibles : 0 pour non, 1 pour oui. Ainsi, un code « 010 » se lira comme une qualité non exacte (le premier 0 positionné en 1^{er} place), certaine (le 1 positionné en 2^e place) et non précise (le 2^e 0, positionné en 3^e place).

Les composantes de la qualité sont définies comme suit :

- L'exactitude : C'est la conformité de l'information par rapport à la réalité. Elle prend la valeur 0 si elle n'est pas conforme, 1 si elle est conforme ;
- La précision : C'est une forme d'imperfection de l'information (une valeur discrète, un intervalle, une approximation). Elle prend la valeur 1 uniquement si c'est une valeur précise unique, 0 dans les autres cas ;
- La certitude : C'est le degré de confiance qu'on associe à la source de l'information. Elle prend comme valeur 1 si la confiance est absolue, 0 dans les autres cas. Cette confiance intègre, dans le cadre spécifique du jeu, l'incertitude au sens strict, par exemple le fait que la prévision météorologique comporte toujours une part d'imprévu mais aussi la fiabilité de la variable de la source.

Ci-dessous, le détail des différents code qualité possibles :

Code qualité associé	Décomposition du code qualité			
	Exacte	Certaine	Précise	Qualité associée à l'information
000	0	0	0	Non exacte, non certaine, non précise
001	0	0	1	Non exacte, non certaine, précise
010	0	1	0	Non exacte, certaine, non précise
011	0	1	1	Non exacte, certaine, précise
100	1	0	0	Exacte, non certaine, non précise
101	1	0	1	Exacte, non certaine, précise
110	1	1	0	Exacte, certaine, non précise
111	1	1	1	Exacte, certaine, précise

Tableau 4-1 : Fonctionnement du code qualité associé aux données de jeu

Ainsi, un code qualité 000 est garant d'une qualité d'information médiocre ; l'information est considérée comme non exacte, non certaine et non précise. Par contre, un code qualité 111 est garant d'une qualité d'information intéressante ; l'information est considérée comme exacte, certaine et précise.

4.3 Constitution du dossier contexte (Situation et Morphologie)

Le dossier contexte (Situation et Morphologie) doit permettre aux joueurs de comprendre la situation de jeu avec un niveau de précision suffisant mais non exhaustif.

Ce dossier comprend les documents qui seront proposés aux joueurs pour analyse en début de partie.

Conseils :

Pour établir le dossier contexte (Situation et Morphologie), il convient de trouver 4 à 5 données pertinentes pour poser le scénario de jeu.

A chacune de ces informations doit être attribuée une numérotation comme indiqué ci-dessus. Il convient également de décrire la donnée succinctement, indiquer sa source, lui attribuer une qualité et préciser à quel type de donnée on fait référence.

Ces informations seront stockées dans le répertoire « 1.ContexteSituationEtMorpho »

Ci-dessous, l'exemple est donné pour le scénario « Cas de la Fourche Abriès (05) »

Numérotation de l'information	Descriptif de la donnée	Source	Qualité	Type donnée
#112Q111	Fond scan 25IGN 1/25000 de la zone autour de l'avalanche de le Fourche. Elle indique précisément où se trouve l'avalanche.	IGN	111	Donnée dossier contexte
#108Q110	Carte IGN moins détaillée (courbe niveau tous les 100m) de la zone autour de l'avalanche de le Fourche. L'avalanche n'est pas précisément indiquée.	IGN	110	Donnée dossier contexte
#902Q110	Carte routière à l'échelle du département de localisation d'Abriès par rapport à Gap	IGN	110	Donnée dossier contexte
#901Q110	Carte routière à l'échelle Queyras de localisation d'Abriès	IGN	110	Donnée dossier contexte

Tableau 4-2 : Contenu du dossier « Situation et morphologie »

4.4 Constitution du dossier d'expertise et des cartes de jeu de jeu qui le complètent

Conseils :

Pour établir le dossier expertise, il convient de trouver 1 à 3 données pertinentes pour chaque niveau de qualité (à part le niveau 000).

A chacune de ces informations doit être attribuée une numérotation comme indiquée ci-dessus. Il convient également de décrire la donnée succinctement, indiquer sa source, lui attribuer une qualité et préciser à quel type de donnée on fait référence.

Ces informations seront stockées respectivement dans les répertoires « 2.MorphologieDuSite » « 3.HistoriqueDeSite » « 4.DispositifProtectionDuSite » « 5.Conditions NivoMeteorologiques » « 6.DonneesDePrevisions » lorsqu'il s'agira de données simples du dossier d'expertise.

En revanche, lorsqu'il s'agira de cartes de jeu du dossier d'expertise, elles seront stockées dans les .ppt prévus à cet effet dans le dossier : « 8.CartesDeJeu »

Quand établir une carte de jeu à la place d'une donnée ?

Les cartes de jeu sont principalement établies pour pallier le manque de diversité dans la qualité des informations que nous pouvons trouver dans la vie réelle.

4.4.1 Les données/cartes qui concernent le site

Numérotation de l'information	Descriptif de la donnée	Source	Qualité	Carte de jeu ou données dossier expertise
Morphologie de site				
#104Q011	Fond scan 25 IGN 1/25000 qui montre partiellement la zone avalancheuse	IGN	011	Donnée dossier expertise
#103Q011	Photo aérienne de la zone d'arrivée	IGN	011	Donnée dossier expertise
#109Q110	Ortophoto du bassin avalancheux étudié	IGN	110	Donnée dossier expertise
#111Q111	Fond scan 25 + carte des pentes	IGN	111	Donnée dossier expertise
#105Q100	Croquis du site de la Fourche	Archive communale	100	Donnée dossier expertise
#110Q110	Photo du haut du versant Nord Querlaye	Guide de montagne	110	Donnée dossier

		local. Gérard Manglissé		expertise
#101Q001	Photo du milieu du versant (peu localisable mais on distingue bien les détails)	Archive communale	001	Donnée dossier expertise
#103Q010	Photo de site proche mais mal localisable	Archive communale	010	Donnée dossier expertise
#102Q010	Photo de site proche mais mal localisable en photo aérienne		010	Donnée dossier expertise
#606 Q 100	On (un habitué des randos dans le Queyras) vous rapporte : « La fourche, c'est un grand versant qui fait une combe, c'est sacrément pentu haut et ça plonge direct en fond de vallée ! »	Un habitué des randos dans le Queyras	100	Carte de jeu
#607Q 101	On (un habitué des randos dans le Queyras) vous rapporte : « La fourche sous le sommet du Querlaye à 2700m, c'est un grand versant plein nord en forme d'entonnoir, ça fait au moins 1200m de dénivelé jusqu'en bas, direct au Guil en fond de vallée. Toute la moitié haute ce sont des pentes vraiment raides, c'est pas du terrain à rando ! »	Un habitué des randos dans le Queyras	101	Carte de jeu
Historique de site				
#208Q011	Fiche événement RTM mais sur un site différent	RTM	011	Donnée dossier expertise
#207Q111	Fiche CLPA du site de la Fourche + carte CLPA sur la zone	Irstea		Donnée dossier expertise
Q111	Fiche CLPA du site de la Fourche	Irstea	111	Donnée dossier expertise
Q111	Carte CLPA sur la zone	Irstea	111	Donnée dossier expertise
Q011	Fiche CLPA d'un site ailleurs	Irstea	011	Donnée dossier expertise
Q010	Carte CLPA avec tache de café sur la zone	Irstea	010	Donnée dossier expertise
Q010	Article de journal parlant de l'historique des avalanches dans le Queyras (un peu général)	Journal	010	Donnée dossier expertise

Q001	Une lettre qui raconte un événement non localisable	Journal	001	Donnée dossier expertise
Q100	Un article qui parle des grosses avalanches du Haut Guil	Archive communale	100	Donnée dossier expertise
Q101	Une lettre qui raconte un événement majeur qui a impacté le secteur (détails précis)	Archive communale	101	Donnée dossier expertise
Q110	Plan départemental des CLPA	Irstea	110	Donnée dossier expertise
Q011	Fiche événement d'un événement torrentiel sur le site de la Fourche	RTM	011	Donnée dossier expertise
Q011	Carte CLPA partielle du site (coupée, sans zone de dépôt)	Irstea	011	Donnée dossier expertise
#201 Q 001	Un habitant du Queyras : « L'avalanche de la Fourche a déjà cassé la petite passerelle en bois qui traversait le Guil »	Un habitant du Queyras	001	Carte de jeu
#201Q 100	« Le vieux Robert disait que les anciens avaient vu l'avalanche en fond de vallée »	Un habitant de longue date de la vallée	100	Carte de jeu
#203Q 010	« On a beaucoup de témoignages sur des grosses avalanches dans les Alpes du Sud par le passé ! »	Témoignages rapportés	010	Carte de jeu
#204Q 101	« Le vieux Robert disait que les anciens avaient vu que tout le versant de La Fourche était tombé et avait bouché le Guil sur 20m de haut et 100m de large»	Un habitant de longue date de la vallée	101	Carte de jeu
Protections de site				
#401 Q 011	Pas d'ouvrage de protection	Un agent RTM	011	Carte de jeu

4.4.2 Les données/cartes qui concernent la météo

Numérotation de l'information	Descriptif de la donnée	Source	Qualité (Pertinent – Certain-Précis)	Carte de jeu ou données dossier expertise
Conditions Nivo-météorologiques				
#308Q110	Carte enneigement Alpes du Sud	Météofrance	110	Donnée dossier expertise
#313Q111	BRA du Queyras avant crise	Météofrance	111	Donnée dossier expertise
#303Q011	BRA	Météofrance	011	Donnée dossier expertise
#304Q001				Donnée dossier expertise
#309Q111	Nivose du col Agnel semaine	Météofrance	111	Donnée dossier expertise
Q110	Nivose du col Agnel mensuel	Météofrance	111	Donnée dossier expertise
#311Q110	Carte départementale d'estimation du risque avalanche	Météofrance	110	Donnée dossier expertise
#315Q011	BRA sur massif Devoluy du jour	Météofrance	011	Donnée dossier expertise
#312Q111	BRA sur massif Queyras du jour	Météofrance	111	Donnée dossier expertise
#314Q110				
#301 Q 001	« Pluviomètres plus bas dans la vallée à Guillestre auraient enregistré 50mm »	Un témoin	001	Carte de jeu
#302 Q 010	« Déneigement compliqué » « Ou il y a de la neige bon dieu ! »	Des témoins	010	Carte de jeu
#305Q 100	Le technicien suppléant de l'EPA a entendu dire qu'il y avait beaucoup de neige dans le Queyras	Le technicien suppléant EPA chargé de la zone	100	Carte de jeu
#306 Q 101	Le technicien suppléant de l'EPA a entendu dire qu'il était tombé plus	Le technicien suppléant EPA	101	Carte de jeu

	d'1 mètre de neige à Abriès	chargé de la zone		
#307 Q 110	L'élu local transmet l'information qu'il a de la neige jusqu'aux genoux et se dit que là-haut cela doit être pire.	Elu local	110	Carte de jeu
#316 Q 111	Perche à neige dit « 1,20m à 1600m » on mesure à la jumelle	Perche à neige	111	Carte de jeu
Prévisions				
#508Q010	Tempête Ana	Météofrance	010	Donnée dossier expertise
#510Q100	Prévisions globales semaine à Aiguilles	Météofrance	100	Donnée dossier expertise
#509Q100	Prévisions globales semaine à Aiguilles avec plus de vent	Météofrance	100	Donnée dossier expertise
#511Q101	BRA modifié (cf. commentaire)		101	Donnée dossier expertise
#501Q 000	Quelqu'un vous dit « Les gentianes sont hautes. Mauvais temps va peut-être arriver partout cet hiver »	Un inconnu	000	Carte de jeu
#502 Q 001	Il serait tombé 1,50 dans la vallée voisine, l'Ubaye	Source inconnue	001	Carte de jeu
#504Q 010	La tempête Ana traverse la France, de fortes précipitations sont attendues	MétéoFrance	010	Carte de jeu
#505Q 011	Il y a des relevés de 1,50m à La Grave datant d'hier	Technicien maintenance remontées mécaniques	011	Carte de jeu
#506 Q 110	Le temps va s'améliorer dans toutes les hautes Alpes	MétéoFrance	110	Carte de jeu
#507 Q 100	Le temps va s'améliorer progressivement sur les jours prochains dans les Alpes du Sud	MétéoFrance	100	Carte de jeu

4.5 Zoom sur les cartes de jeu

4.5.1 Les cartes de jeu qui complètent le dossier d'expertise

Les cartes de jeu établies pour le dossier d'expertise seront mises en forme comme illustré ci-dessous. Sur le recto des cartes apparaitra le texte établi précédemment.



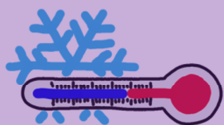
Recto	Verso
<p data-bbox="295 801 352 965">Morphologie de site</p> <p data-bbox="406 801 555 994">On (un habitué des randos dans le Queyras) vous rapporte : « La fourche c'est un grand versant qui fait une cumbre, c'est sacrément pentu haut et ça plonge direct en fond de vallée ! »</p> 	<p data-bbox="917 784 997 801">#606 Q.100</p>  <p data-bbox="1181 795 1276 1019">Morphologie de site</p>
<p data-bbox="295 1198 352 1384">Conditions nivométéorologiques</p> <p data-bbox="422 1198 518 1377">Un témoin : « Pluies plus bas dans la vallée à Guillestre auraient enregistré 1 00mm »</p>	<p data-bbox="869 1131 949 1149">#606 Q.100</p>  <p data-bbox="1197 1176 1276 1400">Conditions nivométéorologiques</p>

Tableau 4-3 : Exemple de carte de jeu du dossier d'expertise

4.5.2 Les cartes de jeu qui modifient le contexte de jeu

4.5.2.1 Les cartes de jeu qui modifient le phénomène ou la météo du jeu. Les cartes « Aléa et météo »

Les cartes « Aléa et météo » vont modifier les données connues de météo ou donner des informations supplémentaires en lien avec l'aléa (cf. Tableau 4-4 : Exemple de carte « Aléa et météo »)



Recto	Verso
 <p data-bbox="373 510 592 600">Il s'arrête de neiger, il fait beau et stable sur le secteur</p> <p data-bbox="469 712 499 730">#808</p>	 <p data-bbox="1023 488 1174 651">Aléa & Météo</p>

Tableau 4-4 : Exemple de carte « Aléa et météo »

4.5.2.2 Elaboration des cartes « Aléa et Météo »

Conseils :

Les cartes Aléa et Météo sont établies pour modifier l'ampleur du phénomène ou bien la météo. Il a été établi un quota de 10 cartes pour permettre de les sélectionner avec un dé à 10 faces. Il est nécessaire de créer à minima une carte permettant l'arrêt du jeu (départ de l'avalanche)

Référence de carte	Information	Qualité (Pertinent – Certain-Précis)	Source
0	Le vent se lève, 70km/h attendu en soirée	101	météoFrance
1	Aucun constat de dégradation de la situation, alerte orange toujours en cours	111	météoFrance
2	Une avalanche se produit sur un site exposé nord voisin et atteint presque la route.	111	Service route du 05
3	Il s'arrête de neiger, il fait beau et stable sur le secteur	111	Elu participant au jeu
4	Aucun constat de dégradation de la situation, alerte orange toujours en cours	111	météoFrance
5	Une grosse avalanche se produit un peu plus loin, dans la vallée, il paraîtrait qu'une route est coupée	100	Habitant vallée voisine
6	Il continue à neiger très fort, envers et contre les prévisions, aucune visibilité.	111	Elu participant au jeu
7	L'avalanche part et coupe la route. Il faut gérer la crise ! Cette information provoque la fin de la partie	111	Gendarmerie sur place
8	Il s'arrête de neiger, il fait beau et stable sur le secteur	111	Elu participant
9	Le temps vire à la pluie, et elle remonte jusqu'à 2500m...	111	Service des pistes d'Abriès

Tableau 4-5 : Cartes « Aléa et météo» du scénario de jeu n°1

4.5.3 Les cartes de jeu qui modifient le contexte social du jeu. Les cartes « Enjeux »

Les cartes « Enjeux » vont modifier le contexte social dans lequel la partie de jeu évolue. (cf. Tableau 4-6 : Exemple de carte « Enjeux »)



Recto	Verso
	

Tableau 4-6 : Exemple de carte « Enjeux »

4.5.3.1 Elaboration des cartes « Enjeux »

Conseils :

Les cartes Enjeux sont établies pour modifier le contexte social de jeu. Elles ont pour rôle d'influencer la réflexion des décideurs mais leur pertinence est fonction de l'analyse personnelle des joueurs (effet des cartes sur le jeu très subjectif)
Il a été établi un quota de 10 cartes pour permettre de les sélectionner avec un dé à 10 faces.

Référence de carte	Information	Qualité (Pertinent – Certain-Précis)	Source
0	Les randonneurs égarés quelques heures plus tôt ont trouvé un abri et ont pu donner de bonnes nouvelles	?11	Randonneurs égarés
1	Un habitant de Ristolas, sous dialyse, doit recevoir des soins	?11	Habitant
2	Le préfet vous appelle il veut un bilan de situation immédiatement, pour prendre une décision! Cette carte déclenche un traitement particulier	?11	Le préfet
3	Skitour vient de faire un post engageant à sortir, il y a une heure ! Votre fils et votre neveu sont partis faire du ski nordique pour profiter de la neige fraîche. Ils ont dit qu'ils seraient prudents. Ils ne devraient plus tarder mais	?11	Le joueur

	vous n'avez pas de nouvelles.		
4	Les services de la commune vous contactent, ils ont des problèmes avec le déneigement : de la neige, des voitures mal garées qui gênent, faudrait les aider !	?11	Service de la commune
5	Les lignes téléphoniques et l'antenne relai de la zone sont inutilisables, vous, élu, ne pouvez plus être en contact avec votre expert avalanche et/ou votre gestionnaire de routes. (Valable 1 tour de jeu)	?11	<i>Le joueur</i>
6	Les gendarmes vous appellent : ils viennent d'avoir l'alerte, des randonneurs ne sont pas rentrés. Peuvent-ils circuler sur la D947 après Abriès ?	?11	Les gendarmes
7	L'élu en charge de l'agriculture à Abriès est à Ristolas, il vous contacte car à Ristolas cela commence à être le bazar, les gens ont vu le flash météo et s'inquiètent. Ils veulent quitter Ristolas ! Quelles conditions compliquées !	?11	L'élu à l'agriculture
8	L'élu en charge de la culture à Abriès vous appelle pour vous demander des nouvelles de la situation. Il est inquiet pour le grand spectacle de Noël d'accueil organisé le lendemain. Ce serait vraiment dommage d'annuler.	?11	L'élu à la culture
9	Votre beau-frère, fermier à Ristolas, actuellement à Abriès, veut retourner à Ristolas. Il est inquiet pour sa ferme et ses bêtes. D'ailleurs, il a la ferme intention d'y retourner quoique vous en pensiez.	?11	Votre beau frère

Tableau 4-7 : Cartes « Enjeux » du scénario de jeu n°1

4.5.3.1.1.1 Carte Enjeux spécifique : « Le préfet vous appelle »

Cette carte peut être tirée par un joueur lorsqu'il est amené à tirer une carte de type « Enjeux ». Lorsqu'il tire cette carte, il lui est demandé de lancer le dé (6 faces)

N° sur la face du dé	Conséquence dans le jeu
1	Vous tardez trop, il faut fermer. Cela provoque la fin de la partie.
2	Vous avez le feu vert, continuez
3	Impossible de fermer la route avant 2h, trop de trafic. Cela provoque la fin de la partie

5 Enoncé des faits historiques et de leur issue sur le scénario joué

(Partie non rédigée actuellement pour le cas de la Fourche)

L'animateur indique au joueur quelle a été l'issue du scénario dans la vie réelle, à titre informatif simplement. Aucun comparatif ne peut être établi car le jeu modifie le contexte.

Table des tableaux

Tableau 4-1 : Fonctionnement du code qualité associé aux données de jeu.....	8
Tableau 4-2 : Contenu du dossier « Situation et morphologie ».....	9
Tableau 4-3 : Exemple de carte de jeu du dossier d'expertise	15
Tableau 4-4 : Exemple de carte « Aléa et météo ».....	16
Tableau 4-5 : Cartes « Aléa et météo» du scénario de jeu n°1.....	17
Tableau 4-6 : Exemple de carte « Enjeux ».....	18
Tableau 4-7 : Cartes « Enjeux» du scénario de jeu n°1.....	19

Table des figures

Figure 1 : Etapes pour le développement d'un scénario de jeu	3
Figure 2 : Niveau 1 de l'arborescence de fichiers pour stocker les données	3
Figure 3 : Contenu de l'arborescence de fichiers pour un scénario donné.....	4
Figure 4 : Décomposition de la numérotation des informations (donnée ou carte) utilisées dans le jeu.....	6